

## ORGANIZADORES

Silva, G. F.

Silva, D. P.

Silva, I. P.

Silva, M. S.

Bery, C. C. S.

França, F. R. M.



# ENERGIAS ALTERNATIVAS

*Tecnologias Sustentáveis para o Nordeste Brasileiro*

SOLAR

EÓLICA

BIOMASSA

OUTRAS ENERGIAS

**API**  
ASSOCIAÇÃO ACADÊMICA DE  
PROPRIEDADE INTELECTUAL

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



# ENERGIAS ALTERNATIVAS

*Tecnologias Sustentáveis para o Nordeste Brasileiro*

Gabriel Francisco da Silva  
Daniel Pereira da Silva  
Isabelly Pereira da Silva  
Maria Susana da Silva  
Carla Crislan de Souza de Bery  
Fernanda Rocha Morais França

---

**ORGANIZADORES**



Aracaju  
2019

# ASSOCIAÇÃO ACADÊMICA DE PROPRIEDADE INTELECTUAL

## *Coordenador Gráfico Editorial*

Carlos Tadeu Tatum (UFS/SE)

Mariane Camargo Priesnitz (ULBRA/RS)

## *Conselho Editorial*

Angela Isabel Dulus (UFSM/RS)

Carmen Regina Dorneles Nogueira (UNIPAMPA/RS)

Débora Eleonora Pereira da Silva (UFS/SE)

Jonas Pedro Fabris (UFS/SE)

Maria Emilia Camargo (UCS/RS)

Marina Bezerra da Silva (IFPI/PI)

Sérgio Paulo Maravilhas Lopes (UNIFACS/BA)

Vivianni Marques Leite dos Santos (UNIVASF/PE)

Walter Priesnitz Filho (UFSM/RS)

## **DIAGRAMAÇÃO**

Isabelly Pereira da Silva

## **CAPA**

Gracielly Pereira da Silva

## **REVISÃO**

Ana Eleonora de Almeida Paixão

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Sergipe

E56e Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro / Gabriel Francisco da Silva ... [et al.] organizadores. – Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2019.

316 p.: il.

ISBN (impresso) 978-85-93018-15-2

ISBN (online) 978-85-93018-16-9

1. Energia – Brasil, Nordeste. 2. Energia – Fontes alternativas. 3. Sustentabilidade. I. Silva, Gabriel Francisco da.

CDU 620.92(812/813)



Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual – API

CEP 49.035-490 – Aracaju/SE

e-mail: contato.api.org@gmail.com

www.api.org.br

Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2014.

Todos direitos reservados e protegidos pela lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Este livro, ou parte dele, não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização escrita da editora.

Este livro segue as normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, adotado no Brasil em 2009.

# SUMÁRIO

---

<b>PREFÁCIO .....</b>	<b>xi</b>
-----------------------	-----------

## **PARTE 1 – ENERGIA SOLAR**

---

### **CAPÍTULO 1**

#### **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO SAM .. 17**

*Douglas Bressan Riffel; Flávio Santiago Carvalho Bispo; José Claudeni Oliveira Lima; Matheus Vinícius Linhares Barbosa; Pedro Henrique Barzotto Wirti*

1	Introdução .....	17
2	Histórico da Geração Fotovoltaica .....	26
3	Fundamentos .....	27
3.1	O Recurso Solar: Radiação Solar e Suas Componentes .....	27
3.2	Instrumentos de Medidas Solarimétricas .....	29
3.3	Geração Fotovoltaica .....	30
3.4	Insolação com Rastreamento .....	36
4	Projeto Fotovoltaico Utilizando o SAM .....	37
4.1	Criando um Novo Projeto .....	37
4.2	Inserindo as Características do Sistema .....	39
4.3	Custos e Parâmetros Financeiros .....	47
5	Estudo de caso .....	59
5.1	Utilização de Rastreador na Geração Distribuída .....	59
	Referências bibliográficas .....	67

### **CAPÍTULO 2**

#### **COZINHA ESCOLA EXPERIMENTAL SOLAR: FERRAMENTA DE TECNOLOGIA SOCIAL VOLTADO PARA O DESENVOLVIMENTO LOCAL ..... 69**

*Paulo Mário Machado Araújo; Jessyca de Jesus Barbosa; Jorge Vieira dos Santos Junior*

1	Introdução .....	69
2	Energia Solar: Pesquisa-ação .....	71
3	Cozinha solar: Tipos e importância .....	72
4	Cozinha solar: Ateliês de cozinha solar em comunidades menos favorecidas do estado de Sergipe .....	74
5	Segunda fase: Implementação da CEES .....	76
6	Apresentação do balanço energético da CEES .....	78
7	Considerações finais .....	82
	Referências bibliográficas .....	84

### **CAPÍTULO 3**

## **RECOMENDAÇÕES E CUIDADOS NO USO DA ENERGIA SOLAR EM SECADORES DE FRUTAS ..... 87**

*Marcelo Bezerra Grilo*

1	Introdução .....	87
2	Secadores Solares de Frutos.....	88
3	Considerações finais .....	92
	Referências bibliográficas .....	93

## **PARTE 2 – ENERGIA EÓLICA**

---

### **CAPÍTULO 4**

## **GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE ..... 97**

*Milthon Serna Silva; Vinicius Souza Santos*

1	Introdução .....	97
1.1	Aerogeradores .....	99
1.2	Sistemas eólicos <i>offshore</i> .....	104
1.3	Fundações geradores eólicos .....	106
1.4	Esquema elétrico do parque eólico <i>offshore</i> .....	109
1.5	Aspectos Econômicos.....	112
2	Metodologia .....	113
3	Resultados e discussão .....	114
4	Conclusões .....	114
	Agradecimentos .....	115
	Referências bibliográficas .....	115

### **CAPÍTULO 5**

## **ASPECTOS DE MEDIÇÃO ANEMOMÉTRICA: ETAPA DE PROSPECÇÃO X OPERAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS.. 117**

*Darlan Emanuel Silva dos Santos*

1	Introdução .....	117
2	Discussões.....	118
3	Considerações finais .....	122
	Referências bibliográficas .....	122

## PARTE 3 – ENERGIA DA BIOMASSA

### **CAPÍTULO 6** **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA** **BIORREFINARIA NO ESTADO DE SERGIPE COM BASE** **EM MÉTODOS LOGÍSTICOS ..... 125**

*Rafael Cruz Dezen; Clara Virgínia Marques Santos; Denise Santos Ruzene;  
Cleiton Rodrigues de Vasconcelos; Daniel Pereira da Silva*

1	Introdução .....	125
2	Metodologia .....	128
3	Resultados e discussão .....	131
3.1	Análise pelo Método do Centro da Gravidade .....	133
3.2	Análise pelo Método do Momento .....	135
3.3	Análise pelo Método de Avaliação de Fatores .....	138
4	Conclusões .....	140
	Agradecimentos .....	142
	Referências bibliográficas .....	142

### **CAPÍTULO 7** **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUO DE CULTIVO** **DE GIRASSOL: PERSPECTIVA PARA ENERGIAS DO** **NORDESTE ..... 145**

*Leonel Altamiro Barros; Isabela Maria Monteiro Vieira; Osiris Ashton Vital Brazil;  
Denise Santos Ruzene; Daniel Pereira da Silva*

1	Introdução .....	145
2	Metodologia .....	150
3	Resultados e discussão .....	151
4	Conclusões .....	158
	Agradecimentos .....	158
	Referências bibliográficas .....	158

### **CAPÍTULO 8** **RESÍDUOS AGRÍCOLAS DO NORDESTE BRASILEIRO E** **SEU POTENCIAL LIGNOCELULÓSICO ..... 163**

*Grayce Kelly Carvalho de Oliveira; Clara Virgínia Marques Santos;  
Isabelly Pereira da Silva; Daniel Pereira da Silva; Denise Santos Ruzene*

1	Introdução .....	163
2	Biomassa .....	164
3	Biomassa Lignocelulósica.....	165
4	Biorrefinaria.....	167
5	Potenciais Resíduos da Região Nordeste .....	168
6	Cana-de-açúcar .....	169
7	Milho.....	175

8	Mandioca .....	178
9	Coco-de-baía .....	180
10	Conclusão.....	182
	Referências bibliográficas .....	182

## **CAPÍTULO 9**

### **RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA EM COMUNIDADES RURAIS..... 189**

*Isabelly Pereira da Silva; Rafael Mota de Aragão Lima; Denise Santos Ruzene; Daniel Pereira da Silva*

1	Introdução .....	189
2	Sistemas de energia elétrica no Brasil.....	190
3	Geração de energia distribuída.....	193
4	Cenário do acesso a energia elétrica no Nordeste .....	197
5	Biomassa a partir de resíduos agroindustriais em comunidades rurais do Nordeste .....	200
6	Biomassa na microgeração e minigeração de energia.....	205
7	Geração de energia elétrica a partir da biomassa em comunidades rurais do Nordeste .....	207
8	Considerações finais .....	209
	Referências bibliográficas .....	209

## **CAPÍTULO 10**

### **GASEIFICAÇÃO: OPORTUNIDADES PARA A CONVERSÃO DE BIOMASSA..... 213**

*Mikele Cândida Sousa de Sant'Anna; Hilton Costa Louzeiro; Nataly Albuquerque dos Santos; Carla Crislan de Souza de Bery; Gabriel Francisco da Silva; Sergio Lucena*

1	Introdução .....	213
2	Gaseificação.....	215
3	Rotas tecnológicas .....	219
4	Principais utilizações .....	221
4.1	Gaseificação dos resíduos do biodigestor.....	221
4.2	Produção do biometanol via gaseificação de biomassa lignocelulósica.....	223
4.3	Geração de energia elétrica .....	224
4.4	Gaseificação na produção de hidrogênio .....	225
5	Considerações finais .....	225
	Agradecimentos .....	226
	Referências bibliográficas .....	227

## **CAPÍTULO 11**

### **PERSPECTIVAS DE FONTES ALTERNATIVAS PARA O BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO ..... 231**

*Fábio de Melo Resende*

1	Introdução .....	231
2	Desenvolvimento .....	232
	Referências bibliográficas .....	236

## **PARTE 4 – TEMAS CORRELATOS**

---

## **CAPÍTULO 12**

### **ALTERNATIVAS DE ILUMINAÇÃO A PARTIR DA FRUGALIDADE DA LÂMPADA DE MOSER ..... 241**

*Carlos Tadeu Santana Tatum; Letícia-Maria Macedo Tatum; Vania de Jesus; Suzana Leitão Russo*

1	Introdução .....	241
2	Inovação Frugal .....	241
3	A Lâmpada de Moser .....	242
4	Energias Renováveis .....	242
5	Sustentabilidade .....	244
6	Metodologia .....	244
7	Resultados e discussão .....	245
7.1	A evolução da lâmpada de Moser: iluminando a noite .....	245
7.2	A expansão mundial da lâmpada de Moser .....	245
8	Conclusões .....	248
	Referências bibliográficas .....	248

## **CAPÍTULO 13**

### **USO DA MORINGA OLEÍFERA LAM COMO ANTIOXIDANTE PARA BIODIESEL..... 251**

*Fernanda Rocha Morais França; João Paulo Almeida Freitas; Maria Susana Silva; Gabriel Francisco da Silva; João Inácio Solletti*

1	Introdução .....	251
2	Antioxidantes Naturais: .....	252
3	Compostos Fenólicos Como Antioxidantes .....	252
4	<i>Moringa oleífera</i> Lam .....	253
5	Conclusão .....	256
	Referências bibliográficas .....	256

## **CAPÍTULO 14**

### **A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO ATÉ 2050 ..... 259**

*Maria Susana Silva; Geórgia Tecla Oliveira de Melo Lopes; Carla Corina dos Santos Porto; Fernanda Rocha Morais França; Acto de Lima Cunha; João Paulo Lobo dos Santos; Gabriel Francisco da Silva*

1	Introdução .....	259
2	Matriz Energética Brasileira .....	262
3	Plano Nacional de Energia (PNE) para 2050 .....	265
3.1	Cenário Econômico de 2050 .....	266
3.2	Demanda de Energia de 2050 .....	267
4	GN no planejamento energético brasileiro .....	274
4.1	Importância do GN na Matriz Energética .....	274
4.2	Importância do GN no PNE 2050 .....	276
5	Considerações finais .....	280
	Referências bibliográficas .....	281

## **CAPÍTULO 15**

### **ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DE FORNOS PARA CASAS DE FARINHA ..... 285**

*André Luis Dantas Ramos; Carina Siqueira de Souza; José Jailton Marques*

1	Introdução .....	285
2	Produção de mandioca no Brasil e no mundo .....	287
3	Processamento da mandioca para produção de farinha .....	290
3.1	Fluxograma do Processo .....	290
3.2	Descrição das Operações .....	291
3.3	Decantação da Fécula .....	299
4	Adequação tecnológica de fornos para produção de farinha de mandioca .....	299
4.1	Fornos artesanais: o incômodo causado pelas emissões e o desconforto ambiental .....	299
4.2	Adaptação da fornalha .....	302
4.3	Dimensionamento da chaminé .....	304
4.4	Resultados dos testes de produção de farinha .....	308
4.5	Eficiência térmica do forno e comparação com outros fornos existentes .....	311
5	Conclusões .....	313
	Agradecimentos .....	315
	Referências bibliográficas .....	315

## PREFÁCIO

---

Gabriel Francisco da Silva

*Núcleo de Graduação em Engenharia de Petróleo,  
Universidade Federal de Sergipe*

Lições de alto nível renovaram as informações disponíveis para acentuar a importância das fontes de energias alternativas e suas características peculiares de aplicação na região semiárida, o que as distingue como geradoras energéticas, com participação ativa na segurança agrícola e agroindustrial.

Os aspectos econômicos, sociológicos, históricos e antropológicos da geração das energias renováveis, para parte da população, configuram como um componente adicional sintonizado às preocupações ambientais.

Deste fórum de discussão, foram tiradas algumas considerações aqui expostas.

- A importância estratégica da geração de energias renováveis, de aplicação nos setores agrícolas e agroindustriais e de suas diversas fontes para o desenvolvimento sustentável do nordeste brasileiro;
- As especificidades e potencialidades dos recursos naturais da região: energia da biomassa, espécies vegetais potenciais ainda pouco conhecidas e exploradas na perspectiva de tal desenvolvimento; energias eólica e solar, e demais fontes energéticas, captação, geração, produção, armazenamento, distribuição e uso;
- A existência de talentos humanos qualificados na região, vinculados às universidades, aos institutos de pesquisa, aos setores governamentais e à sociedade civil organizada, dedicados de forma integrada, sistemática e sinérgica em estudos, pesquisas, difusão, formação de pessoal e produção em C,T&I com foco no nordeste brasileiro;

- A realização de reuniões interinstitucionais regionais, promovidas a partir desta, pelas Instituições de Ensino Superior (Universidade Federal de Sergipe) buscando, em torno da mesma, articulações que conduzam à identificação de potencialidades energéticas regionais, prioridades, projetos e ações voltados à consecução dos objetivos propostos pelos atores envolvidos nesse processo;
- A contribuição que este fórum pôde conferir ao processo, por ocasião deste evento, foi também, o de estabelecer os elementos norteadores, com finalidade de propor políticas públicas ao tema das energias renováveis.
- A criação de novas parcerias, no fomento de novos projetos em rede, que surgem a partir de engajamento e troca de experiências de pesquisadores, decorridos da apresentação e discussão de trabalhos técnico-científicos, das perspectivas e desafios que os temas apresentados no evento propiciem.

Algumas premissas para o desenvolvimento sustentável do Nordeste no que se refere às energias alternativas adaptáveis e apropriadas são:

- fomento à pesquisa, o desenvolvimento e à inovação,
- criação de empresas de base tecnológica,
- relações das ICTs com à indústria,
- criação de infraestrutura laboratorial para atender as necessidades do setor,
- formação de recursos humanos,
- regulação do setor,
- políticas de incentivos fiscais
- organização do setor
- criação de empresas de serviços de instalação e manutenção
- incentivos ao consumidor final e
- estímulo à cooperação com outros centros.

Algumas recomendações para o desenvolvimento do setor são:

- congregar a comunidade técnica-científica nos temas relacionados às energias alternativas: Energia Solar, Energia Eólica, Biocombustíveis, Biogás e Gaseificação, Biorrefinaria e Temas Correlatos Outras Energias para discutindo ações para consolidar e difundir as tecnologias de energias alternativas apropriadas e adaptáveis ao Nordeste Brasileiro.
- propiciar troca de experiências com grupos de pesquisas consolidados do País com os grupos regionais;
- promover e difundir o uso de tecnologias de energias alternativas apropriadas ao Nordeste Brasileiro de baixo custo;
- apropriar e adaptar tecnologias em energias alternativas consolidadas em outras regiões e de grande porte para atender às necessidades do Nordeste Brasileiro.
- contribuir para a qualidade de vida do homem do campo, moradores de periferias de cidades, agrovilas, assentamentos, comunidades indígenas e quilombolas ofertando tecnologias apropriadas de baixo custo e de fácil operação.
- articular a inserção e a criação de novos empreendimentos no segmento das energias renováveis para o desenvolvimento da região

Ressaltando-se a importância deste fórum, os esforços da comunidade científica que vêm sendo despendidos na perspectiva da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação em fontes alternativas de energias, à necessidade de ampla capilarização, difusão e apropriação de tecnologias. ações coletivas empresariais, demanda de aportes financeiros para as atividades do setor com a finalidade de desenvolvimento da região, foi elaborado este livro para que os dirigentes das organizações governamentais e não governamentais se sensibilizem e apoiem esta causa.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



**PARTE 1**  
**ENERGIA SOLAR**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# CAPÍTULO 1

## ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA UTILIZANDO SAM

---

Douglas Bressan Riffel; Flávio Santiago Carvalho Bispo;  
José Claudeni Oliveira Lima; Matheus Vinícius Linhares Barbosa;  
Pedro Henrique Barzotto Wirti

*Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe*

### 1 Introdução

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso, entre eles o energético, tende a ser compensada pelo surgimento de outro(s). Em termo de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2008). Conforme ilustrado na Figura 1.1, percebe-se que a concentração do consumo de energia elétrica corresponde às áreas de maior desenvolvimento econômico do planeta.

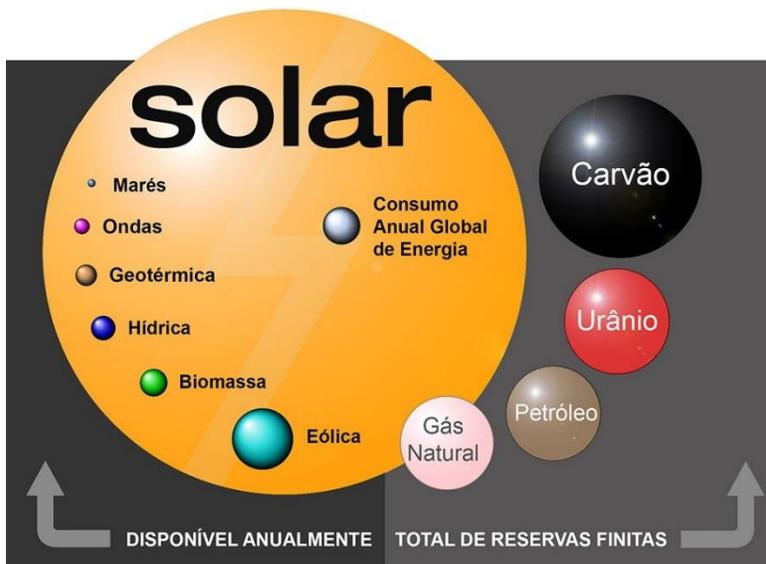
**Figura 1.1 – Vista noturna da Terra a partir de imagens de satélite**



Fonte: WALKER, 2005

As fontes primárias usadas para a produção de energia elétrica podem ser classificadas em não-renováveis e renováveis. São consideradas fontes não-renováveis aquelas passíveis de se esgotar por serem utilizadas com velocidade superior aos milhões de anos necessários para sua formação. Nesta categoria estão o petróleo e seus derivados, os combustíveis radioativos e o gás natural. Fontes renováveis são aquelas, cuja reposição pela natureza é bem mais rápida que sua utilização energética (como as águas dos rios, marés, sol, ventos) ou cujo manejo pelo homem pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética (como biomassa: cana-de-açúcar, florestas energéticas e resíduos animais, humanos e industriais). A maioria dessas fontes apresenta características estatísticas e estocásticas, de certa forma cíclicas, em períodos de tempo compatíveis com a operação das usinas elétricas e inferiores à vida útil das mesmas. Tais fontes podem ser utilizadas para produzir eletricidade principalmente através de usinas hidrelétricas, eólicas, solar-fotovoltaicas e centrais térmicas (REIS, 2003).

**Figura 1.2 – Potencial de disponibilidade energética mundial**



Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Global\\_Energy\\_Potential\\_2014\\_08\\_09.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Global_Energy_Potential_2014_08_09.svg)

A energia solar, em específico, é limpa e utiliza uma fonte inesgotável de energia, o Sol. Na Figura 1.2 mostra-se a área dos círculos proporcionais ao potencial mundial em um ano, no caso das energias renováveis, e o total de reservas mundiais comprovadas, no caso das fontes não renováveis. Observa-se, portanto, que o recurso solar pode suprir toda a demanda energética da humanidade. Para exemplificar, observe a seguinte análise.

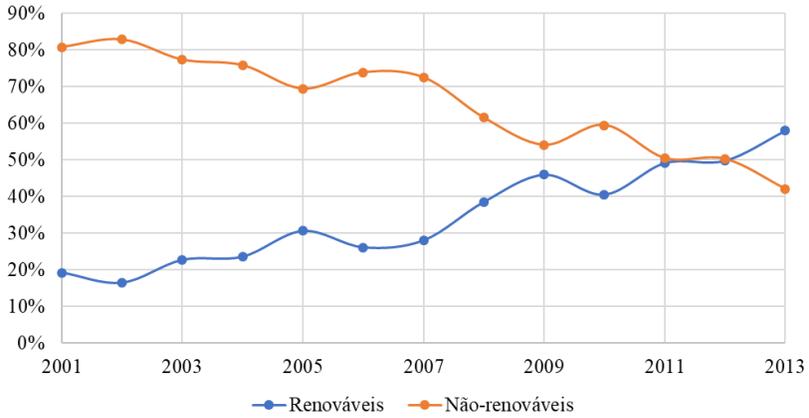
No Brasil, a média anual de irradiação solar fica entre 150 e 250  $W/m^2$  (PEREIRA *et al.*, 2017). Considerando que uma casa típica de 70  $m^2$ , a depender do telhado e da arquitetura, deva receber pelo menos 10 kW de energia eletromagnética proveniente do Sol e que a eficiência típica de um módulo fotovoltaico, hoje, já se encontra na faixa de 15%, seria possível converter pelo menos 1,5 kW em eletricidade. Quanto a demanda, verifica-se um consumo médio abaixo de 200 kWh o que dá uma potência média de apenas 0,28 kW. Ou seja, a demanda de uma residência pode ser facilmente atendida por energia solar.

No mundo, desde 2001, a capacidade instalada incrementada a cada ano supera os 100 GW. Para se ter uma ideia, isso equivale a toda capacidade de geração do Brasil. Observa-se, que desde 2013 as novas instalações renováveis superaram as não-renováveis (Figura 1.3). Isso significa o início da era renovável ou a grande virada, onde será uma questão de tempo para invertermos o atual cenário energético mundial baseado em combustíveis fósseis. Só em 2016, por exemplo, as novas instalações fotovoltaicas chegaram a 75 GW, algo equivalente a 31.000 painéis fotovoltaicos instalados por hora. A capacidade instalada chegou ao patamar de 303 GW (REN21, 2017).

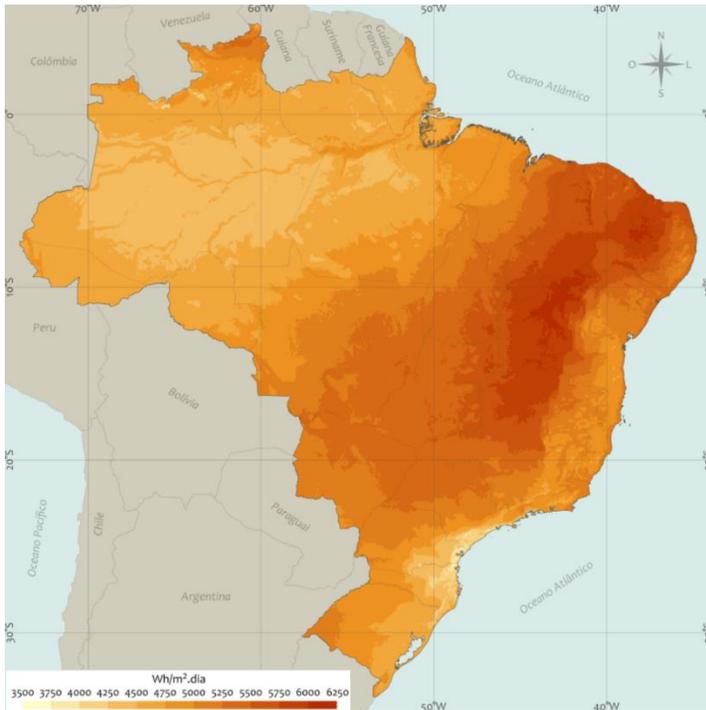
O Brasil é um exemplo mundial na utilização de fontes de energia renovável dentro da sua matriz energética. Mesmo assim, sempre se recomenda diversificar ao máximo a matriz energética, pois isso evita colapsos, como os experimentados no início deste século. Nesse contexto, a energia solar apresenta-se como uma boa alternativa, tendo em vista o inevitável aumento que os combustíveis fósseis terão nas próximas décadas e a problemática das questões ambientais e do aquecimento global. Áreas de desertos, regiões semiáridas ou mesmo alagadas (reservatórios), bem como os telhados de construções, são

espaços ideais para o aproveitamento da energia solar, uma vez que não competem com as atividades agrícolas. Em particular, a região Nordeste do Brasil apresenta condições bastante favoráveis para o aproveitamento da energia solar seja para produção de energia térmica como elétrica (Figura 1.4).

A conversão da energia solar em eletricidade é realizada pela célula fotovoltaica. Dentre as principais vantagens dessa tecnologia estão: a modularidade, a escalabilidade, a operação silenciosa, sem partes móveis, sem emissão de poluentes, entre outras. Essas características tornam essa tecnologia ideal para aplicações de geração distribuída (GD), i.e., geração próxima ao local de consumo. Esta modalidade permite que pequenos investidores (consumidores finais) atuem no setor. Investimentos em infraestrutura são, normalmente, capital intensivo e requerem alguns anos para se ter o retorno do capital investido. Os brasileiros, em geral, concentram seu investimento na compra da casa própria. Entretanto, nos últimos anos, têm-se visto uma crescente adesão a instalação descentralizada de instalações fotovoltaicas dentro da geração distribuída. Isso ocorreu, principalmente, devido a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL que regulamentou a geração distribuída no Brasil e instituiu a possibilidade de utilizar a rede elétrica como um grande armazenador de energia, permitindo que o excedente de energia possa ser despachado na rede para consumo futuro. Esse modelo passivo de inserção (compensação líquida), no atual cenário de custos de tecnologia cada vez mais baixos (Figura 1.5), vem se mostrando bastante promissor.

**Figura 1.3 – Percentual das novas instalações de geração de energia**

Fonte: [http://www.irena.org/rethinking/Rethinking\\_FullReport\\_web.pdf](http://www.irena.org/rethinking/Rethinking_FullReport_web.pdf)

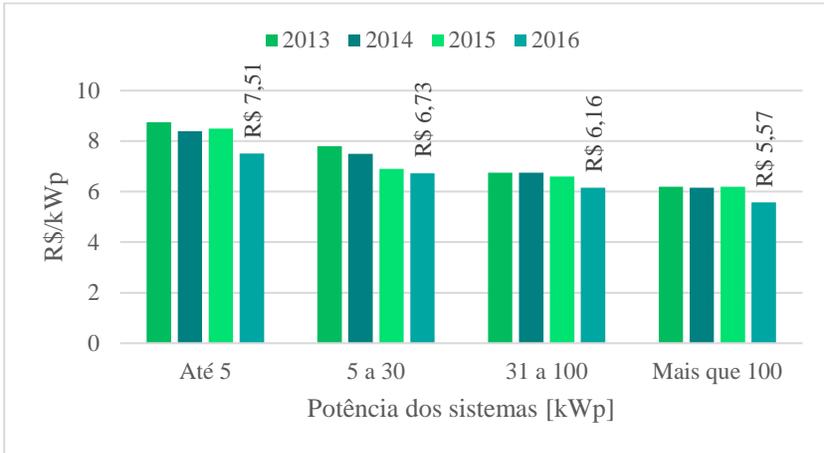
**Figura 1.4 – Média anual da irradiação solar no plano inclinado na latitude**

Fonte: PEREIRA *et al.*, 2017

A projeção da ANEEL é um crescimento exponencial, atingindo 886.700 consumidores e uma potência instalada de 3,2 GW em 2024 (ANEEL, 2017). Trata-se de instalações de pequeno porte, para consumo local. Na Figura 1.5 mostra-se que 72% das instalações possuem potência igual ou inferior a 5 kW e a grande maioria é na faixa de 3 kW. Isso corresponde a residências cuja demanda mensal fica entre 500 e 900 kWh. A falta de linhas de financiamento atraentes para pessoas físicas e o fato que 78% das instalações são realizadas em residências, induz a estimativa que a maioria dos atuais investidores em energia fotovoltaica são profissionais liberais, pertencentes a classe média alta. Observa-se, contudo, o crescente interesse de empresas do setor comercial.

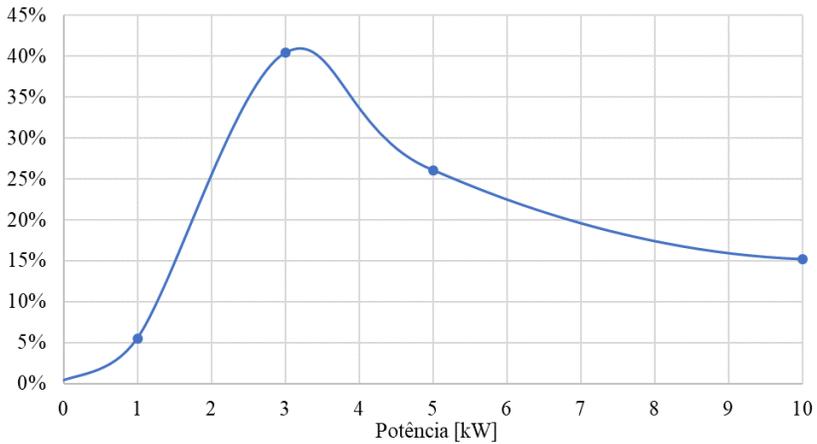
Como qualquer recurso natural, o que define seu custo é a disponibilidade. No caso da energia solar, a irradiação é relativamente bem distribuída de forma espacial e temporal. Aonde, portanto, reside o custo de uma instalação solar? O que acontece é que trata-se de um recurso intermitente, onde o fator de capacidade (razão entre a produção efetiva de energia e a total máxima da usina) normalmente não passa de 18%. Ou seja, seria como se a usina funcionasse somente 18% do tempo em potência máxima (de pico). Aliado a isso, a densidade de energia média fica abaixo de 300 W/m<sup>2</sup>, chegando a picos levemente acima dos 1000 W/m<sup>2</sup>. Para ilustrar, observe a grande variação medida em Fortaleza-CE ilustrada na Figura 1.6. Os dados foram medidos através da média da energia coletada em intervalos de 30 s. A variação é instantânea, assim que a irradiação cai, instantaneamente a corrente gerada cai na mesma proporção. Sem um sistema de armazenamento de energia, portanto, torna-se impossível garantir o suprimento de energia.

**Figura 1.5 – Média dos preços de sistemas FV por faixa de potência instalada**



Fonte: [https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017\\_web](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017_web)

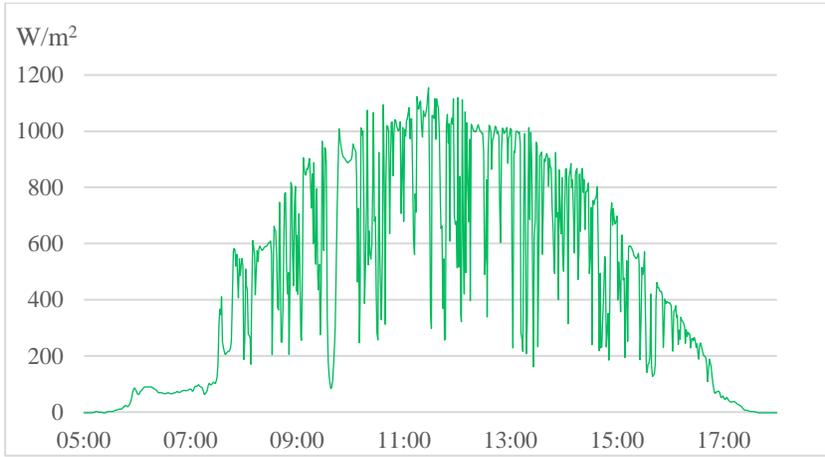
**Figura 1.6 – Percentual das instalações fotovoltaicas no Brasil por potência instalada**



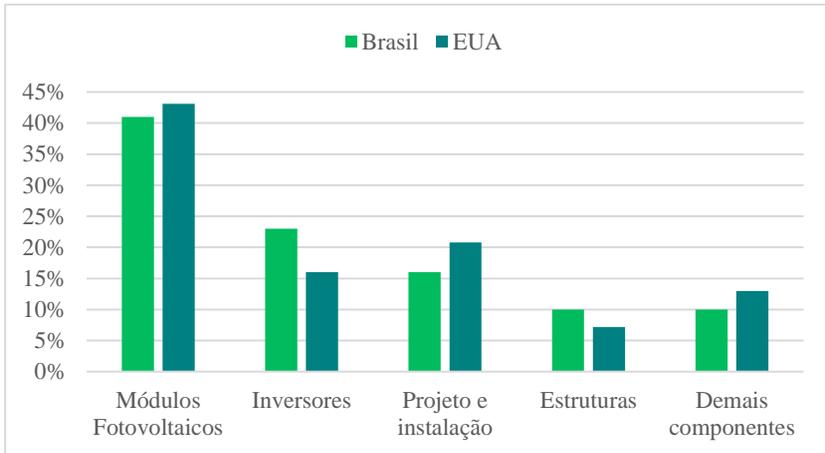
Fonte: Nota Técnica n° 0056/2017-SRD/ANEEL - Microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024

Alguns fatores contribuem para o crescimento do uso dessa tecnologia, tais como: redução de preços de equipamentos, isenção de impostos, facilidade de instalação, recursos de radiação solar abundante, entre outros. De acordo com o NREL (2015), a variabilidade do recurso solar é a maior incerteza na previsão de performance e viabilidade financeira de um projeto de planta solar. Logo, o levantamento e planejamento dos recursos solares em determinada localidade é de alto valor estratégico para fornecedores de energia e investidores no que compete a tomada de decisão sobre os tipos mais adequados de tecnologia de célula e de estrutura de instalação (fixa ou com rastreamento) devem ser empregados nos Sistemas Fotovoltaicos (SFV).

Na composição do custo de uma instalação fotovoltaica, observa-se que o módulo representa 43% do custo para um consumidor residencial nos EUA e 41%, no Brasil. Para essa comparação e a confecção dos custos nos EUA, os custos com aquisição (frete e taxas) foram proporcionalmente adicionados aos custos do módulo e do inversor. Os demais componentes e a estrutura foi considerada como aquisição local. Como resultado, apresenta-se a Figura 1.8. A diferença nos custos do inversor demonstra que existe uma boa probabilidade de baixar os preços dos inversores no mercado nacional nos próximos anos. No item demais componentes, a diferença nos custos se deve à aquisição do medidor que no Brasil é de responsabilidade da concessionária. Outro ponto a se destacar é o valor gasto em projeto e instalação; nos EUA esse custo é 30% maior que no Brasil.

**Figura 1.7 – Irradiação solar: médias a cada 30 s**

Fonte: Dados coletados dia 17/03/04 em Fortaleza-CE

**Figura 1.8 – Custo na cadeia de uma instalação fotovoltaica**

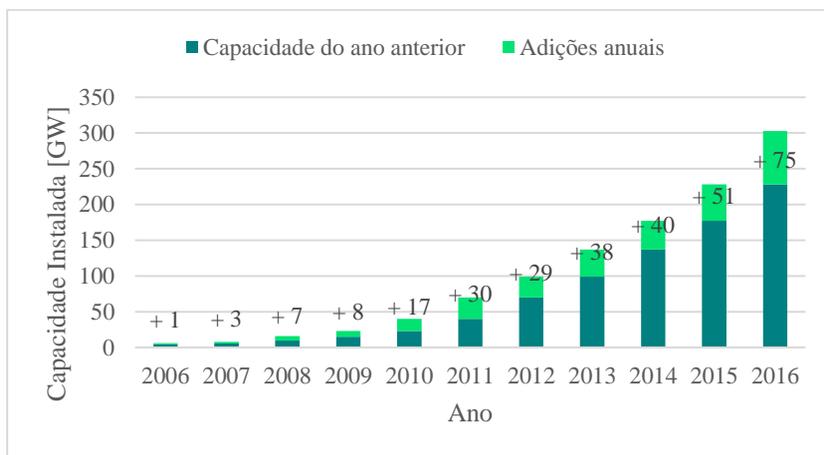
Fonte: <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64746.pdf> e [https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017\\_web](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017_web)

## 2 Histórico da Geração Fotovoltaica

As primeiras aplicações do efeito fotovoltaico foram para o uso espacial, como fonte de eletricidade para satélites, no final da década de 50. Já os primeiros estudos datam de 1839, ano em que Edmund Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico do silício, quando ele produziu uma corrente, expondo eletrodos de prata à radiação solar em um eletrólito. Contudo, a primeira célula produzida foi com selênio em 1883 por Fritts e Uljanin. A explicação física da junção PN por Bardeen e Brattain e o descobrimento do transistor por Shockley em 1949, fatos que marcaram o início da era do semicondutor, possibilitaram o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica. Na década de 70, com a chamada crise do petróleo, se iniciaram as primeiras aplicações para uso terrestre (GOETZBERGER *et al.*, 1998; FRAIDENRAICH e LYRA, 1995).

Desde então, a indústria fotovoltaica mundial tem demonstrado um crescimento acima de 30% ao ano como mostra a Figura 1.9. Em 2016, a capacidade instalada atingiu 303 GW, onde a maioria se encontra na China, seguida pelo Japão, Alemanha e Itália. Quase a metade dos 75 GW acrescentados em 2016 foram na China. Entre os países, destacam-se ainda os EUA, o Japão e a Índia.

**Figura 1.9 – Capacidade Mundial Instalada Anualmente e Acumulada de Sistemas Fotovoltaicos**



Fonte: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/GSR2017\\_Full-Report.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/GSR2017_Full-Report.pdf)

As instalações isoladas (off-grid) representam hoje menos de 1%. Entretanto, há pouco mais de 10 anos, essa forma de aplicação era a maioria. Hoje, mais de 70% são grandes usinas fotovoltaicas de geração centralizada. Já a geração distribuída conectada à rede, tema principal deste trabalho, representa pouco menos de 30% da potência instalada, mas representa a maioria das instalações em termos de quantidade. Aliado a isso, a tecnologia fotovoltaica é especialmente indicada para esse tipo de aplicação, pois é modular, não possui partes móveis, nem requer muita manutenção.

Diante desse contexto, este Capítulo abordará conceitos importantes a respeito dos fundamentos do recurso solar, da tecnologia fotovoltaica, bem como um estudo de viabilidade técnico/econômico de implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico em Aracaju-Sergipe utilizando o *Software Open-Source System Advisor Model* (SAM, 2017).

### **3 Fundamentos**

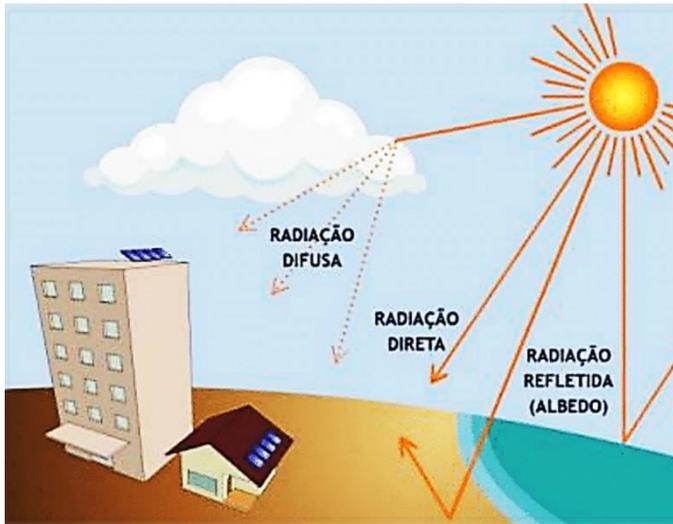
#### **3.1 O Recurso Solar: Radiação Solar e Suas Componentes**

A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma das componentes: direta, difusa e refletida. Radiação direta ou Irradiação Normal Direta (DNI, sigla em inglês) é aquela proveniente diretamente do sol, sem sofrer nenhuma mudança de direção, além da provocada pela refração atmosférica. Já a radiação difusa é aquela espalhada na atmosfera para fora do feixe direto por moléculas de ar, aerossóis e nuvens. A radiação refletida depende das características do solo e da inclinação do equipamento captador. A soma das radiações direta, difusa e da radiação refletida do solo que chega na superfície é chamado de radiação solar total ou global (NREL, 2015), conforme se vê na Figura 1.10.

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra, e consequentemente o potencial de energia disponível, podem ser determinados apenas de forma aproximada, devido, principalmente, à inclinação de seu eixo de rotação em relação

ao plano da órbita em torno do Sol. Variam também de acordo com a região, notadamente pelas diferenças de latitude, condições meteorológicas e a altitude.

**Figura 1.10 – Composição de radiação solar em uma região**



Fonte: (TRAJANO, 2010)

A seguir são apresentadas algumas definições e simbologias de acordo com a NBR 10899 (ABNT, 2013):

- Irradiação solar ( $H$ ) - integrada durante um dia, medida em watt hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ). Quando integrada durante o período de uma hora é simbolizada por "I".
- Irradiação direta ( $H_{DIR}$ ) - irradiância direta integrada durante um dia;
- Irradiação difusa ( $H_{DIF}$ ) - irradiância difusa integrada durante um dia;
- Irradiação global ( $H_{HOR}$ ) - irradiância global integrada durante um dia;
- Irradiação total ( $H_{TOT}$ ) - irradiância total integrada durante um dia.

Além dessas, é admitido que a irradiância direta,  $G_{DIRN}$ , é a densidade de fluxo de energia da radiação solar de raios perpendiculares

a uma superfície plana. Já a radiação direta horizontal,  $G_{DIRH}$ , difere da  $G_{DIRN}$  no que compete à colisão de raios diretos em uma superfície no plano horizontal (PAULESCU *et al.*, 2013).

### 3.2 Instrumentos de Medidas Solarimétricas

As medições solarimétricas são de fundamental importância para o projeto e a previsão do funcionamento de aplicações da geração fotovoltaica.

O piranômetro, utilizado para medição da radiação total ou difusa, pode ter, basicamente, dois tipos de sensores de radiação: as termopilhas e as células de silício monocristalino. A termopilha consiste na medição da diferença de temperatura de duas superfícies, uma pintada de branco e outra de preto, ambas igualmente iluminadas. A principal vantagem da termopilha é a sua ampla resposta espectral. O uso da célula de silício monocristalino como sensor apresenta como principal vantagem o baixo custo, cerca de 10 a 20 % dos custos dos instrumentos que usam termopilhas. A maior limitação, entretanto, é a não uniformidade da resposta espectral e a região relativamente limitada de comprimentos de onda à qual a fotocélula é sensível (0,4 a 1,1  $\mu\text{m}$  com máximo em torno dos 0,9  $\mu\text{m}$ ). A principal vantagem do piranômetro é poder fazer medições em diversas escalas de tempo, dependendo do equipamento de aquisição de dados.

A radiação direta pode ser medida através de um instrumento chamado pireliômetro, que possui um dispositivo de acompanhamento do Sol e de um sistema ótico que só admite a energia proveniente do disco solar e de um estreito anel adjacente.

O heliógrafo é um instrumento usado para medir a duração da insolação através de um traço prolongado em uma faixa de papel que é enegrecida, quando a radiação é superior a 120  $\text{W}/\text{m}^2$ .

A medição da radiação total ou sua componente difusa podem ainda ser medidas pelo actinógrafo, também chamado de piranógrafo. O sensor é composto de três tiras bimetálicas, sendo uma central livre em cor preta numa extremidade e duas tiras laterais brancas fixas. O movimento na extremidade livre da tira preta é causado pela diferença

de dilatação dos metais que a compõem, transmitindo mecanicamente a uma pena, que registra sob uma carta de papel.

### **3.3 Geração Fotovoltaica**

A radiação eletromagnética proveniente do Sol possibilita a vida na Terra e constitui uma fonte praticamente inesgotável de energia. Dela pode-se observar características ondulatórias e corpusculares. Essas características possibilitam dois processos primários de conversão para energia elétrica, sendo eles:

- Processo de fotoconversão: processo que transfere diretamente para a energia elétrica, como os sistemas fotovoltaicos;
- Processo de termoconversão: a energia se converte primeiramente em calor para posteriormente ser transformada em energia elétrica.

#### **3.3.1 Efeito fotovoltaico da junção PN**

A célula solar, também conhecida como célula fotovoltaica, é o elemento básico para a transformação da radiação eletromagnética em energia elétrica e pode ser compreendida como um dispositivo semicondutor que produz uma corrente elétrica, quando exposta à luz.

Um semicondutor a zero Kelvin possui uma banda preenchida por elétrons, chamada de banda de valência e uma segunda banda de nível mais alto que está despopulada, chamada de banda de condução. Entre essas duas bandas existe uma banda, que os elétrons não podem ocupar, chamada de banda proibida (gap). Para que o elétron passe da banda de valência para a de condução, uma quantidade mínima de energia é necessária, sendo uma constante característica para cada material. Desse deslocamento, dois tipos de portadores de carga são formados: o elétron agora localizado na banda de condução e uma lacuna (positiva), onde o elétron se localizava na banda de valência.

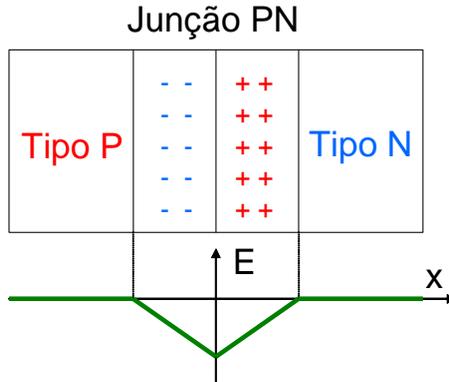
Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia suficiente, excitarem os elétrons à banda de condução. Esse efeito, que pode ser observado em semicondutores puros, também chamados de intrínsecos,

não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para tal, é necessária uma estrutura apropriada, em que os elétrons excitados possam ser coletados, gerando uma corrente elétrica útil.

Os elementos pertencentes ao grupo IV da tabela periódica, como o silício e o germânio, possuem como principal característica a presença de quatro elétrons de valência que se ligam aos vizinhos em ligações covalentes, formando uma rede cristalina. Ao adicionar átomos pentavalentes, como o fósforo e o arsênio, haverá um elétron em excesso para formar as ligações covalentes, ficando fracamente ligado a seu átomo de origem. Nesse caso, necessita-se de somente uma pequena quantidade de energia para liberar este elétron para a banda de condução, algo em torno de 0,02 eV. Diz-se assim que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante N. O cristal dopado chama-se N (tipo N). Se, por outro lado, forem introduzidos elementos do grupo III da tabela periódica, como índio e o boro, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações covalentes com os átomos de silício da rede. Essa falta de elétron é denominada buraco ou lacuna. O cristal dopado é chamado P (tipo P). O boro, por exemplo, é considerado um aceitador de elétrons ou um dopante P.

Através da união dos cristais do tipo N e P, uma junção PN é formada. Na região da junção se dá uma difusão de elétrons do lado N para P, devido ao elevado gradiente de concentração. Esse deslocamento estabelece uma redução de elétrons do lado N, tornando-o positivo, e um acúmulo de elétrons do lado P, tornando-o negativo. Surge assim um campo elétrico na região da junção; esse processo alcança o equilíbrio, quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de impedir a passagem dos elétrons livres remanescentes do lado N. A tensão total através da junção é denominada de tensão de difusão, cerca de 1 V.

Figura 1.11 – Campo elétrico (E), junção PN



Fonte: CRESESB, 1999

Uma junção PN possui um campo elétrico diferente de zero e crescente em direção à junção, resultante da transferência de carga, como apresentado na Figura 1.11 (CRESESB, 1999). Quando essa junção for exposta a fótons, que se caracterizam por um fluxo de partículas no nível atômico da luz e receber uma energia maior do que a banda de energia, ocorre a geração de pares elétron-lacuna, acelerando-as, gerando assim uma corrente elétrica através da junção. O deslocamento de cargas sob uma diferença de potencial chama-se de efeito fotovoltaico. Uma ligação externa é necessária para disponibilizar a corrente para uso. Com isso, para cada elétron, que deixa a célula, há outro que retorna da carga, substituindo-o, evidenciando que a célula solar não pode armazenar energia elétrica.

Através da Equação (1.1), proposta pelo físico alemão Albert Einstein, é possível relacionar a energia do fóton  $E$  com o respectivo comprimento de onda  $\lambda$ :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1.1)$$

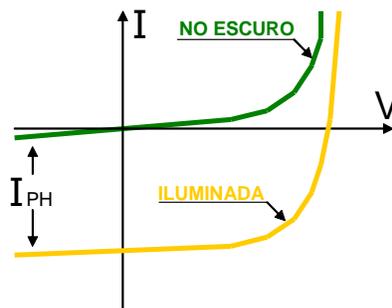
onde  $h$  representa a constante de Planck ( $6,6 \times 10^{-34}$  J·s) e  $c$  a velocidade da luz no vácuo ( $3 \times 10^8$  m/s). No entanto, de todo o espectro de frequência da luz somente uma parte pode ser absorvida e convertida em corrente elétrica útil.

Outro fator que limita a absorção de energia solar é que cada fóton só excita um elétron, precisando ter mais energia que a banda de valência para isso. A energia eletromagnética excedente e a insuficiente para excitar um elétron são convertidas em calor. Por fim, mesmo para os elétrons excitados, existe uma probabilidade de não serem coletados, não contribuindo para a corrente. O resultado é que, para células de silício, o limite teórico de conversão de radiação solar em eletricidade é de 31% (FRAIDENRAICH e LYRA, 1995).

### 3.3.2 Curva característica de tensão e corrente da junção PN

A curva característica corrente x tensão da junção PN no escuro se parece com a de um resistor não linear. Porém, com a exposição à radiação solar, a curva se desloca do primeiro para o quarto quadrante, pela adição de uma fotocorrente  $I_{PH}$ , como pode ser visto na Figura 1.12. Essa corrente é independente da tensão aplicada, caracterizando uma fonte de corrente, sendo sua intensidade proporcional à radiação, à área iluminada e à temperatura.

Figura 1.12 – Curva característica da junção PN



### 3.3.3 Parâmetros que influenciam a curva característica das células FV

Os módulos fotovoltaicos normalmente operam em condições diferentes da condição padrão, tendo suas principais grandezas elétricas alteradas com variações da radiação e da temperatura. Essas variações

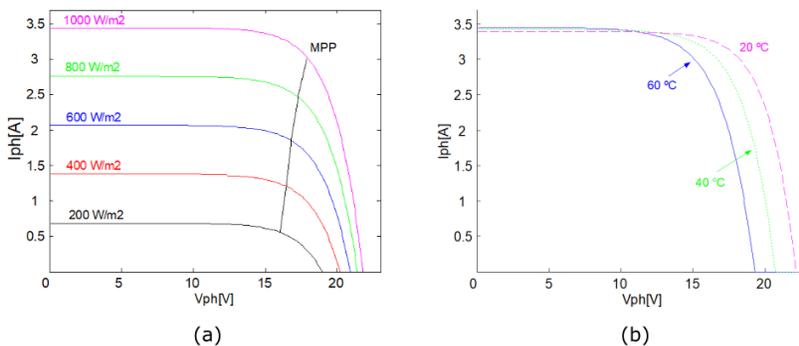
ocorrem principalmente devido às mudanças das condições climáticas do local.

A fotocorrente  $I_{PH}$  é diretamente proporcional à radiação solar incidente na célula, conforme mostra-se na Figura 1.13a. Do mesmo modo se comporta a corrente de curto-circuito da célula,  $I_{CC}$ , se os efeitos da resistência série  $r_s$  forem desprezados.

A temperatura também faz com que a banda de energia do material semicondutor diminua, resultando em um acréscimo da fotocorrente gerada,  $I_{PH}$ , de aproximadamente 0,1 %. Entretanto, a tensão de circuito aberto,  $V_{OC}$ , decresce a uma taxa de 0,3 % /°C, resultando que a potência gerada diminua em 1 % a cada 2,7 K de elevação da temperatura (GOETZBERGER *et al.*, 1998), conforme ilustra a Figura 1.13b.

Com isso vimos que a potência fornecida pela célula depende da radiação e da temperatura, necessitando de condições padrões, para que diferentes células possam ser comparadas entre si, sendo elas: coeficiente de “massa de ar” (AM) de 1,5; radiação de 1000 W/m<sup>2</sup> e temperatura na célula de 300 K.

**Figura 1.13 – Fatores que influenciam a curva característica dos módulos fotovoltaicos**



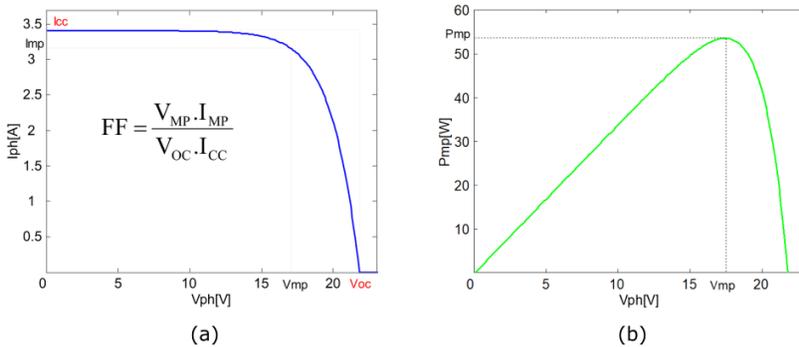
Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.3.4 Características elétricas das células FV

Os principais parâmetros de especificação de uma célula solar são: a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ), que idealmente é igual a  $I_{PH}$ ,

tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ); tensão e corrente de máxima potência, respectivamente  $V_{MP}$  e  $I_{MP}$ ; o fator de forma (FF), e a eficiência ( $\eta$ ) (FRAIDENREICH e LYRA, 1995). O fator de forma é uma grandeza que expressa quanto a curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama  $I \times V$ . Alguns desses parâmetros podem ser visualizados nas curvas da Figura 1.14.

**Figura 1.14 – Curva característica  $I \times V$ , com definição do FF, e a curva de potência do módulo FV**



Fonte: Elaborado pelos autores

Analisando a curva característica corrente x tensão e o circuito equivalente das células fotovoltaicas, pode-se levantar algumas dessas características das células fotovoltaicas, como as seguintes (GOETZBERGER *et al.*, 1998):

- a tensão de um módulo fotovoltaico depende exclusivamente da carga, pois o módulo se constitui de uma fonte de corrente;
- a potência de curto-circuito é nula, porque no instante do curto a corrente é máxima, mas a tensão é nula;
- em circuito aberto não existe corrente externa que supere a diferença de potencial entre as regiões dopadas. A geração e a recombinação de portadores de carga encontram-se em equilíbrio;
- o ponto de operação, no qual a potência entregue à carga alcança o seu maior valor, é denominado ponto de máxima potência (PMP). A respectiva corrente e tensão são  $I_{MP}$  e  $V_{MP}$ ;

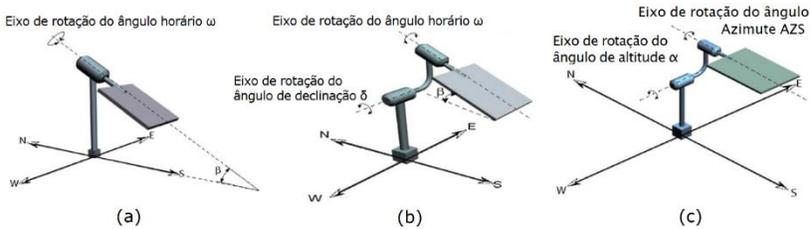
- o fator de forma (FF) é definido como a relação entre a potência no PMP e o produto da corrente de curto-circuito vezes a tensão de circuito aberto. Valores usuais para células solares ficam entre 70 e 80%;
- o rendimento descreve a relação entre a potência no PMP e a potência total da luz incidente. Células solares de silício normalmente encontrados no comércio alcançam rendimentos de 13 a 15%.

### 3.4 Insoiação com Rastreamento

Seguidor solar é o dispositivo responsável por rastrear o Sol, reorientando o plano de captação na direção do sol para aproveitamento da energia solar ou medição de radiação por equipamentos, como painéis fotovoltaicos e pireliômetros. Em sistemas de painéis fotovoltaicos, o objetivo dessa reorientação é aumentar a captação da radiação direta da luz solar, através do aumento da área de incidência dos raios solares. A maior área de incidência é obtida sempre que a superfície do aparato estiver formando um ângulo reto com os raios solares.

Os seguidores solares podem ser classificados de acordo com vários critérios, como número de eixos rotativos, tipo de controle, estratégia de rastreamento e tipo de estrutura. Quanto ao número de eixos, o sistema pode utilizar apenas um, mais simples e barato, porém menos eficiente para regiões mais afastadas do equador, ou pode utilizar dois eixos, que torna o sistema mais caro. Quanto ao tipo de controle, os mais utilizados são os microprocessados, que são controlados por um micropocessorador com os dados de posição do Sol ao longo do ano já pré-implementadas e, portanto, não utilizam sensores para detectar a posição do Sol, e os eletro-ópticos, que rastreiam o Sol utilizando sensores (LIRA, 2014).

Algumas estratégias de rastreamento são apresentadas na Figura 1.15. Para sistemas instalados em telhados residenciais, o sistema mais utilizado é primeiro, com o eixo de rotação com uma inclinação fixa, sendo que o rastreamento é realizado no ângulo horário  $\omega$ .

**Figura 1.15 – Sistemas rastreadores do Sol**

(a) Rastreador de único eixo. (b) Rastreador de dois eixos tipo equatorial com ângulo igual à latitude. (c) Rastreador de dois eixos tipo azimute/elevação.

Fonte: ALATA; AL-NIMR; QAROUSH, 2005

O objetivo do rastreador de dois eixos da Figura 1.15c é zerar os erros dos ângulos de altitude,  $\alpha$ , e de Azimute, AZS. Desta forma, o ângulo de incidência é a componente normal do plano da placa, proporcionando que toda a radiação direta esteja incidindo no painel. Já o rastreador de dois eixos com inclinação, Figura 1.15b, embora tenda zerar erro de Azimute, a inclinação fixa a latitude provoca uma perda de rastreabilidade do arco correspondente ao ângulo de declinação. Por fim, o rastreador horizontal busca zerar o erro angular que corresponde a soma dos ângulos de inclinação a latitude com o de declinação, uma vez que, o eixo azimutal não possui sistema de rastreamento.

## 4 Projeto Fotovoltaico Utilizando o SAM

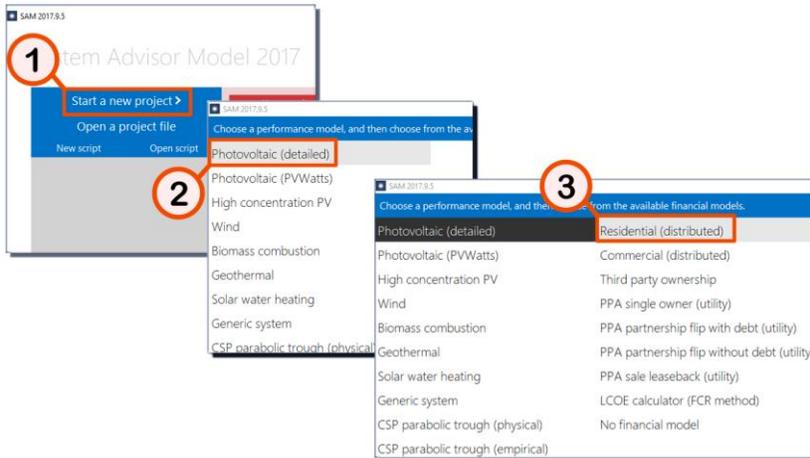
Esta seção dedica-se a mostrar como utilizar o SAM para simular um projeto fotovoltaico. O exemplo aqui utilizado é referente à cidade de Aracaju-SE, embora o leitor possa utilizar sem dificuldades os conceitos aqui comentados para qualquer cidade de seu interesse. Além disso, será considerado um projeto fotovoltaico para uma carga elétrica média de cerca de 500 kWh por mês.

### 4.1 Criando um Novo Projeto

Na Figura 1.16 mostra-se passo-a-passo como criar um novo projeto fotovoltaico detalhado para uso residencial. Para criar um novo projeto (passo 1) deve-se optar pela opção “*Start a new Project*”, ao inicializar o SAM. Caso deseje-se modificar um projeto existente, deve-

se optar pela opção “*Open a Project file*”. Em seguida (passo 2) escolhe-se o modelo de desempenho (performance model), que representa a tecnologia de geração de energia a ser escolhida pelo usuário.

**Figura 1.16 – Menu de opções para a escolha do modelo desejado**



Fonte: Elaborado pelos autores

Use o modelo “*Detailed Photovoltaic*” para modelar um sistema fotovoltaico on-grid caso tenha informações detalhadas sobre os componentes que farão parte do sistema, como os módulos e inversores. Existem outros modelos. Por exemplo, o modelo “*PVWATTS Photovoltaic*” é recomendado para análises preliminares de projetos quando ainda não se tem muitas informações acerca das características dos componentes que serão utilizados.

Ao se escolher o modelo fotovoltaico detalhado (“*Detailed Photovoltaic*”), o SAM traz algumas opções de modelos financeiros para se utilizar de forma conjunta com o modelo de desempenho (passo 3). Entre tais modelos financeiros estão o residencial e o comercial, por exemplo. Na seção “*Custos e Parâmetros Financeiros*”, alguns conceitos referentes à análise econômica do SAM serão melhor esclarecidos. Para condução do exemplo sugerido na presente seção, utilizaremos a opção modelo financeiro residencial.

## 4.2 Inserindo as Características do Sistema

Após a escolha dos modelos de desempenho e de análise financeira, a próxima etapa é iniciar, de fato, a caracterização do sistema a ser modelado. Isto é feito através da introdução de dados e informações nas diversas abas disponíveis, destacadas pelo retângulo azul na Figura 1.17.

Na aba “*Location and Resource*”, escolhe-se basicamente a localidade (*location*) e os dados de radiação (resource) solar, necessários para a simulação do sistema fotovoltaico naquele local.

**Figura 1.17 – Abas para caracterização do sistema. Detalhe da aba “Location and Resource” para escolha da localidade e dados de radiação do projeto**

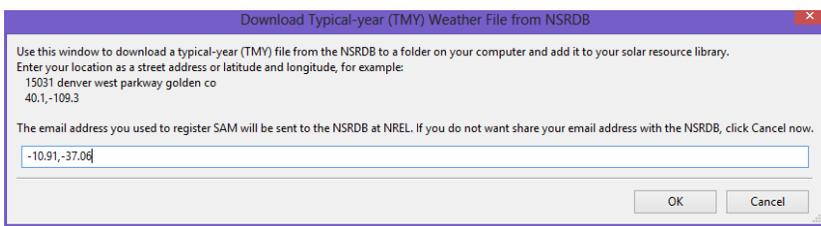
The screenshot shows the SAM software interface. The sidebar on the left is highlighted with a blue box and contains the following options: Photovoltaic, Residential; Location and Resource; Module; Inverter; System Design; Shading and Snow; Losses; Lifetime; Battery Storage; System Costs; Financial Parameters; Incentives; Electricity Rates; Electric Load. The main panel is titled 'NREL National Solar Radiation Database (NSRDB)'. It contains two buttons: 'Download a weather file for your location...' (highlighted in orange) and 'Choose files to download (advanced)...' (highlighted in green). Below these are links to 'Map on NSRDB website' and 'SAM weather data website'. The 'Solar Resource Library' section shows a 'Weather file' path: 'C:\Users\Fernanda\SAM Downloaded Weather Files\lat-10.91000\_lon-37.06000\_tmy.csv'. The 'Header Data from Weather File' section includes fields for City, Time zone (GMT-3), Latitude (-10.91 °N), Longitude (-37.06 °E), Elevation (3 m), and Station ID (1993443). The 'Annual Averages Calculated from Weather File Data' section shows: Global horizontal (6.28 kWh/m²/day), Direct normal (beam) (6.53 kWh/m²/day), Diffuse horizontal (1.75 kWh/m²/day), Average temperature (26.5 °C), Average wind speed (2.7 m/s), and Maximum snow depth (NaN cm). The 'Files in Library' section has a search bar and a table with columns: Name, Station ID, Latitude, Longitude, Time zone, and Elevation. The table lists four entries: USA WY Wortland Municipal (TMY3), Uzbekistan UZB Tashkent (INTL), Zimbabwe ZWE Harare (INTL), and lat-10.91000\_lon-37.06000\_tmy. At the bottom, there is a 'Choose a Weather File from Your Computer' section with a 'Browse...' button and a note about supported file formats.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Em sua própria biblioteca, o SAM oferece ao usuário a possibilidade de escolha de inúmeras localizações dentro de vários países ao redor do planeta. Para o Brasil, por exemplo, o SAM já disponibiliza a opção de cidades como Salvador, Florianópolis, São Paulo, entre outras. No entanto, caso a localização desejada não se

encontre nos dados da biblioteca original do software (que é o caso, por exemplo, da cidade de Aracaju), pode-se adicionar novas localizações. Para isso, existem basicamente duas alternativas. Uma delas, mais simples, é clicar na opção “*Download a weather file for your location*”, conforme indicado em vermelho na Figura 1.17. Ao clicar nessa opção, um novo quadro aparecerá, pedindo uma das seguintes informações: um endereço ou a latitude e longitude da localização desejada. Para o caso específico da cidade de Aracaju, sua latitude é de  $-10,91^\circ$  e sua longitude é de  $-37,06^\circ$  (tais valores podem ser encontrados com uma alta precisão em softwares de localização como o *Google Earth*, por exemplo). Na Figura 1.18 mostra-se a introdução desses valores no referido quadro. O SAM irá baixar automaticamente dados como altitude, temperatura média, radiação, velocidade do vento, etc. para um ano típico da localização indicada. Para o caso de Aracaju, a Figura 1.17 mostra que, por exemplo, a temperatura média é de  $26,5^\circ\text{C}$  e a radiação global horizontal é  $6,28 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ . A metodologia do ano típico envolve a análise de um conjunto de dados de vários anos e a escolha de um conjunto de 12 meses entre tais anos que melhor represente condições típicas da região no longo prazo. Tais dados são incorporados à biblioteca do programa no seu computador para usos futuros.

**Figura 1.18 – Introduzindo valores de latitude e longitude da cidade de Aracaju para o download das características climáticas de um ano típico**



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

A outra possibilidade de adição de cidades à biblioteca do SAM é na opção avançada “*Choose files to download*”, mostrada em verde na Figura 1.17. Nessa opção, também deve-se informar um endereço válido ou os dados de latitude e longitude da cidade desejada. Tal alternativa permite o download tanto do ano típico quando de anos específicos para cada localidade, o que pode ser de grande utilidade ao

usuário. Particularmente no exemplo aqui considerado, manteremos os dados de um ano típico para Aracaju.

Seguindo a ordem de abas mostradas na Figura 1.17, o próximo passo deve ser a escolha do módulo fotovoltaico, através da aba *Module*. A opção padrão do SAM é a “*CEC Performance Model with Module Database*”, por meio da qual se escolhe um dos módulos fotovoltaicos da biblioteca do SAM. Para cada módulo, o SAM fornece uma série de características técnicas, como eficiência nominal, máxima potência, tensão de circuito aberto, tensão e corrente de máxima potência, entre outras. Além disso, algumas características físicas como material, área e número de células do módulo em questão também são informadas.

Embora a biblioteca do SAM possua boa parte dos principais módulos utilizados no mercado, o próprio usuário pode inserir os dados específicos desejados para o módulo que deseja utilizar nas simulações. Isso pode ser feito alterando-se para a opção “*CEC Performance Model with User Entered Specifications*”, conforme mostrado em vermelho na Figura 1.19. Nessa mesma figura, são também mostradas as informações que devem ser fornecidas ao SAM para a utilização de um módulo adicional à biblioteca. Da mesma forma que ocorre para as localizações, o novo módulo adicionado e suas características podem ser salvos para usos futuros. Para isso, basta clicar em “*Save data to file*” e, quando for reutilizar tais informações, clicar em “*Load data from file*”, ambas destacadas na cor verde na Figura 1.19.

**Figura 1.19 - Opção de fornecimento dos dados do módulo desejado pelo usuário**

CEC Performance Model with User Entered Specifications ▼

<p><b>General Information</b></p> <p>Module description: Generic polycrystalline silicon module</p> <p>Cell type: multiSi</p> <p>Module area: 0 m<sup>2</sup></p> <p>Nominal operating cell temperature: 0 °C</p>	<p><b>Nominal Maximum Power Point Ratings at STC</b></p> <p>Power: 240 Wdc</p> <p>Efficiency: NaN %</p>
<p><b>Electrical Specifications</b></p> <p>Maximum power point voltage (Vmp): 0 V</p> <p>Maximum power point current (Imp): 6 A</p> <p>Open circuit voltage (Voc): 37 V</p> <p>Short circuit current (Isc): 7 A</p> <p>Temperature coefficient of Voc: -0.11 V/°C</p> <p>Temperature coefficient of Isc: 0.004 A/°C</p> <p>Temperature coefficient of max. power point: -0.41 %/°C</p> <p>Number of cells in series: 60</p>	<p><b>Current-Voltage (I-V) Curve at STC</b></p> <p>Calculate and plot</p>
<p><b>Mounting Configuration</b></p> <p>Standoff height: Building integrated</p> <p>Approximate installation height: One story building height or lower</p>	
<p><b>References</b></p> <p>For information about the CEC module model inputs, see Help. For details about the model implementation, see Gilman (2015) on the SAM website's Performance Model Documentation page:</p> <p><a href="#">Performance Model Documentation page on SAM website</a></p>	
<p><b>Save / Load Data</b></p> <p>Save data to file... Load data from file...</p>	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

É importante comentar que o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem, realiza a certificação de componentes do sistema fotovoltaico como módulos, inversores (*off-grid* e *on-grid*) e baterias. O acesso à lista de tais componentes devidamente certificados pelo INMETRO pode ser feito por meio endereço eletrônico [www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br). Particularmente no exemplo aqui conduzido, será utilizado um módulo já existente na biblioteca do programa, modelo GCL- P6/60260, certificado pelo INMETRO. As principais características desse módulo são mostradas na Figura 1.20. É possível verificar, por exemplo, que a eficiência nominal e a máxima potência de tal módulo é de cerca de 15,8% e 256 Wdc, respectivamente.

**Figura 1.20 – Características do módulo GCL- P6/60260 utilizado para exemplificação, contido na própria biblioteca do SAM**

Nominal efficiency	15.7608 %	Temperature coefficients	
Maximum power (Pmp)	256.428 Wdc	-0.429 %/°C	-1.100 W/°C
Max power voltage (Vmp)	30.6 Vdc		
Max power current (Imp)	8.4 Adc		
Open circuit voltage (Voc)	37.9 Vdc	-0.318 %/°C	-0.120 V/°C
Short circuit current (Isc)	9.1 Adc	0.046 %/°C	0.004 A/°C

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Após escolher o módulo fotovoltaico desejado para a simulação, deve-se, em seguida, escolher o modelo através da aba *Inverter*. O processo de escolha do inversor é semelhante àquele descrito para o módulo. O SAM possui em sua biblioteca uma ampla variedade de inversores (opção “*Inverter CEC Database*”), os quais são apresentados com suas respectivas características específicas, conforme mostrado na Figura 1.21 para o modelo específico Fronius Galvo 3.1-240V (inversor de 3100 Wac de potência e eficiência de 95,2%, certificado pelo INMETRO), que será utilizado na simulação aqui realizada.

Tal qual foi comentado para os módulos, o usuário também pode adicionar um novo inversor à biblioteca do SAM. Para isso, altera-se o botão de “*Inverter CEC Database*” para “*Inverter Datasheet*”, conforme mostrado em vermelho na Figura 1.22. O software pede a entrada de algumas características acerca do inversor adicionado, como tensão nominal AC e DC, máxima corrente DC, entre outras. Além disso, igualmente ao que acontece para os módulos, os dados do novo inversor podem ser salvos para usos futuros (observar botões destacados em verde na Figura 1.22).

**Figura 1.21 – Características fornecidas pelo SAM para o inversor Fronius Galvo 3.1-240V**

CEC weighted efficiency	95.235	%		
European weighted efficiency	94.868	%		
Maximum AC power	3100	Wac	C0	-7.36e-006 1/Wac
Maximum DC power	3265.08	Wdc	C1	-5.91e-005 1/Vdc
Power consumption during operation	18.0673	Wdc	C2	-0.000959 1/Vdc
Power consumption at night	0.9	Wac	C3	-0.00271 1/Vdc
Nominal AC voltage	240	Vac		
Maximum DC voltage	550	Vdc		
Maximum DC current	20.7	Adc		
Minimum MPPT DC voltage	165	Vdc		
Nominal DC voltage	329.52	Vdc		
Maximum MPPT DC voltage	440	Vdc		

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

**Figura 1.22 – Opção “Inverter Datasheet” para o fornecimento dos dados do inversor desejado pelo usuário**

Inverter Datasheet ▾

**Power Ratings**

Maximum AC output power:  Wac

Weighted efficiency:

Manufacturer efficiency:

Maximum DC input power:  Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

**Operating Ranges**

Nominal AC voltage:  Vac

Maximum DC voltage:  Vdc

Maximum DC current:  Adc

Minimum MPPT DC voltage:  Vdc

Nominal DC voltage:  Vdc

Maximum MPPT DC voltage:  Vdc

**Losses**

Power consumption during operation:  Wdc Suggested value:  Wdc

Power consumption at night:  Wac Suggested value:  Wac

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

Note: If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the "Losses" page to adjust the system losses accordingly.

**Save / Load Data**

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

O próximo passo é clicar na aba “*System Design*”, onde será descrito o tamanho e o arranjo desejados para o sistema. Basicamente, o SAM oferece duas possibilidades para especificação do número de módulos e inversores para o sistema fotovoltaico. A primeira delas (“*Specify desired array size*”) apresenta dois campos de entrada: a capacidade desejada para o sistema e a relação DC/AC. Com esses dois dados, o SAM automaticamente dimensiona todo o sistema (como número de módulos, de inversores, módulos em paralelos e em série, etc.). Na segunda possibilidade (“*Specify modules and inverters*”), o usuário deve informar o número de módulos por *string*, o número de *strings* em paralelo e o número de inversores que deseja em seu projeto fotovoltaico. Particularmente no exemplo aqui conduzido, será utilizada a opção “*Specify modules and inverters*” para um sistema com duas *strings* em paralelo e sete módulos por *string*, com somente um inversor. Os modelos do módulo e do inversor já foram previamente escolhidos, conforme já discutido. Na Figura 1.23 mostra-se a utilização da opção “*Specify modules and inverters*”, bem como as configurações provenientes dos dados inseridos, como número de módulos e inversores, máxima tensão DC, capacidade total e área total do sistema.

**Figura 1.23 – Dimensionamento do sistema na aba “System Design” utilizando a opção “Specify modules and inverters” para o módulo e inversor considerados.**

System Sizing	
<input type="radio"/> Specify desired array size <input checked="" type="radio"/> Specify modules and inverters	
Desired array size	3 kWdc
DC to AC ratio	1.10
Modules per string	7
Strings in parallel	2
Number of inverters	1

Configuration at Reference Conditions	
<b>Modules</b>	
Nameplate capacity	3,590 kWdc
Number of modules	14
Modules per string	7
Strings in parallel	2
Total module area	22.8 m <sup>2</sup>
String Voc	265.3 V
String Vmp	214.2 V
<b>Inverters</b>	
Total capacity	3,100 kWac
Total capacity	3,265 kWdc
Number of inverters	1
Maximum DC voltage	550.0 Vdc
Minimum MPPT voltage	165.0 Vdc
Maximum MPPT voltage	440.0 Vdc
Battery maximum power	0,000 kWdc
Sizing messages (see Help for details):	
Actual DC to AC ratio is 1.16.	
Voltage and capacity ratings are at module reference conditions shown on the Module page.	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Avaliando a Figura 1.23, percebe-se que a capacidade nominal dos módulos é cerca de 3,6 kWdc, ocupando uma área de 22,8 m<sup>2</sup>. Por sua vez, a capacidade total do inversor é 3,1 kWac, conforme já comentado. Além disso, observa-se que o SAM fornece o valor da razão DC/AC do sistema a ser simulado, a qual é 1,16 no exemplo desenvolvido. Tal valor é bem próximo ao de 1,1 recomendado pelo SAM.

A opção “*Specify Desired array size*” é indicada em análises preliminares para obter uma ideia aproximada da geração anual de um sistema ou como um primeiro passo para se obter o número de módulos e inversores e sua configuração no sistema. Ela usa em seus cálculos as especificações nominais dos módulos e inversores escolhidos previamente. Por sua vez, a opção “*Specify modules and inverters*” é apropriada quando o usuário conhece o layout do sistema que deseja simular ou para determinar a combinação ótima de módulos e inversores.

Ainda na aba “*System and Design*”, existe a opção “*Tracking and Orientation*”, onde é necessário indicar, primeiramente, se a orientação do seu módulo é fixa ou se existe algum tipo de mecanismo de rastreamento solar. Para o exemplo conduzido nesta seção, será considerado que o sistema é fixo. Maiores detalhes sobre a utilização dos recursos de rastreamento solar serão discutidos na seção de Estudo de Caso. Além disso, deve-se informar os valores da inclinação (*tilt*), e do azimute (*azimuth*) considerados para determinada aplicação. Outra informação que deve ser informada é o *Ground Covarage ratio* (GCR), que significa a razão entre a área dos módulos fotovoltaicos e a área do telhado ocupada pelo sistema fotovoltaico. Quando as inclinações aumentam, o GCR deve diminuir para evitar sombreamento no sistema, aumentando assim a distância entre os módulos. No projeto desenvolvido nesta seção, será utilizada uma inclinação de 15° e um azimute de 200°. Além disso, foi utilizando um GCR de 0,3, que é o valor padrão utilizado pelo SAM. É importante comentar que o valor do azimute pode ser calculado por meio do uso de softwares como o Google Earth, medindo-se o ângulo que determinado telhado (onde serão instalados os módulos) faz com a direção Norte. A Figura 1.24

apresenta a tela com os dados de entrada na aba “*Tracking and Orientation*” para o sistema que será simulado.

**Figura 1.24 – Dados de entrada na opção “Tracking and Orientation” na aba “System Design”**

The screenshot displays the 'Tracking & Orientation' configuration window in SAM. It features four columns representing different tracking system options. Each column has a set of radio buttons for selecting the tracking type: Fixed, 1 Axis, 2 Axis, Azimuth Axis, and Seasonal Tilt. Below the radio buttons are input fields for 'Tilt=latitude' (Tilt in degrees), 'Azimuth (deg)', 'Ground coverage ratio (GCR)', and 'Tracker rotation limit (deg)'. A 'Backtracking' checkbox is located at the bottom of each column. The first column is active, showing a tilt of 15 degrees and an azimuth of 200 degrees. To the left of the columns are two diagrams: one showing a grid of solar panels with cardinal directions (N, S, E, W) and angles (0, 90, 180, 270), and another showing a circular diagram for tilt and azimuth angles.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

A carga elétrica média foi adotada como sendo próxima de 500 kWh por mês. Essa carga pode ser alterada pelo usuário desejado por meio da aba “*Electric Load*”. Clicando-se na opção “*Edit values*” em tal aba (em vermelho na Figura 1.25), pode-se escolher a carga elétrica específica desejada para cada mês.

**Figura 1.25 – Botão para adição da carga elétrica desejada para cada mês**

The screenshot shows the 'Electric Load Data' window. It contains several input fields and controls: 'Energy usage' with an 'Edit data...' button and a unit of 'kW'; a checked checkbox for 'Normalize supplied load profile to monthly utility bill data'; 'Scaling factor (optional)' with a value of '1'; 'Monthly energy usage' with an 'Edit values...' button (highlighted with a red box) and a unit of 'kWh'; and a 'View load data...' button at the bottom.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

### 4.3 Custos e Parâmetros Financeiros

Após caracterizar e dimensionar o sistema que se deseja simular com o SAM, faz-se necessário informar os valores dos equipamentos, custos de instalação, tributos, taxa de inflação, etc.

Dependendo do modelo financeiro escolhido (neste exemplo optou-se pelo modelo residencial), o usuário deverá inserir certas informações para que o SAM calcule parâmetros financeiros e gere

gráficos, ajudando a determinar a viabilidade financeira do sistema simulado, sabendo, por exemplo, em quanto tempo o investimento será recuperado ou quanto dinheiro será economizado no pagamento de contas para a concessionária de energia. Na Figura 1.27, mostra-se a aba *System Costs* (Custos do Sistema), local onde deve-se inserir custos diretos (*Direct Capital Costs*) e custos indiretos (*Indirect Capital Costs*).

Em cada aba do SAM, as caixas brancas vêm com valores padrões, mas podem ser modificados à vontade pelo usuário. Já as caixas com fundo azul contêm valores que não podem ser modificados na aba atual pois são inseridos em outras abas ou calculados pelo SAM.

Embora a unidade monetária usada pelo o SAM seja o dólar (\$), neste exemplo, considera-se que os custos diretos estão em Reais (R\$) e a aba *System Costs* será preenchida com os valores pesquisados no mercado local, conforme Tabela 1.1.

**Tabela 1.1 – Custos diretos do projeto fotovoltaico residencial**

<b>Custo Direto</b>	<b>Valor</b>
<b>Preço do módulo (<i>Module</i>)</b>	4.912,00 R\$/ Unit
<b>Preço do inversor (<i>Inverter</i>)</b>	586,00 R\$/ Unit
<b>Banco de baterias (<i>Battery Bank</i>)</b>	Sem baterias
<b>Preço de equipamentos adicionais (<i>Balance of system equipment</i>)</b>	R\$ 2.500,00
<b>Custo de mão de obra para instalação (<i>Installation labor</i>)</b>	R\$ 1.500,00
<b>Margem do instalador (<i>Installer margin</i>) e despesas gerais (<i>overhead</i>)</b>	R\$ 1.000,00
<b>Contingência (<i>Contingency</i>)</b>	Sem contingência

Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação aos custos diretos que envolve a instalação fotovoltaica, o SAM oferece a possibilidade de *input* do preço dos inversores em \$/Wdc, \$/Wac ou \$/unidade. Analogamente, também é possível a atribuição do preço dos módulos tanto em \$/Wdc quanto por \$/unidade. O uso de cada uma das opções depende naturalmente do conhecido de preços disponível ao usuário, e tais possibilidades são mostradas no passo 1 da Figura 26. Além disso, o software oferece ainda mais três composições para os custos diretos que impactam na

instalação do sistema, as quais podem também ser visualizadas na Figura 26 (passo 2). São elas: o preço de equipamentos adicionais (*Balance of system equipment*), o custo de mão de obra para instalação (*Installation labor*) e a margem do instalador (*Installer margin*) e despesas gerais (*overhead*). Cada uma dessas três composições é formada por uma parcela fixa (independente do tamanho do sistema fotovoltaico instalado) e por parcelas variáveis que podem depender tanto da potência instalada (\$/Wdc) quanto da área ocupada pelo sistema (\$/m<sup>2</sup>).

**Figura 1.26 – Formas de inserir os custos diretos**

Direct Capital Costs						
Module	14 units	0.3 kWdc/unit	3.6 kWdc	586.00	\$/Unit	\$ 8,204.00
Inverter	1 units	3.1 kWac/unit	3.1 kWac	4,912.00	\$/Unit	\$ 4,912.00
Battery bank		0.0 kWh dc		0.00	\$/kWh dc	\$ 0.00
		\$	\$/Wdc		\$/m <sup>2</sup>	
Balance of system equipment		2,500.00	0.00			\$ 2,500.00
Installation labor		1,500.00	0.00			\$ 1,500.00
Installer margin and overhead		1,000.00	0.00			\$ 1,000.00
Subtotal						\$ 18,116.00
Contingency						
					Contingency	0 % of subtotal
Total direct cost						\$ 18,116.00

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Neste exemplo não está sendo usado banco de baterias. Por isso a aba *Battery Storage* está marcada a opção *No Battery*. Para inserir banco de bateria, bastaria modificar a opção *Enable Battery*.

Entende-se por equipamentos adicionais (*Balance of system equipment*) aqueles que são necessários para interligar os módulos e inversores à rede da concessionária ou à carga do usuário, a saber: cabos e fios, disjuntores, protetores de surto, painéis ou abrigos para os equipamentos, estrutura metálicas, miscelâneas, etc. No exemplo aqui desenvolvido, os custos dos equipamentos adicionais foram considerados como sendo 12% do custo de instalação. Para o custo de mão de obra para instalação (*Installation labor*), foi considerado um valor de 7,5% do custo de instalação e, finalmente, para a soma da margem do instalador (*Installer margin*) e despesas gerais (*overhead*),

foi utilizado um valor de 5% do custo de instalação. Todos esses valores foram estabelecidos no exemplo aqui desenvolvido em função de médias obtidas de fornecedores locais. O usuário deve, naturalmente, estabelecer os custos diretos da instalação fotovoltaica que deseja simular em função de suas características específicas.

Vale também ressaltar que todo projeto é suscetível a riscos. Criar uma reserva de contingência (contingency) é incluir no valor do projeto uma porcentagem dos custos diretos para minimizar ou cobrir atrasos e imprevistos. Neste exemplo, não foi utilizada reserva de contingência.

Também na aba *System Costs* deve-se inserir os custos indiretos, que não estão relacionados diretamente com o projeto, mas necessários para o funcionamento da empresa que monta o projeto, como despesas administrativas, comerciais, tributárias, financeiras, etc.

Na Figura 1.27, destacam-se os seguintes custos indiretos: permissões e estudos ambientais (*permitting and environmental studies*), despesas de engenharia e de desenvolvimento (*engineering and developer overhead*) e conexão com a concessionária (*grid interconnection*). Para o tipo de sistema do exemplo, só serão considerados 2,5% do total dos custos diretos com engenharia (elaboração de proposta, desenhos, vistorias, etc).

Por questões da simplicidade do exemplo, não estão sendo considerados os custos de manutenção e operação (Operation and Maintenance Costs). Como mostra-se na Figura 1.27, estes valores estão zerados.

A informação mais importante desta aba é a soma dos custos diretos e indiretos, chamada de custo total da instalação (*total installed cost*). Este custo será usado para o cálculo de fluxo de caixa, a ser explicado mais adiante.

Figura 1.27 – Aba System Costs

The screenshot shows the 'System Costs' tab in the SAM software. The interface is organized into several sections:

- Direct Capital Costs:** Includes inputs for Module (14 units, 0.3 kWdc/unit, 3.6 kWdc, 586.00 \$/Unit, \$8,204.00), Inverter (1 units, 3.1 kWac/unit, 3.1 kWac, 4,912.00 \$/Unit, \$4,912.00), and Battery bank (0.0 kWh dc, 0.00 \$/kWh dc, \$0.00). It also shows a breakdown of equipment (Balance of system equipment: 2,500.00 \$, Installation labor: 1,500.00 \$, Installer margin and overhead: 1,000.00 \$) and a subtotal of \$18,116.00. A contingency of 0% is applied, resulting in a Total direct cost of \$18,116.00.
- Indirect Capital Costs:** Includes Permitting and environmental studies (0% of direct cost, \$0.00, \$0.00), Engineering and developer overhead (2.5% of direct cost, \$0.00, \$0.00), and Grid interconnection (0% of direct cost, \$0.00, \$0.00). Land costs include Land area (0.0 acres), Land purchase (\$0/acre, \$0.00, \$0.00), and Land prep. & transmission (\$0/acre, \$0.00, \$0.00). Sales tax is 60% of direct cost with a 0.0% sales tax rate, resulting in \$0.00. Total indirect cost is \$452.90.
- Total Installed Cost:** Total installed cost is \$18,568.90, and total installed cost per capacity is \$5.177/Wdc.
- Operation and Maintenance Costs:** Includes First year cost (Fixed annual cost: 0 \$/yr, Fixed cost by capacity: 0 \$/kW-yr, Variable cost by generation: 0 \$/MWh) and Escalation rate (above inflation) (0% for all categories). A note states: 'In Value mode, SAM applies both inflation and escalation to the first year cost to calculate out-year costs. In Schedule mode, neither inflation nor escalation applies. See Help for details.'

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

A próxima aba a ser apresentada é *Financial Parameters* (Parâmetros financeiros). Para o modelo financeiro residencial, esta aba possui os parâmetros apresentados na Figura 1.28.

Neste exemplo, o cliente não fará empréstimo. Por isso, em tipo de empréstimo residencial (*Residential Loan Type*), escolhe-se a opção empréstimo padrão, mas adota-se uma fração de débito (*Debt fraction*) de 0%.

Neste exemplo, os únicos parâmetros que serão alterados serão os parâmetros de análise. Escolhe-se um período de análise (*Analysis period*) de 25 anos, taxa de inflação (Inflation Rate) de 2,5% a.a. e uma taxa real de desconto (real discount rate) de 5,5 % a.a. A taxa real é aquilo que é remunerado acima da inflação. A taxa nominal é a taxa contratada ou declarada em uma operação financeira. Estas taxas serão usadas para os cálculos do fluxo de caixa, tempo de retorno e

demais análises econômicas. O usuário pode modificar e deve atualizar estes parâmetros para os valores da época que deseja fazer a simulação.

Ainda na aba *Financial Parameters*, os parâmetros impostos e seguros (Tax and Insurance rates), imposto predial e territorial (Property Tax) e valor de venda (Salvage Value) devem ser zerados, conforme mostra-se na Figura 1.28.

**Figura 1.28 – Aba *Financial Parameters***

The screenshot displays the SAM software interface for the 'Financial Parameters' tab. The interface is organized into several sections:

- Residential Loan Type:** Includes radio buttons for 'Standard loan' (selected) and 'Mortgage'.
- Loan Parameters:** Contains input fields for Debt fraction (0%), Loan term (0 years), Loan rate (0%/year), Net capital cost (\$ 18,568.90), Debt (\$ 0.00), and WACC (8.55%).
- Analysis Parameters (highlighted in red):** Shows Analysis period (25 years), Inflation rate (2.7%/year), Real discount rate (5.7%/year), and Nominal discount rate (8.55%/year).
- Tax and Insurance Rates:** Includes fields for Federal income tax rate, State income tax rate, Sales tax, and Insurance rate (annual).
- Property Tax:** Includes fields for Assessed percentage, Assessed value (\$ 0.00), Annual decline, and Property tax rate.
- Salvage Value:** Includes fields for Net salvage value and End of analysis period value (\$ 0).

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

A próxima aba a ser apresentada é *Incentives* (Incentivos), conforme mostra-se na Figura 1.29. Atualmente no Brasil, os módulos fotovoltaicos são os únicos equipamentos que atualmente são isentos de IPI e ICMS. Por simplificação, todos os incentivos desta aba devem ser zerados, conforme mostra-se na Figura 1.29.

A próxima aba que deve ser modificada é a aba *Electricity Rates* (Taxas de Eletricidade), conforme mostra-se na Figura 1.30.

Figura 1.29 – Aba Incentives

**DSIRE Incentives Database:**  
[Go to website...](#)  
 The online Database of State Incentives for Renewables and Efficiency (DSIRE) contains detailed information for specific incentives in U.S. locations.

**Tax Credits**

**Investment Tax Credit (ITC)**

	Amount (\$)	Percentage (%)	Maximum (\$)
Federal	0.00		1e+038
State	0.00		1e+038
Federal			
State			

**Production Tax Credit (PTC)**

	Amount (\$/kWh)	Term (years)	Escalation (%/yr)
Federal	0	10	0.00
State	0	10	0.00

Inflation does not apply to the PTC amount. In Schedule mode, use nominal (current) dollar values. See Help for details.

**Direct Cash Incentives**

**Investment Based Incentive (IBI)**

	Amount (\$)	Percentage (%)	Maximum (\$)	Taxable Incentive	
				Federal	State
Federal	0.00		1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
State	0.00		1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Utility	0.00		1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Other	0.00		1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Federal				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
State				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Utility				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Other				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Capacity Based Incentive (CBI)**

	Amount (\$/W)	Maximum (\$)	Taxable Incentive	
			Federal	State
Federal	0	1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
State	0	1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Utility	0	1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Other	0	1e+038	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Production Based Incentive (PBI)**

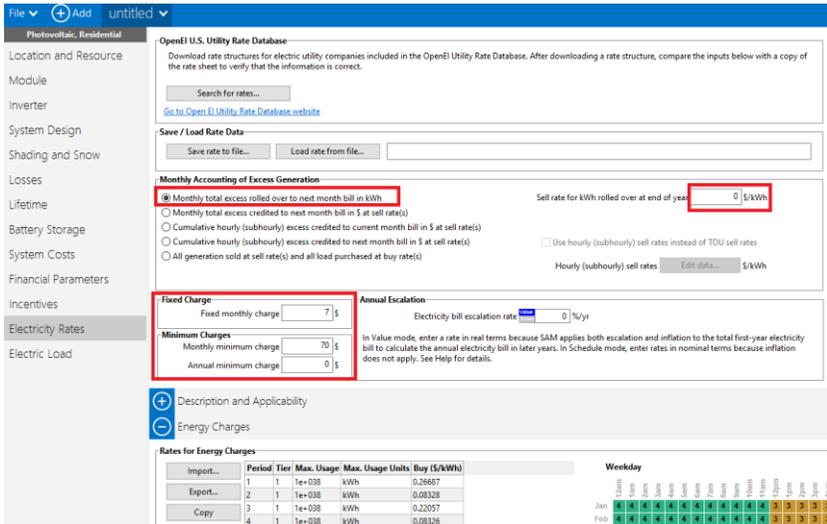
	Amount (\$/kWh)	Term (years)	Escalation (%/yr)	Taxable Incentive	
				Federal	State
Federal	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
State	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Utility	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Other	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

As tarifas de energia foram conseguidas no site da distribuidora Energisa, bem como o valor dos impostos incidentes no consumo. O preço do kWh, após os impostos, foi de R\$ 0,70, sendo que as alíquotas do PIS e do COFINS foram consideradas iguais às médias mensais dos últimos 12 meses, já que esses impostos são variáveis. O ICMS incidente foi de 27%.

Na conta de energia é cobrada a taxa de iluminação pública e há a taxa de disponibilidade, valor mínimo pago por todos os consumidores conectados à rede. Para uma rede trifásica, esse valor é o equivalente a 100 kWh de consumo, ou seja, R\$70,00. Na Figura 1.30, mostra-se como esses dados foram inseridos.

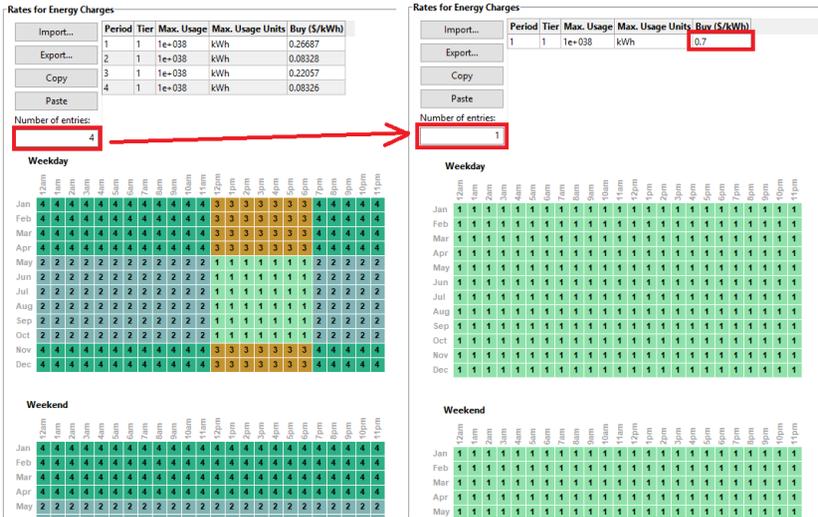
Figura 1.30 – Aba *Electricity rates*



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Há ainda a necessidade de configurar como o software processa as diferenças entre consumo em relação. No Brasil, a tarifa para consumidores de baixa tensão é única, independentemente do horário de utilização, e a energia gerada em excesso pelo sistema não é vendida, mas convertida em créditos de consumo. Portanto, selecionou-se a opção “*Monthly total excess rolled over to next month bill in kWh*” e modificou-se a seção “*Rates for Energy Charges*”, como mostra-se na Figura 1.31.

Figura 1.31 – Definição do sistema tarifário

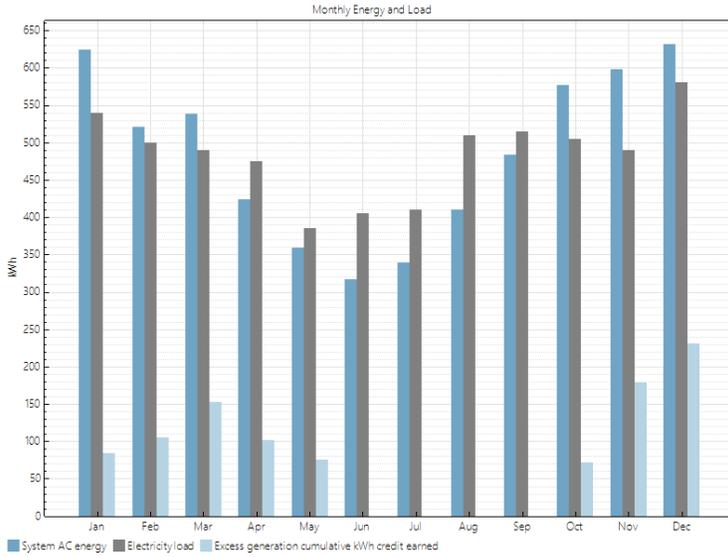


Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Finalmente, definidos todos os dados do projeto fotovoltaico, o próximo passo é clicar no botão de simular (“*Simulate*”). Após o tempo necessário para efetuar o processamento da simulação, o SAM fornece um novo quadro com opções como, sumário (“*Summary*”), gráficos (“*Graphs*”), tabelas de dados (“*Data Tables*”), etc.

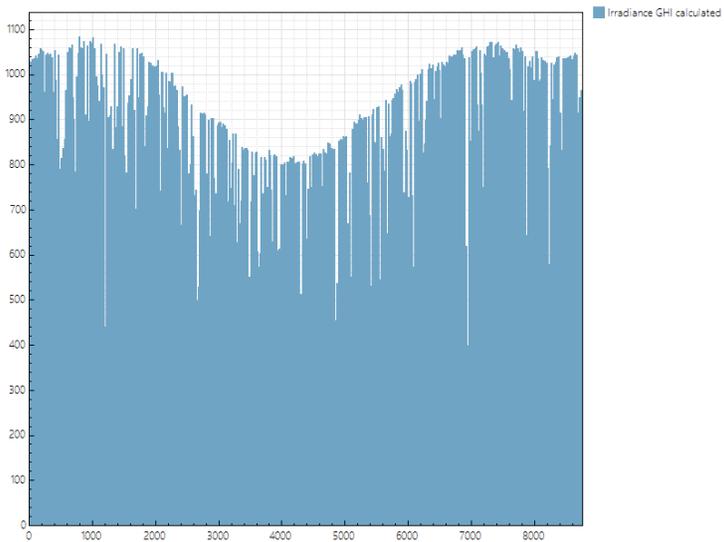
Basicamente, o SAM gera como resultados uma série de gráficos interessantes para se extrair as principais características do sistema. Serão agora apresentados e brevemente discutidos alguns de tais resultados para os dados de entrada já explicitados. Na Figura 1.32 mostra-se a produção mensal de energia para o sistema fotovoltaico considerado, bem como a variação da carga elétrica ao longo de cada mês. Além disso, é mostrado o possível excesso de geração de energia em determinados meses (quando a produção fotovoltaica supera a carga elétrica).

**Figura 1.32 – Produção mensal de energia e carga elétrica para o sistema modelado**



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

**Figura 1.33 – Gráfico da radiação global em cada mês do ano para a cidade de Aracaju**



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Percebe-se que a produção de energia é maior no período de outubro a janeiro e significativamente inferior nos meses de maio, junho e julho. Isso é decorrência do fato das variações da radiação solar global incidente na cidade de Aracaju ao longo de um ano típico, o que é representado na Figura 1.33. Portanto, a queda dos valores de radiação entre maio e julho se deve a uma queda dos valores de radiação global incidente.

Na Figura 1.34 mostra-se o quadro-resumo disponibilizado pelo SAM após uma simulação, em que os dados relacionados à avaliação financeira foram emitidos. Assim, é possível verificar a energia anual produzida, o fator de capacidade e o coeficiente de performance (*performance ratio*) da simulação. Vale comentar que tal coeficiente é uma medida frequentemente associada a fator de qualidade, designando a relação entre o rendimento real e o rendimento esperado do sistema fotovoltaico.

**Figura 1.34 – Características principais e resumidas do sistema fotovoltaico simulado**

Metric	Value
Annual energy (year 1)	5,822 kWh
Capacity factor (year 1)	18.5%
Energy yield (year 1)	1,622 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.75
Levelized COE (nominal)	32.57 ¢/kWh
Levelized COE (real)	25.37 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$4,148
Electricity bill with system (year 1)	\$847
Net savings with system (year 1)	\$3,301
Net present value	\$23,418
Payback period	5.3 years
Discounted payback period	6.5 years
Net capital cost	\$18,569
Equity	\$18,569
Debt	\$0

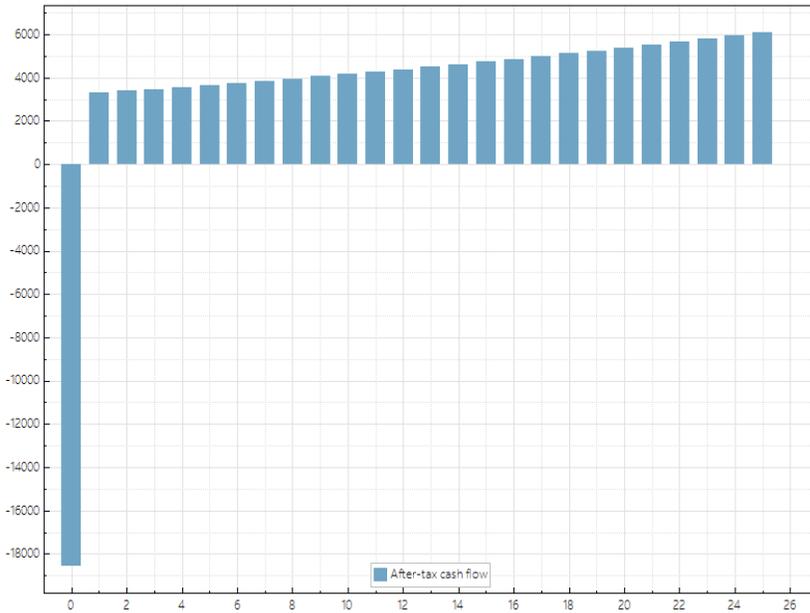
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

A partir do sumário mostrado na Figura 1.34, pode-se verificar que a energia anual produzida (*Annual Energy*) foi de cerca de 5800 kWh, o que é compatível com a carga de aproximadamente 500 kWh por mês (ou cerca de 6000 kWh por ano). Além disso, o coeficiente de performance (*Performance Ratio*) foi de cerca de 0,75. Isso significa que os módulos fotovoltaicos conseguem gerar apenas 75% de energia elétrica em comparação ao que eles gerariam de forma ideal. É importante comentar que o coeficiente de performance pode ser utilizado para determinar a potência ideal do inversor a ser utilizado. Nesse caso, o sistema foi projetado para possuir uma potência de 3,6 kWdc, mas o que se observou foi que a capacidade real foi apenas 75% de tal valor, ou seja, 2,7 kWdc. Assim, um inversor de cerca de 2700 Wac seria o ideal para o sistema aqui projetado. No entanto, deve-se atentar também para a eficiência de tal inversor.

Também é possível verificar que, para o ano simulado, a somatória das contas de energia sem o sistema fotovoltaico (*electricity bill without system*) foi de R\$ 4.148,00. Já a somatória das contas de energia com o sistema fotovoltaico (*electricity bill without system*) caiu para R\$ 847,00, representando uma economia de energia (*Net savings with system*) de R\$ 3.301,00.

Outras informações importantes são o tempo de retorno de investimento (*payback period*), que é de 5,3 anos e o gráfico do fluxo de caixa do projeto, mostrado na Figura 1.35.

Nesta seção foram demonstradas as informações mais importantes para a criação e simulação de um sistema fotovoltaico utilizando o SAM, apresentando a forma de interação com a interface do software e a retirada de resultados de valiosa utilidade acerca do modelo simulado.

**Figura 1.35 – Fluxo de caixa do projeto**

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

## 5 Estudo de caso

### 5.1 Utilização de Rastreador na Geração Distribuída

Um dos maiores desafios do setor de energia solar é a viabilidade econômica das instalações fotovoltaicas residenciais. Entre as alternativas disponíveis hoje para reduzir o tempo de retorno do investimento dessas instalações, há a opção de se utilizar rastreadores solares para aumentar a geração de energia por kWp dos módulos fotovoltaicos, o que tornaria possível suprir uma determinada demanda de energia utilizando menos módulos e inversores menores, uma vez que a radiação solar disponível nos horários de início e fim do dia seria melhor aproveitada. Com a redução da potência instalada, portanto, estaríamos reduzindo o valor inicial do investimento da instalação.

A análise da viabilidade econômica da utilização de rastreadores na geração fotovoltaica deve levar em conta, portanto, dois

efeitos: a redução de custos devido à redução do tamanho do sistema projetado e o aumento de custos devido à instalação dos rastreadores e sua manutenção, que deve ocorrer periodicamente, sendo que a economia gerada com a redução do sistema deve ser maior do que o gasto com a implementação do sistema de rastreamento. Fica claro também que se faz necessária uma avaliação energética comparativa entre um mesmo sistema com e sem rastreamento, para que seja determinada a proporção em que o sistema poderá ser reduzido devido ao uso de rastreamento solar.

Nesta seção será apresentada uma metodologia de análise energética e econômica do uso de rastreadores na geração fotovoltaica distribuída. Para isto, será utilizado o exemplo de projeto fotovoltaico para uma demanda de 500 kWh/mês visto na seção anterior, mas desta vez considerando o uso de rastreamento em um eixo. Inicialmente, será feito um levantamento do aumento percentual da geração devido ao rastreamento, para posterior redução do sistema para uma mesma geração anual. A partir desta redução, será calculado qual o valor máximo para o investimento nos rastreadores, que deve considerar o VPL do investimento inicial mais os gastos com manutenção ao longo da vida útil da instalação. Por fim, serão levantados dados gerais sobre o aumento de geração para diferentes orientações dos módulos para a cidade de Aracaju, sempre apresentando uma metodologia que pode ser aplicada a qualquer localidade.

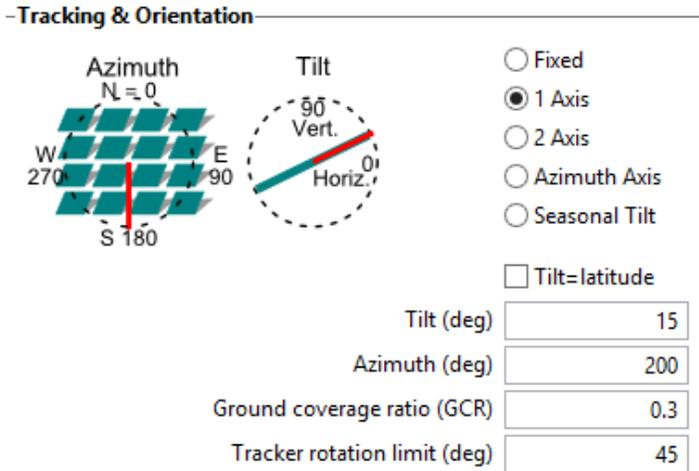
### **5.1.1 Determinação do Tamanho do Sistema com Rastreamento**

Com o arquivo do projeto fotovoltaico desenvolvido na seção anterior aberto no SAM, vamos fazer primeiramente uma única alteração na aba *System Design*: na seção *Tracking and Orientation*, vamos marcar a opção de rastreamento em um eixo, mantendo a angulação máxima de 45° e o GCR constante. O GCR, ou o índice de ocupação do solo, faz mais sentido em telhados planos ou no solo, onde os módulos estariam inclinados. Ressalta-se aqui a necessidade de se deixar sempre o acesso a todos os módulos para limpeza e manutenção.

Na Figura 1.36 mostra-se onde deve ser marcada a opção de rastreamento em um eixo.

Com esta única alteração, fez-se a simulação e observou-se os resultados. Na Figura 1.37 mostra-se os principais resultados obtidos para o sistema com rastreamento.

**Figura 1.36 – Marcando a opção de rastreamento**



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

**Figura 1.37 – Principais resultados para sistema com rastreamento**

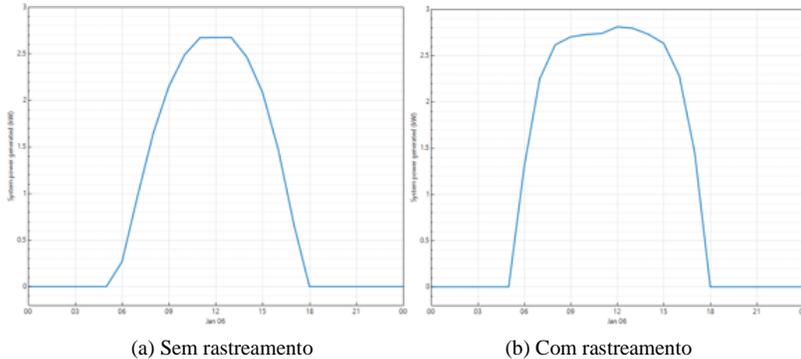
Metric	Value
Annual energy (year 1)	7,758 kWh
Capacity factor (year 1)	24.7%
Energy yield (year 1)	2,161 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.76

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Fazendo a comparação com a Figura 1.34, pode-se observar que houve um aumento de 32,32%, que é bastante significativo. O fator de capacidade saltou de 18,6% para 24,7%, um grande aumento no aproveitamento geral do sistema, observado claramente na energia gerada por kWp instalado, bastante maior no sistema com rastreamento. Esse aumento, entretanto, não foi percebido no coeficiente de performance, que teve uma leve variação de apenas 0,1. Isso se deve ao

fato de o aumento de geração devido ao rastreamento se dar principalmente nas horas iniciais e finais do dia, quando a energia disponível é menor, como mostra a Figura 1.38 abaixo, que faz uma comparação entre a energia gerada pelo sistema com e sem rastreamento no dia 6 de Janeiro:

**Figura 1.38 – Simulação da geração do sistema para o dia 6 de Janeiro**



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Como a energia máxima gerada pelo sistema sofreu apenas um pequeno aumento, o coeficiente de performance também sofreu um aumento pequeno. Para determinar o tamanho do sistema com rastreamento para manter constante a geração de energia, portanto, basta dividir o tamanho do sistema sem rastreamento pelo aumento de geração proporcionado:

$$P_{rast} = \frac{P}{1 + \text{fator de aumento}} \quad (1)$$

onde  $P_{rast}$  é a potência de pico do sistema com rastreamento,  $P$  é a potência do sistema inicial e o fator de aumento é o aumento de geração.

Assim, a potência necessária para o caso em questão é:

$$P_{rast} = \frac{3590 \text{ Wdc}}{1,3232} = 2713,12 \text{ Wdc} \quad (2)$$

O que significa que devemos escolher um modelo de módulo fotovoltaico e sua quantidade para que a potência de pico seja de aproximadamente 2713 Wdc. Uma dessas possíveis escolhas é utilizar o módulo da Canadian Solar, modelo CS6K-270M, organizados em

duas linhas de 5 módulos, totalizando uma potência instalada de 2696 Wdc. Como o coeficiente de performance permanece praticamente o mesmo para sistemas com ou sem rastreamento, considerou-se um coeficiente de performance de 0,75 e calculou-se que a potência do inversor deve ser aproximadamente 2022 Wac. Isso levou a seleção do inversor Fronius Galvo, porém um instalador deve selecionar um de 2 kWac, por ser o modelo comercial que mais se aproxima do resultado. A potência menor resultará em perdas de geração, e o instalador deve selecionar o modelo mais adequado à potência desejada. No caso em questão, as perdas não serão consideráveis devido à proximidade dos valores de potência calculada e real. Na Figura 1.39 mostra-se a aba *System Design* com os dados implementados:

**Figura 1.39 – Design do sistema com rastreamento**

**System Sizing**

Specify desired array size
  Specify modules and inverters

Desired array size <input type="text" value="4"/> kWdc	Modules per string <input type="text" value="5"/>
DC to AC ratio <input type="text" value="1.20"/>	Strings in parallel <input type="text" value="2"/>
	Number of inverters <input type="text" value="1"/>

---

**Configuration at Reference Conditions**

Modules	Inverters	Sizing messages (see Help for details):
Nameplate capacity <input type="text" value="2.696"/> kWdc	Total capacity <input type="text" value="2.000"/> kWac	Actual DC to AC ratio is 1.35.  <small>Voltage and capacity ratings are at module reference conditions shown on the Module page.</small>
Number of modules <input type="text" value="10"/>	Total capacity <input type="text" value="2.103"/> kWdc	
Modules per string <input type="text" value="5"/>	Number of inverters <input type="text" value="1"/>	
Strings in parallel <input type="text" value="2"/>	Maximum DC voltage <input type="text" value="420.0"/> Vdc	
Total module area <input type="text" value="22.7"/> m <sup>2</sup>	Minimum MPPT voltage <input type="text" value="120.0"/> Vdc	
String Voc <input type="text" value="191.0"/> V	Maximum MPPT voltage <input type="text" value="335.0"/> Vdc	
String Vmp <input type="text" value="155.5"/> V	Battery maximum power <input type="text" value="0.000"/> kWdc	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

Os principais resultados energéticos foram apresentados na Figura 1.40. Pode-se observar que a energia gerada é quase a mesma gerada pelo sistema sem rastreamento, como era esperado, apesar do sistema com rastreamento utilizar uma potência instalada consideravelmente menor. O coeficiente de performance, por sua vez, foi um pouco mais alto do que o obtido sem rastreamento.

**Figura 1.40 – Principais resultados para sistema com rastreamento após ajuste do sistema**

Metric	Value
Annual energy (year 1)	5,762 kWh
Capacity factor (year 1)	24.4%
Energy yield (year 1)	2,137 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.75

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de imagens do SAM

### 5.1.2 Determinação do Custo Máximo para Instalação dos Rastreadores

Como a energia gerada pelo sistema com rastreamento foi satisfatoriamente próxima da energia gerada pelo sistema sem rastreamento, pode-se fazer então uma análise do custo máximo para a instalação dos rastreadores, que é igual à economia gerada pela redução da potência instalada:

$$C_{m\acute{a}x} = C_{sem\ rast} - C_{com\ rast} \quad (3)$$

onde  $C_{m\acute{a}x}$  é o valor máximo que poderá ser investido no sistema de rastreamento, considerando o custo inicial mais o VPL dos custos de manutenção,  $C_{sem\ rast}$  é o custo com módulos e inversores do sistema considerado sem rastreamento, e  $C_{com\ rast}$  é o custo com módulos e inversores do sistema considerado com rastreamento. Considerando os custos de R\$1,584/Wac para o inversor e R\$2,28/Wp para os módulos, para o sistema projetado aqui, o custo dos módulos e do inversor seria:

$$\begin{aligned} C_{com\ rast} &= 2000 Wac * \frac{R\$1,584}{Wac} + 2696 Wp * \frac{R\$2,28}{Wp} \\ &= R\$3168,00 + R\$6161,00 = R\$ 9329,00 \end{aligned}$$

Sendo assim, o custo máximo para o sistema de rastreamento seria:

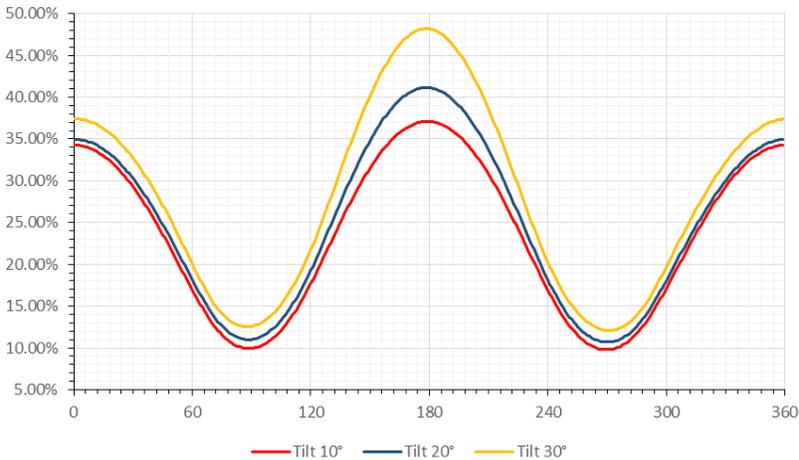
$$C_{m\acute{a}x} = R\$ 12482,20 - R\$ 9329,00 = R\$ 3105,00$$

### 5.1.3 Aumento de geração para diferentes orientações e inclinações

O aumento de geração devido ao rastreamento depende fundamentalmente do azimute e da inclinação dos módulos

fotovoltaicos instalados. Na Figura 1.41 mostra-se a variação do aumento percentual de geração anual devido ao rastreamento em função do azimute para três diferentes inclinações na cidade de Aracaju.

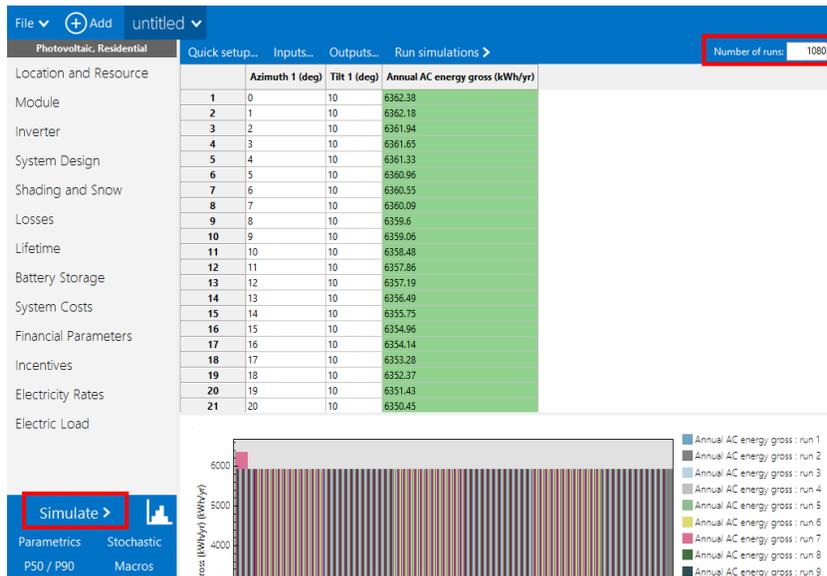
**Figura 1.41 – Aumento de geração devido ao rastreamento em função do azimute para diferentes inclinações na cidade de Aracaju**



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a construção do gráfico da Figura 1.41 foi utilizada a ferramenta *Parametrics* do SAM. Esta ferramenta permite ao usuário variar um ou mais dados de entrada da simulação e observar sua influência em diferentes dados de saída. Sendo assim, foram escolhidos os dados de entrada *Azimuth 1 (deg)* e *Tilt 1 (deg)*, que controlam os valores de azimute e inclinação do sistema, o dado de saída *Annual Ac energy gross*, que é a produção de energia anual do sistema. Foi então selecionado o número de *runs* igual a 1080 e o azimute foi variado de 1 em 1 grau para as inclinações de 10, 20 e 30 graus. Na Figura 1.42 mostra-se a configuração e os resultados preliminares da simulação paramétrica.

**Figura 1.42 – Aba *Parametrics* para análise de aumento de geração para diferentes orientações**



Fonte: Elaborado pelos autores

Com os dados de entrada e saída selecionados, foram feitas duas simulações paramétricas: uma sem rastreamento e outra com rastreamento. Com os dois resultados, foi calculado o aumento percentual de geração devido ao rastreamento para cada combinação de inclinação e azimute, gerando o gráfico visto anteriormente.

Este resultado mostra que, a depender da orientação do telhado, o uso de rastreamento pode viabilizar economicamente um projeto fotovoltaico com uma inclinação e azimute desfavoráveis. Para um sistema na cidade de Aracaju inclinado a 30° e orientado para o sul, por exemplo, o aumento de geração foi de cerca de 48%. É possível aplicar esta mesma metodologia a qualquer outra cidade, de maneira a obter dados de aumento de geração para qualquer orientação, de maneira a agilizar o processo de cálculo de redução de sistema e custo máximo de sistemas de rastreamento solar para geração fotovoltaica.

## Referências bibliográficas

- ABNT, 2013. **NBR 10899. Energia solar fotovoltaica - Terminologia**. ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2ª Ed., Rio de Janeiro. ISBN 978-85-07-04593-9.
- ANEEL, 2008. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 3ª Ed., Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-87491-10-7.
- ANEEL, 2017. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. Processo nº: 48500.004924/2010-51.
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 1999. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ.
- FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F., 1995. **Energia Solar: Fundamentos e Tecnologia de Conversão Heliotérmica e Fotovoltaica**. 1. ed. Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE.
- GOETZBERGER, A.; KNOBLOCH, J.; VOSS, B., 1998. **Crystalline Silicon Solar Cells**. 1. ed. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
- LIRA, J. R. V., 2014. **Desenvolvimento de um Restreador Solar do Tipo Polar com Ajuste do Ângulo de Inclinação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Do Rio Grande do Norte.
- MAYCOCK, P., 2004. PV market update. **Renewable ENERGY World**, James & James Ltd, v. 7.
- NREL, 2015. **Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications**. Technical Report NREL/TP-5D00-63112. Disponível em: [www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications).
- PAULESCU, M., PAULESCU, E. GRAVILA, P, BADESCU, V., 2013. **Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation**. Springer-Verlag London. ISBN: 978-1-4471-4648-3.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; DE LIMA, F. J. L., RUTHER, R.; DE ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; DE SOUZA, J. G., 2017. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2ª Ed. São José dos Campos, SP. ISBN: 978-85-17-00089-8.
- REIS, L.B., 2003. **Geração de Energia Elétrica: Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade**. 3. ed. Barueri, SP: Manole.
- REN21, 2017. **Renewables 2017 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat. ISBN: 978-3-9818107-6-9.
- TRAJANO, S. V., 2010. **Potencial De Geração De Energia Elétrica Com Sistemas Fotovoltaicos Com Concentrador No Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SAM, 2017. System Advisor Model Version 2017.9.5. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO. Acessado em 31 de Outubro de 2017. <https://sam.nrel.gov/content/downloads>
- WALKER, J., 2005. **Earth and Moon Viewer**. Disponível em: <<http://www.fourmilab.ch/earthview/vplanet.html>>. Acesso em 10 de novembro de 2017.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 2

# COZINHA ESCOLA EXPERIMENTAL SOLAR: FERRAMENTA DE TECNOLOGIA SOCIAL VOLTADO PARA O DESENVOLVIMENTO LOCAL

---

Paulo Mário Machado Araújo; Jessyca de Jesus Barbosa;  
Jorge Vieira dos Santos Junior

*Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe*

## **1 Introdução**

Como poderíamos aproveitar ainda mais a radiação solar ao nosso favor? Como utilizar-se dos conhecimentos de engenharia para ajudar pessoas que vivem em extrema pobreza?

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados que foram experimentalmente tratados com pessoas de comunidades carentes, introduzindo tecnologias sociais empregadas e desenvolvido de forma simples e barata, utilizando a radiação solar e transformando-a em energia térmica para o cozimento de alimentos.

Esta ação se inseriu na perspectiva de contribuir com a melhoria da qualidade de vida das populações com maior vulnerabilidade e de colaborar na construção de um padrão de desenvolvimento mais sustentável. A incorporação da tecnologia social que está sendo proposta aqui contribui teoricamente de maneira direta, ao menos em quatro questões fundamentais de vida e saúde da população.

- a) Na diminuição de muitos dos problemas de saúde nas famílias (principalmente em crianças e idosos), que são decorrentes da utilização do fogão à lenha no interior das residências;
- b) Na amenização do processo de degradação ambiental, atuando diretamente na diminuição da demanda de lenha;
- c) Na melhoria da gestão do trabalho familiar e a qualidade de vida das famílias, economizando o tempo gasto na coleta da lenha;
- d) No incremento da renda familiar, diminuindo os gastos de compra de lenha ou carvão, e mesmo de gás de cozinha e

incremento positivamente o orçamento doméstico dessas famílias;

À medida que se percebe que a energia solar é um “bem público comum”, e que a apropriação desta energia pelas comunidades necessitará de mecanismos para o acesso e a difusão social, torna-se necessários produtos inovadores que estão além dos normalmente disponíveis no mercado.

O Laboratório de Energia e Materiais (LEM) atualmente vinculado ao Núcleo de Engenharia Mecânica (Universidade Federal de Sergipe), atua desde 2003 em trabalhos de pesquisa-ação. Neste caso o LEM tem ao mesmo tempo a missão de construir e experimentar os modelos de equipamentos tecnologicamente ecológicos, como também, o de tentar sensibilizar a sociedade do processo e da possibilidade de apropriação dos conhecimentos sobre o uso da energia solar para tratar água, produção de vapor, aquecimento de água sanitária, secagem de frutos e legumes e cozimento de alimentos.

Aqui se relata inicialmente um conjunto de ensinamentos proporcionados, neste processo de pesquisa-ação, com a realização de ateliês de tecnologia social junto às populações consideradas socialmente vulneráveis, através da construção e uso de fogão solar tipo caixa. Esses ateliês acontecem de maneira não regular desde 2003.

Por exemplo, foram realizados no âmbito da Secretária de Estado da Assistência, Inclusão e Desenvolvimento Social (SEIDES) do Governo de Sergipe, dez ateliês de capacitação e formação, totalizando trezentos e treze participantes, realizados nos municípios de Aracaju (22/11/2008, 24/11/2008 e 27/11/2008), de Nossa Senhora do Socorro (22/11/2008, 04/12/2008 e 06/12/2008), de Brejo Grande (09/12/2008), de Riachuelo (11/12/2008), de Santo Amaro das Brotas (13/12/2008), de Simão Dias (14/12/2008) e de Poço Redondo (17/01/2008).

Finalmente, num segundo momento apresenta-se resultados de um trabalho realizado, com recursos advindos da UNESCO/SEIDES, em um ECCOS (Espaço de Convivência Comunitário e Social) onde foi adaptado para funcionar uma cozinha comunitária solar. O ECCOS

passou a ser a sede da cozinha comunitária solar onde na sua etapa operacional iniciou-se com a utilização de diversos tipos de fogões solares. Assim foi que nasceu a CEES (Cozinha Escola Experimental Solar), que teve sua inauguração no dia 14 de agosto de 2009. Pode-se encontrar aqui neste documento alguns resultados dos testes e dos processos desenvolvidos na CEES, durante os meses em que foram processados e servidos para os grupos de pessoas selecionados na própria comunidade.

## **2 Energia Solar: Pesquisa-ação**

Como características da tecnologia apropriada devem ser destacadas: a participação da comunidade na escolha tecnológica, a simplicidade, o baixo custo dos produtos e serviços, a geração de renda e o respeito à cultura local. Seguindo essa linha de raciocínio, inclui-se o conceito de “tecnologia social”, que é “o conjunto de tecnologias, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por elas, que representam soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida” (Instituto de Tecnologia Social: p. 130).

Como se percebe, a tecnologia social só será constituída se estiver em um processo de inovação, se o conhecimento produzido pode servir como solucionador dos problemas dos indivíduos envolvidos. A aplicação do conceito de tecnologia social se dá em três direções principais: a relação de produção entre ciência, tecnologia e sociedade, a direção que se confere a fabricação de conhecimento e um modo de fazer, a partir da intervenção sobre a realidade, ligada a paramentos e resultados esperados.

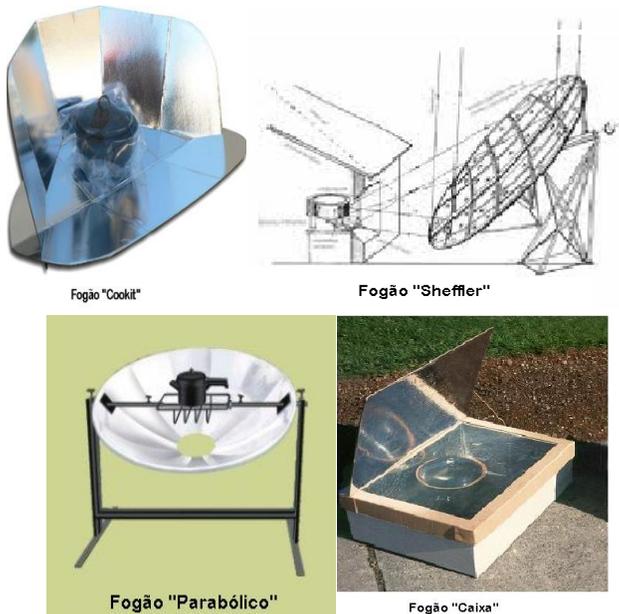
Hoje é comum ouvir sobre energia solar: embora a região nordeste do Brasil apresente um enorme potencial para o desenvolvimento dessa tecnologia, quase não é aproveitada. Na região nordeste, o potencial energético da radiação solar é extremamente significativo, representando a maior média nacional. Todo esse enorme potencial se utilizado através da energia solar poderia ser aplicada em diversos segmentos:

- aquecimento de água;
- cozimento de alimentos;
- dessalinização da água;
- transformação em energia elétrica;
- secagem de frutas e legumes;
- forno, entre outros.

### 3 Cozinha solar: Tipos e importância

Trata-se da utilização da energia solar para o cozimento de alimentos, de forma prática simples e barata. Logo abaixo se apresenta alguns tipos de equipamentos para a cocção de alimentos utilizando a energia solar, como por exemplo: o fogão “Parabólico”, o fogão “Cookit”, o fogão “Sheffler”, o fogão “Caixa”, entre outros.

**Figura 2.1 – Fogão “Parabólico”, fogão “Cookit”, o fogão “Sheffler”, fogão “Caixa”**



Dentre esses fogões solares aqui citados, optou-se inicialmente pelo fogão tipo “Caixa”, como se discutirá a seguir, o fogão solar do tipo “Caixa”, por ser construído com materiais simples de serem

encontrados, podendo assim permitir que pessoas em vulnerabilidade social façam uso da tecnologia, onde as experiências podem ser reproduzidas com relativa facilidade, possibilitando, por exemplo, economia de lenha ou de GLP.

O fogão tipo “Caixa” consiste de uma caixa geralmente retangular de papelão isolada termicamente, onde na parte superior é selada com vidro. Uma tampa refletora tem como objetivo, concentrar a radiação dentro da caixa que é absorvida por uma base metálica pintada de preto fosco.

Os fogões tipo “Caixa” podem ser produzidos com materiais diversos como madeira, metal, fibra de vidro ou isopor. Como pode se observar na fotografia a seguir, o modelo proposto no trabalho realizado, é produzido a partir de materiais de baixo custo e de fácil acesso: vidro, papelão, papel alumínio, chapa de metal e cordão ou elástico. Este equipamento se mostrou muito bom e de extrema eficiência, tanto que, contribuiu para que na segunda fase do projeto, fossem incorporados.

**Figura 2.2 – Fogão Solar Macaxeira**



Fonte: Equipe de pesquisa 2008

Com este equipamento pode-se atingir até cerca de 120°C, conseguindo, portanto, cozer ou assar a maioria dos alimentos.

## **4 Cozinha solar: Ateliês de cozinha solar em comunidades menos favorecidas do estado de Sergipe**

Nesta seção pretende-se descrever e discutir as experiências vivenciadas no âmbito dos “Ateliês de construção e uso do fogão solar do tipo caixa realizado pela Secretária de Estado da Assistência Inclusão e Desenvolvimento Social (SEIDES) do Governo de Sergipe, no período de novembro de 2007 a janeiro de 2008. Ateliês em dez comunidades sergipanas foram realizados, definidas anteriormente pelos critérios da própria SEIDES. No âmbito da ação da SEIDES, a realização destes ateliês esteve associada aos seus programas e políticas de segurança alimentar e nutricional, que por sua vez, são desenvolvidos com o objetivo de promover a inclusão das populações em situação de risco e/ou vulnerabilidade.

Os ateliês de capacitação foram estruturados a partir de um roteiro básico composto de três grandes eixos de atividades:

- a) Construção da inovação de tecnologia social;
- b) A vivência lúdica com questões envolvendo a energia solar;
- c) Experimentação dos modelos desenvolvidos.

O momento esperado era o de abrir os fogões para degustação, principalmente à panela que continha o feijão, que por ser um alimento conhecido que demora certo tempo de cozimento, a curiosidade era enorme.

A construção dos fogões junto com a comunidade foi feita a partir de um modelo didático pré-manufaturado. Esse modelo tem sido elaborado e aperfeiçoado de acordo com a evolução do próprio trabalho de pesquisa da equipe, desde 2003. Na totalidade dos dez ateliês envolveu 313 pessoas, as quais, depois terem os fogões testados e experimentados, os levaram para suas residências a fim de utilizarem domesticamente.

Uma vez concluída a montagem dos fogões solares, era preciso testá-los e fazer as correções e adaptações necessárias para seu bom funcionamento. Foram assim algumas vezes em que se testou

utilizando-se os diferentes alimentos. Procurou-se sentir as variações da temperatura ambiente ou as diferentes condições de nebulosidade do dia, revelando uma importante interação pesquisa – sociedade, onde neste processo, estava-se o tempo todo difundindo e construindo junto com as comunidades locais uma inovação de tecnologia social. Observou-se que era inicialmente necessária uma modificação radical nos hábitos culturais com relação ao cozimento doméstico.

**Figura 2.3 – Momentos dos “Ateliês de construção e uso de fogão solar do tipo caixa”.**



Como se pode ver nas fotografias acima, no transcorrer do trabalho dos ateliês, ocorria uma demonstração e supervisão do trabalho, passo a passo, de confecção fogão solar. Continuamente era lembrado aos participantes acerca da importância de compreender o princípio do funcionamento do fogão solar, caso contrário se tratava apenas de mais uma caixa de papelão, sem grandes possibilidades de uso.

O período escolhido para a realização dos ateliês coincidiu deliberadamente com a estação do verão. Isto teve o objetivo de minimizar os riscos de dias com sol inadequado para a cocção solar. Contudo, mesmo assim, houve três dos ateliês que foram realizados com dias nublados e chuvosos. A evolução dos ateliês permitiu perceber que estes fatos foram educativos ao processo, principalmente no sentido de poder demonstrar, nestes casos, que os alimentos podem passar para o fogão a gás (GLP) para finalizar seu cozimento.

O tempo gasto com as mobilidades para se dirigir até as comunidades, as limitações de transportes de equipamentos essenciais, colaborou para o que seria a segunda fase do projeto que se deu por meio da criação da CEES (Cozinha Escola Experimental Solar).

## 5 Segunda fase: Implementação da CEES

Para esta fase do trabalho, houve a necessidade de adaptação do espaço ECCOS, onde funciona a cozinha, às normas da Vigilância Sanitária. Foram realizadas adaptações na rede hidráulica, elétrica, na área de esgotos, além de forro em PVC, na área da cozinha e na área externa da cozinha com adequação dos espaços.

A Cozinha Escola Experimental Solar teve sua inauguração no dia 14 de agosto de 2009, que ficou marcado como início oficial dos testes da cozinha solar e dos processos da CEES. Neste momento com a equipe operacional treinada e capacitada, os alimentos foram então corretamente armazenados e preparados para serem processados e posteriormente servidos na hora do almoço.

**Figura 2.4 – Os equipamentos solares cozinhando os alimentos após inauguração**



**Figura 2.5 – Capacitação e participação da comunidade nos processos e formações oferecidos pela CEES.**



Inicialmente estabeleceram-se como principais objetivos os de servir uma média de 50 refeições diárias utilizando preferencialmente a energia solar, atendendo aos hábitos alimentares da população. Essa meta foi integralmente cumprida como demonstra a Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 – Número de Refeições Servidas Durante o Funcionamento da CEES**

	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
<b>Número de dias que a cozinha operou</b>	13	20	20	20
<b>Número de refeições</b>	719	1199	1434	1467
<b>Média de refeições fornecidas</b>	55	60	71	73

Na operação da CEES usam-se vários tipos de fogões solares, sendo que com maior frequência os fogões SUN OVEN, OLLA, os concentradores parabolóides e os do tipo caixa, cada um dos quais com uma melhor aplicação em determinadas funções.

Os fogões SUN OVEN, OLLA e o do tipo caixa, por terem um funcionamento semelhantemente baseado no efeito estufa, apresentam características vantajosas e desvantajosas bastante parecidas. Como vantagens todos não necessitam de manuseios constantes por parte do cozinheiro, e sua manutenção é bastante simples (Franco, Cadena e Saraiva, 2004). Como desvantagens, tendo em vista que na CEES há a necessidade de se cumprir uma meta diária de refeições, o tempo de cozimento relativamente longo desses fogões fez com que só um ciclo de cozimento por dia em cada aparelho.

Já os concentradores parabolóides, por sua versatilidade no tipo de alimento cozinhado, sua facilidade de manuseio do alimento, e sua velocidade de cocção tornam-se o principal modelo de fogão utilizado na CEES, que conta com sete desses aparelhos. Em contrapartida, a necessidade de focá-los constantemente dificulta com relativa intensidade a sua operação (Almada, Cáceres, Machaín-Singer e Pulfer, 2005).

Todos esses modelos de fogões solares já têm seu funcionamento conhecido, portanto, descrevem-se aqui apenas suas vantagens e desvantagens.

**Tabela 2.2 – Cardápio típico servido todos os dias na CEES indicando o tipo de equipamento e quantidade utilizado para o processamento.**

Alimento	Quantidade (kg)	Tipo de fogão	Quantidade (kg) / fogão	Número de fogões
Feijão Tropeiro	2,5	Parabólico	0,8	3
Purê de Batata	2	Sun Over	0,7	3
Carne do sol	8	Parabólico	2	4
Arroz	2,5	Hot Pop	0,5	5
Beterraba ao Vinagrete	2	Hot Pop	0,5	4

Nos dias com baixa intensidade de radiação solar, a CEES utiliza sua característica híbrida para manter-se operando através do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). Por esse motivo, a Cozinha foi capaz de suprir durante a sua operação a quantidade média de 50 refeições diárias, funcionando não só como instrumento de pesquisa científica, mas também como ferramenta de segurança alimentar e amparo social.

Os fogões solares funcionando com efeito estufa, apresentam ainda a característica de cozinhar os alimentos mais lentamente que os fogões convencionais e com melhores distribuições do calor. Por esse motivo os alimentos cozinhados com a energia solar tendem a manter um maior teor de nutrientes quando comparados aos cozinhados com GLP. Esse fato foi estudado através das análises feitas no Laboratório de Alimentos da Universidade Federal de Sergipe e os resultados estão expostos na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 – Valor de proteínas usando GLP e solar**

Amostra	Teor de proteínas (%)	Amostra	Teor de proteínas (%)
Feijão GLP	3,6486	Feijão solar	15,3678
Batata GLP	0,1616	Batata solar	0,8205
Cenoura GLP	0,2338	Cenoura solar	0,2902

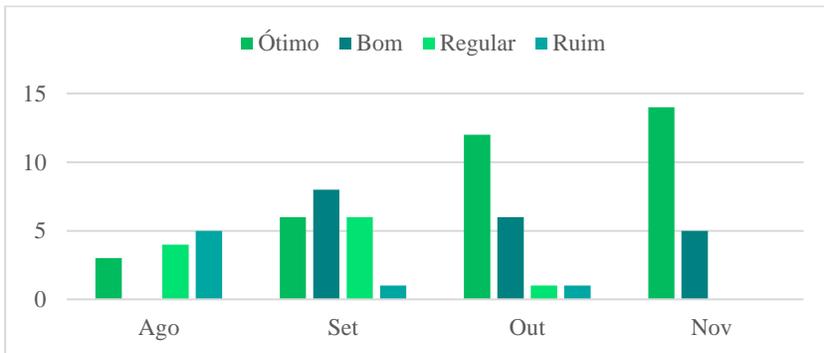
## 6 Apresentação do balanço energético da CEES

A etapa do balanço energético é de fundamental importância para caracterizar a CEES como instrumento de militância em prol da utilidade ambiental do ponto de vista das energias renováveis. Para tal,

acompanhou-se a quantidade de alimentos cozidos e compararam-se os resultados com os que seriam obtidos caso a cocção fosse realizada com GLP. Um dos principais critérios analisados também foi à quantidade de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitida através do uso da energia solar. Vale ressaltar ainda o aumento das propriedades nutricionais dos alimentos através da dinâmica diferenciada da cocção solar.

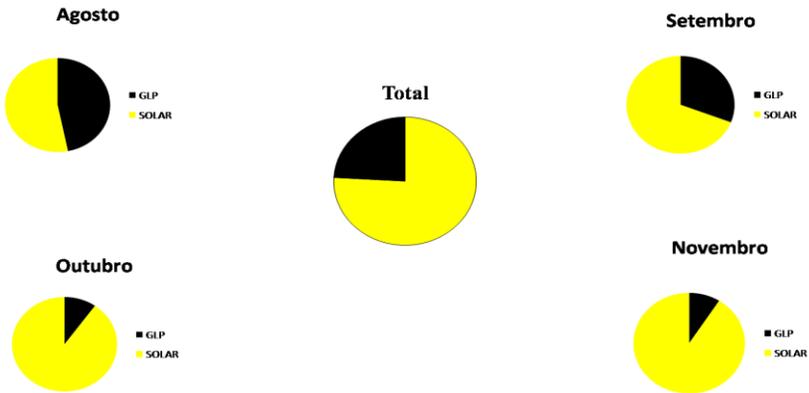
Em outras palavras, o balanço energético da CEES foi uma avaliação entre as fontes de energia utilizadas, ou seja, a energia solar (fonte primária) e a energia da queima do GLP (fonte secundária), visando comprovar a eficiência da CEES tanto nos quesitos energéticos quanto nos ambientais. Inicialmente, na Figura 6, apresenta-se uma análise qualitativa das condições climáticas no período de operação da CEES, extremamente necessária para uma compreensão preliminar do balanço energético.

**Figura 2.6 – Condições Climáticas Durante Operação da CEES**



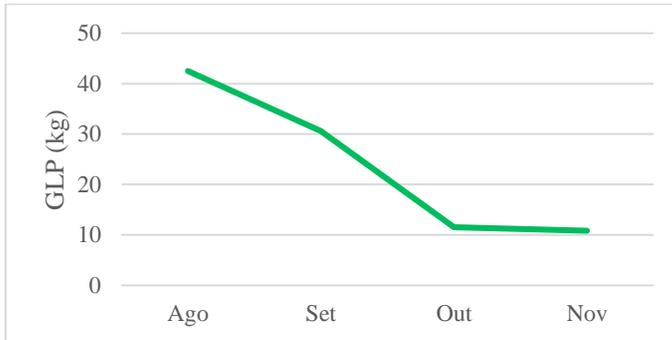
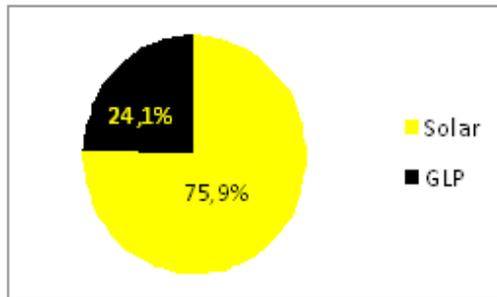
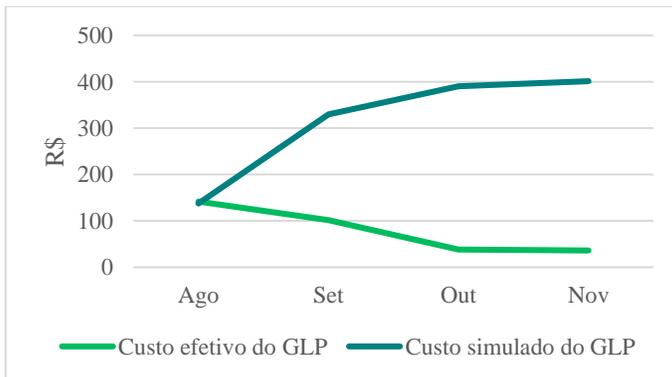
Durante quatro meses foram cuidadosamente mesuradas e acompanhadas as principais variáveis que são inerentes ao processo de preparo dos alimentos, tais como: radiação solar, tempo, temperatura ambiente e temperatura interna nas panelas, tipo de equipamento e tipo de alimento. Como a CEES funcionou híbrida, sol e gás, foi necessário também medir a quantidade de gás utilizado nos momentos em que o sol não esteve disponível. Na Figura 2.7 se apresenta de forma resumida o balanço total e o comportamento operacional nos quatro meses de experimentos.

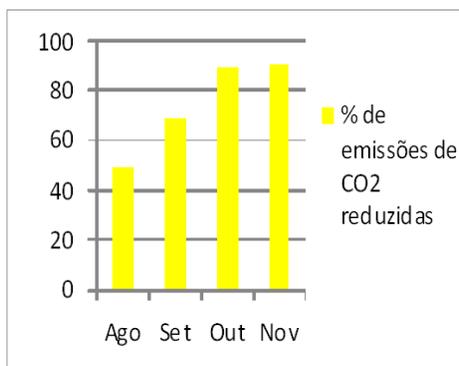
**Figura 2.7 – Balanço energético da CEES demonstrando a transição entre o período das chuvas para o verão.**



Os cálculos da quantidade de GLP consumido e a economizada pelo uso da energia solar, para tal necessitou-se da ajuda de um medidor de gás modelo G 1.6. A Figura 2.8 demonstra a quantidade de GLP utilizada pela CEES nos meses de sua operação, sendo que o mês de agosto tem essa quantidade estimada, uma vez que a Cozinha só funcionou durante 13 dias nesse mês. Já a Figura 2.9 demonstra a porcentagem de utilização de energia solar e GLP durante a operação da Cozinha.

Como a CEES utilizou-se de botijões industriais de 45 kg de GLP que custavam em média R\$ 150 cada, simulando o montante que seria gasto caso todas as refeições fossem feitas apenas com o uso de GLP, foi possível construir a Figura 2.10. Este demonstra a redução dos custos com aquisição de GLP e pode esboçar também a economia em termos de quantidade de gás não utilizada. Através do uso da energia solar, a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida para a atmosfera foi reduzida, então, com base na estequiometria das reações de combustão do GLP, estimou-se a porcentagem de CO<sub>2</sub> não emitida, que é demonstrada pela Figura 2.11.

**Figura 2.8 – Consumo de GLP pela CEES****Figura 2.9 – Fontes de Energia da CEES****Figura 2.10 – Redução dos custos com GLP**

**Figura 2.11 – Redução de CO<sub>2</sub>**

## 7 Considerações finais

Percebe-se com a evolução deste processo de construção e consolidação de uma tecnologia social que, a utilização do sol como energético para a cocção necessita de uma efetiva ação do poder público em dois sentidos: em primeiro lugar, no investimento em pesquisa tecnológica para o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para a realidade das regiões no Brasil e que atenda as demandas energéticas das populações de baixa renda; e, em segundo lugar, de ações de difusão desta tecnologia nos espaços próprios das populações de baixa renda, principalmente a rural e as que vivem nas periferias das grandes cidades.

Nesse sentido, a discussão feita a respeito dos processos de construção, difusão e consolidação de tecnologia social deve ser considerada. Os exercícios de acompanhamento e de análise dos ateliês realizadas têm como foco central esta perspectiva: como é possível, no contexto de cada comunidade, responder a questão de como apropriar a população de baixa renda da tecnologia de cocção de alimento com o fogão solar tipo caixa? A perspectiva atual revela que, a apropriação da população com objetivo de cozinhar é perfeitamente possível com o uso do fogão solar do tipo caixa, seja este de papelão ou mesmo com outro material.

Finalmente, registre-se ainda que, desse processo adaptou-se um conjunto de receitas gastronômicas para um bom aproveitamento

dos fogões e melhor incorporação ao cotidiano das famílias envolvidas. Neste momento, os atores do processo de construção desta inovação social acreditam que, a incorporação do fogão solar tipo caixa na elaboração dos alimentos das famílias é um importante instrumento na construção do desenvolvimento sustentável das comunidades.

A Cozinha Escola Experimental Solar implantada junto à comunidade do Conjunto João Alves, região metropolitana de Aracaju, teve sua viabilidade técnica e operacional comprovada. A partir do balanço energético, também ficou evidente a viabilidade energética e ambiental do funcionamento da CEES. Foram utilizados em média 76% de energia solar e 24% de GLP. Ao todo, foram fornecidas durante o período de funcionamento controlado 4.695 refeições, das quais 3.704 (78,9%) foram cozidas integralmente com energia solar e os cálculos apontam que deixaram de ser emitidas cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub> durante o período de operação da CEES. Alimentos preparados com equipamentos solares aparentam ser melhores para saúde humana se comparados com o cozimento em fogão a gás.

Algumas questões, todavia não encontraram respostas como, por exemplo:

- O trabalho operacional enorme, manual e dependente da variabilidade climática, vale à pena?
- Qual o impacto real, sócio-ambiental que o projeto CEES causou na comunidade?
- A cozinha solar pode e deve ser multiplicada como política pública e transferência de tecnologia para outras comunidades interessadas?
- Quanto custa uma cozinha solar na sua plenitude?

Acredita-se que para este experimento inovador, foram cumpridos objetivos superiores as metas do projeto, uma vez que a CEES, a primeira cozinha comunitária solar do Brasil, atuou como dispositivo de extensão universitária e de transferência de tecnologia. Um total de 443 pessoas recebeu capacitações certificadas na “escola” da CEES onde foram realizados quatro tipos de oficinas diferentes.

## Referências bibliográficas

- AKRICH, M.; CALLON, M. & LATOUR, B., A quoi tient succès les innovations? (2è partie), in: *Annales des Mines, Gérer et Comprendre*, N° 12, 1998, pp. 14- 29.
- Balanço Energico Estadual de Sergipe (BEE-SE). Empresa de pesquisa Energética, EPE (2007). *Documento não público*. Rio de Janeiro, 2007.
- BERMANN, C. *Energia no Brasil: para quê? Para quem?* São Paulo, Livraria da Física. 2002
- CALLON, M.; LAREDO, Ph. & MUSTAR, Ph.(ed.) *La gestion stratégique de la recherche et de la technologie*, Economica, Paris, 1995.
- COLLE, S. & PEREIRA, E. B. Atlas de radiação solar do Brasil, In:
- MONTENEGRO, A. A. (org.) *Fontes não convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa*, 3.ed.rev.modificada e ampliada, Florianópolis: LABSOLAR-UFS, 2000.
- DAGNINO, R., A relação universidade-empresa no Brasil e o argumento da “tripla hélice”, *Revista Brasileira de Inovação*, volume 2, Número 2, julho/dezembro de 2003, pp. 267-308.
- DAGNINO, R.; BRANDÃO, F.C. & NOVAES, H. T. “Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social”, In: LASSANCE JR, A.E. et all. (Orgs.), *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Fundação Banco do Brasil: Rio de Janeiro, 2004, pp. 15-64.
- FRANCO, J.; CADENA, C.; SARAIVA, L. *Multiple use communal solar cookers*, 2004.
- GOLDEMBERG, J. *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento*, 2.ed. Editora da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2001.
- GREEN, M. & WILSON, M. “The feasibility of introducing solar ovens to rural women in Maphepethe”. *Journal of Family Ecology and Consumer Sciences*, Vol 28, 2000.
- INFLUENZA (org). Red Book 1994-OMS In: *Report of the Committee on Infectious Diseases*, OMS: New York, 1994, p. 275-83.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. “Reflexões sobre a construção do conceito de tecnologia social”, in: LASSANCE JR, A.E. et all. (Orgs.), *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Fundação Banco do Brasil: Rio de Janeiro, 2004, pp. 117-133.
- JANNUZZI, G. M. *Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos USA e Brasil*. Campinas, SP: Autores Associados, 2000. 116p.
- KNUDSON, B. “A global view: solar cooking in the 21st century”, in: *CD-Rom: 2006 Solar Cookers and Food Processing International Conference*, Granada,2006.
- KNUDSON, B. *State of the art of solar cooking early uses of the sun to serve humanity* E.U.A: 2002. Disponível em: <<http://www.she-inc.org/sam.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2007.
- KUMAR, S.; LEON, M. & BHATTACHARYA, S. C. *A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers*, (2002).
- NAHAR, N.M. “Capital cost and economic viability of thermosyphonic solar water heaters manufactured from alternate materials in India”, in: *Renewable Energy*, Vol. 26, No.4, p.623-35, India, 2002.
- RAMACHANDRAN, M. & POHEKAR, S. D. “Multi-criteria evaluation of cooking energy alternatives for promoting parabolic solar cooker in India”, in: *Renewable Energy*, Vol. 29. India, 2004.
- SOCIEDADE PORTUGUESA DE ENERGIA SOLAR (SPES). *Guia da Energia Solar: Vol. 7 – Fornos solares*. Disponível em <[http:// www.spes.pt](http://www.spes.pt)>. Acesso em 03/02/2006.
- SOLAR COOKERES INTERNATION (SCI). *Arquivo de imagens dos fogões*. Disponível em <<http://solarcooking.org/portugues/sbcdes-pt.htm>>. Acesso em: 06 de Junho de 2007.
- SUMATHY, K., Solar thermal pumping systems: a review, In: SAITOH, T. S.;
- EL-GHETANY, H. H. (org.), *Solar water-sterilization system with thermallycontrolled flow*, 1999.
- SUNOVEN. *Boletim eletrônico*. Disponível em: <http://www.sunoven.com>. Acesso em, 05 novembro de 2007.

- TEIXEIRA, O. A.; ARAÚJO, P. M.; FIGUEIREDO, R. & VITAL BRASIL, O. A. Solar Energy for Cooking: an innovation of social technology of easy distribution and implementation in the communities of Brazilian Northeast?, In: *CD-Rom: 2006 Solar Cookers and Food Processing International Conference*, Granada, 2006.
- TUCKER, M. Analysis: Can solar cooking save the forests? *Ecological Economics*, vol. 31, pp. 77–89, E.U. A: 1999.
- VITAL BRASIL, O. A.; TEIXEIRA, O. A.; ARAÚJO, P. M. & LEÃO, A. C. A. The solar stove as a tool in ambiental education, In: *RIO 6 – World Climate & Energy Event*, Rio de Janeiro, 2006.
- <http://www.ige.unicamp.br/site/publicacoes/138/A%20tecnologia%20social%20e%20seus%20desafios.pdf>
- ALMADA, M.; CÁCERES, M. S.; MACHAÍN-SINGER, M.; PULFER, J. C. Guia de uso de cocinas y hornos solares. Asunción: Fundación Celestina Pérez de Almada, 2005.
- BRASIL, Conselho Nacional de Vigilância Sanitária. Padrão alimentar para os principais grupos de alimentos. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/Consea/exec/index.cfm>>. Acesso em: 07 nov. 2007.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Guia básico para a segurança alimentar e nutricional. Brasília, 2003.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Programa de Alimentação do Trabalhador. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/pat/default.asp>>. Acesso em: 11 nov. 2007.
- FRANCO, B. D. G. M. Microbiologia dos alimentos. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2003.
- FRANCO, J.; CADENA, C.; SARAIVA, L. Multiple use communal solar cookers. 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Secretaria Nacional de Irrigação - Departamento Nacional de meteorologia. Normas climatológicas (1961- 1990). Brasília, DF, 1992.
- KREITH, F., KREIDER, J. F. Principles of solar engineering. São Paulo: McGraw Hill, 1978.
- KUMAR, S.; LEON, M.; BHATTACHARYA, S. C. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. 2002.
- TEIXEIRA, Olívio Alberto; ARAÚJO, Paulo Mário Machado de; BIRIBA, V. B.; Vital Brazil, O. A.; LEÃO, Ana Cláudia. Projetando a construção de uma cozinha escola experimental solar em Sergipe (Brasil). In: XIV Congresso Ibérico y IX Congresso Iberoamericano de Energia Solar, 2008, Vigo. Construyendo El Futuro sostenible – Actas Del XIV Congreso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo: ETS Ingenieros Industriales – Universidad de Vigo, 2008, v.1, p. 593-598.
- HANSEN, Dean Lee, TEXEIRA, Olívio Alberto, SANTANA, José Ricardo (Organizadores).- Estratégias de Desenvolvimento Regional: Conceitos e Experiências. São Cristóvão: Editora UFS; Fundação Oviêdo Texeira, 2010.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# CAPÍTULO 3

## RECOMENDAÇÕES E CUIDADOS NO USO DA ENERGIA SOLAR EM SECADORES DE FRUTAS

---

Marcelo Bezerra Grilo

*Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande*

### **1 Introdução**

Colocar o conhecimento científico a serviço do desenvolvimento sustentável da humanidade, respeitando o uso dos recursos naturais e privilegiando a eficiência energética deve ser a meta do pesquisador moderno, principalmente em países como o Brasil, que tem recursos energéticos disponíveis e precisa crescer para propiciar seu desenvolvimento.

Geograficamente posicionado numa zona de excepcional disponibilidade de energia solar, essa preocupação é particularmente importante em países como o Brasil que têm o desafio de promover a mobilidade social e para isso precisa incentivar seu desenvolvimento tecnológico. Ambiciona-se que esse crescimento socioeconômico ocorra em sintonia com o mundo globalizado de avançadas tecnologias, porém com ações locais que priorizem a pesquisa e o desenvolvimento de máquinas simples, de fácil construção, manutenção e operação e que respondam pelas demandas típicas de nosso desenvolvimento.

Neste século XXI, a utilização combinada dos vários tipos e fontes de energia, com ênfase nas energias renováveis é o caminho para construção de uma sociedade equilibrada que utiliza de forma eficiente os recursos energéticos proporcionando qualidade de vida elevada e promovendo o desenvolvimento sustentável.

O Brasil é uma potência energética. A natureza nos deu fartos territórios com elevada incidência do recurso solar, terras agriculturáveis para produção de biomassa energética, recursos hídricos com elevado potencial energético e agora, com as recentes descobertas do pré-sal, nos colocou definitivamente como líder mundial na área dos recursos energéticos. É preciso estar atentos e preparados para fazer as

escolhas corretas e desenvolver as tecnologias mais eficientes para consolidar nossa liderança e ser exemplo para o mundo.

O cenário para os próximos anos aponta para a utilização intensiva das fontes renováveis de energia em substituição as fontes fósseis. Em países como o Brasil o uso intensivo da energia solar já teve início e vai crescer de modo exponencial nos próximos cinco anos. As empresas que atuam neste setor já faturam acima da sua média histórica e o crescimento neste mercado tem atraído empresas estrangeiras, principalmente na área de geração solar fotovoltaica

A busca por informação na área de aplicações da energia solar nas suas diversas modalidades mostra que estamos diante de uma singularidade especial. De um lado poucos especialistas que dominam essas informações já iniciaram a instalação dos módulos e equipamentos necessários, mas os custos de instalação e operação desses sistemas energéticos ainda inibem iniciativas mais ousadas. Por outro lado o acesso a informação mais básica, pela maioria da população ainda é incipiente; seja pela ausência de livros e manuais com linguagem mais acessível, ou por tradução mal feita de livros em língua estrangeira.

Neste cenário observa-se um espaço de oportunidades para apresentar um conjunto de aplicações diversas da energia solar, que podem ser apropriadas pela maioria da população, que muitas vezes vai construir seu próprio equipamento, seja um aquecedor de água caseiro, um fogão solar, um destilador de água salobra, um desidratador de frutas, ou mesmo instalar um painel fotovoltaico para produzir a energia elétrica necessária a seu consumo particular.

Um dos objetivos deste texto é atender a esse tipo de público, interessado em utilizar a energia solar nas mais diversas aplicações, chamando a atenção para um conjunto de recomendações e cuidados que sendo observados culminam com o uso mais eficiente.

## **2 Secadores Solares de Frutos**

Dentro da temática de buscar atender demandas da comunidade por aplicação muitas vezes de conceitos básicos, ao mesmo tempo que

visando compartilhar um pouco da experiência da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em energia solar, surgiu o estudo e desenvolvimento de secadores solares de frutos.

Entretanto, inicialmente cabe salientar a grande demanda das comunidades, principalmente no interior do nordeste, referente a soluções que fossem simples e que resolvessem o problema, por exemplo, de perdas na produção de banana. Assim, apoiado por edital da Petrobras, foi visto a oportunidade de implementação de secadores de frutos em uma comunidade de agricultores familiares constituída por 25 jovens, onde foram construídos e distribuídos cerca de 100 equipamentos, além de transferido a tecnologia por intermédio de oficinas práticas para que a própria comunidade possa manter os equipamentos e sua manutenção. Na atualidade, o projeto consta com estudantes de diversas áreas, incluindo do curso de design industrial viabilizando melhorias no equipamento.

Para melhor detalhar o procedimento, neste caso específico, sabe-se que cerca de 70% da banana sem a casca é constituída por água, o que causa um curto tempo de maturação. Em condições normais, a proliferação de microorganismos acontece de tal forma que em pouco tempo a banana apodrece, algo ao redor de 5 a 10 dias. Quando se reduz o teor de água, transformando-a em banana tipo passa, o tempo de prateleira deste fruto passa a ser próximo a 1 ano. Deste modo, o intuito com o equipamento é desidratar o produto em 20 a 30%.

O processo de secagem envolve processos de transferência de calor, oriundo da fonte de calor para o material a ser seco, bem como de transferência de massa, oriundo do material a ser seco para o sorvedor de umidade. Neste caso, visando a viabilidade do equipamento a ser construído, denominado secador solar individual de baixo-custo para banana-passa, foi utilizado a energia solar ao invés de eletricidade como ocorre em muitos casos. Há necessidade de alguns cuidados em relação à posição de uso de alguns materiais, pois deve-se trabalhar sempre com o uso de tecnologias apropriadas, mas basicamente o conceito é simples onde há entrada de ar ambiente para dentro da estufa pela parte inferior, aquecendo e na sequencia saindo do ambiente pela parte superior, levando a umidade e com isso desidratando o fruto. Para

melhor aquecimento deste ar, e manutenção de um ambiente em estufa, deve haver uma superfície absorvedora da luz solar na parte inferior plana da caixa ao mesmo tempo que deve haver uma superfície transparente na parte superior, e o fruto fica entre estas superfícies em uma bandeja contendo grelhas para que o ar possa passar entre os frutos, estando o ar frio na parte inferior que, ao aquecer, é transferido para a parte superior.

Dentre as características do secador solar desenvolvido junto ao projeto encontra-se inicialmente o tamanho apropriado, visando facilidade no transporte por qualquer pessoa da comunidade. Outro importante detalhe, bastante estudado, foi em relação ao uso do vidro na parte superior, após dois anos de pesquisa os resultados demonstraram a necessidade de troca deste vidro por policarbonato. O uso de tela, tanto na entrada como na saída do ar, foi desenvolvido de forma conjunta com a comunidade, evitando entrada de insetos durante o processo de secagem.

Em relação a questão da desidratação noturna, na região de Campina Grande o tempo gasto para a obtenção dos produtos por batelada, contendo perdas de 20 a 30% de umidade, ocorre em um período de 48 horas, e para isso a própria comunidade novamente em conjunto com os pesquisadores desenvolveram uma sistema de fechamento das telas para que fica fechado todo o sistema para que no dia seguinte possa dar continuidade.

Referente ao material de base do equipamento, na atualidade está sendo feito estudos para talvez trocar a madeira por material plástico e por consequência obter maior durabilidade. Os equipamentos construídos até o momento possuem a durabilidade de cerca de 2 ou 3 anos, isso devido sua exposição a momentos de chuva e sol.

No laboratório ainda há outros estudos em desenvolvimento envolvendo por exemplo o secador híbrido. Neste equipamento a câmara de secagem é independente, onde o secador similar ao equipamento anterior na condição de secador híbrido irá apenas servir para aquecer o ar via sistema de termossifão, sendo aqui denominado de coletor solar. O ar aquecido é transportado para um outro

equipamento denominado câmara de secagem contendo as bandejas sobrepostas, com espaçamento de cerca de 10 cm entre elas, possuindo em sua parte superior uma chapa negra visando manter o ar superior quente e assim provocando a circulação do ar quente proveniente do coletor solar para a saída superior existente na câmara de secagem onde se encontra as bandejas. Assim ocorre a passagem do ar quente entre os frutos de maneira mais produtiva. Entretanto, com os avanços das ideias, e devido ao tamanho deste sistema híbrido, está em estudo a sistemática de uso de gás natural na parte inferior desta câmara de secagem de tal forma que quando a temperatura do sol não seja suficiente para atingir a temperatura desejada, possa ser adicionado o aquecimento a gás, tipo fogão, substituindo o ar proveniente do secador solar por este ar proveniente do aquecedor a gás. O sistema é um pouco complexo visto ter a necessidade de transdutores bem como de uma unidade de controle lógica para ser utilizado de maneira automatizada, identificando a temperatura ideal para substituição do sistema de aquecimento solar pelo a gás.

Como informação complementar vale ressaltar que, no Brasil, Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, é considerada como a cidade solar, visto ser a cidade que possui o maior número de equipamentos instalados para uso da energia solar sendo inclusive nesta cidade, no laboratório da PUC/MG, que é feita a certificação dos equipamentos desenvolvidos pela UFCG referente ao projeto de secador solar.

Além disso, vale ainda ressaltar a importância de reuniões específicas para discussões sobre algumas especificidades da área de energia solar, por exemplo, relacionados as principais barreiras que dificulta a difusão desta tecnologia de modo particular no Brasil, que possui uma região como o Nordeste onde o recurso solar disponível é muito forte. Assim, o que se tem percebido ao longo desta caminhada é a necessidade do preparo de um diagnóstico da situação atual, de propor uma série de caminhos e normas que devemos seguir, tanto na parte de formação de recursos humanos quanto na parte de desenvolvimento, principalmente nesta parte de desenvolvimento de tecnologias apropriadas. Ressalta-se neste sentido que a cidade de Campina Grande,

na Paraíba, é a pioneira na legislação que incentiva a energia solar no Brasil. Por exemplo, há uma lei que diz assim: “se você instala numa casa ou edifício um sistema de aquecimento com energia solar você tem um abatimento de 50% no IPTU dos próximos cinco anos que seguem”. Então há pequenas estratégias que torna-se de extrema necessidade que sejam compartilhadas e discutidas para melhor e rápido aproveitamento.

Dentro deste contexto de tentativas de divulgação, em Campina Grande existe uma casa chamada Eco-eficiente que é usada para demonstrar as tecnologias em desenvolvimento, como por exemplo, aquecimento de água, geração de eletricidade com painéis fotovoltaicos, aproveitamento de água de banho, energia eólica, entre outras. Além disso, dado a necessidade de material a respeito de energia solar, em 2007 foi lançado o livro “Fundamentos da Energia Solar: Radiação Solar e Coletor Solar Plano Conceitos básicos e aplicações”, da editora da UFCG, e uma tiragem de 1000 livros foi esgotada rapidamente sendo então estimulado novos textos ainda mais completos sobre energia solar térmica, visando a transferência destas informações.

### **3 Considerações finais**

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, como fonte de calor e de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. É inclusive a partir da energia do sol que se dá a evaporação, origem do ciclo hidrológico, que possibilita o represamento e consequente geração de eletricidade nas usinas hidrelétricas.

É também por causa da energia solar que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, é capaz de se desenvolver através da fotossíntese, para posteriormente ser transformada em energia na forma de açúcar ou etanol, podendo ainda ser utilizada como combustível através do seu resíduo cada vez mais nobre, o bagaço.

Segundo Grilo (2007) a principal fonte de energia no nosso planeta é o sol: diretamente pela luz e pelo calor; indiretamente porque é a energia solar que alimenta parte da vida na terra, ela é responsável pela chuva, pelo vento e até pela formação dos combustíveis fósseis que são energia solar transformada em energia química.

## Referências bibliográficas

- GOLDEMBERG, José. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Blucher. 2014.
- GRILO, Marcelo Bezerra. **Fundamentos da Energia Solar: Radiação solar e coletor solar plano – conceitos básicos e aplicações**. Primeira edição, ISBN 9788589674348. Campina Grade: Editora da UFCG. 2007.
- GRILO, Marcelo Bezerra. **Capítulo 5: Recursos Energéticos (in Manejo Ecológico Integrado de Bacias Hidrográficas no Semiárido Brasileiro)**. Campina Grande: Epgraf. Apoio UFCG e CNPq. 2011.
- RICHTER, Burton. 2012. **Além da fumaça e dos espelhos: mudança climática e energia no século XXI**. Rio de Janeiro: LTC. 2012.
- SILVA, Cylon Gonçalves. 2010. **De Sol a Sol: Energia no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.
- TRIGUEIRO, André. 2012. **Mundo Sustentável 2. Novos Rumos para um Planeta em Crise**. São Paulo: Globo. 2012.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

**PARTE 2**  
**ENERGIA EÓLICA**



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# CAPÍTULO 4

## GERAÇÃO EÓLICA *OFFSHORE*

---

Milthon Serna Silva; Vinicius Souza Santos

*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

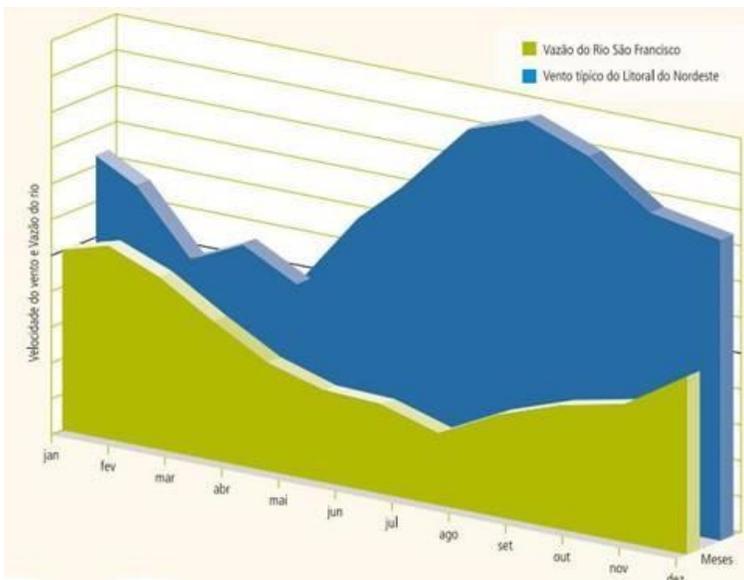
A energia elétrica tem desempenhado um papel importante para o desenvolvimento econômico e social, já que esse recurso garante o funcionamento e conforto de casas e empresas, energiza os transportes que levam as pessoas ao trabalho e diversas outras aplicações que dependem do local onde é usado e da finalidade da instalação. Concomitantemente a isso, o crescimento desenfreado do consumo de energia elétrica, embora represente um aquecimento econômico e o desenvolvimento da qualidade de vida, apresenta certos malefícios. Alguns destes são a escassez dos recursos utilizados para a geração de energia e o impacto causado no meio ambiente pelo uso de termelétricas. Esses fatores e os gastos com combustíveis fósseis são uma motivação para o uso de energia limpa.

A necessidade de um investimento de caráter urgente no setor elétrico brasileiro ficou mais evidente durante o apagão de 2001, evento este que marcou o início do racionamento. Esse acontecimento foi ocasionado pela falta do crescimento da matriz energética brasileira, que não acompanhou o crescimento do consumo. O investimento do setor ficou, em sua maioria, limitado a 2 tipos de geração, hidrelétrica e termoelétrica. A primeira, apesar da sua elevada eficiência, tem como ponto fraco a forte dependência dos regimes de chuvas, tendo seu potencial profundamente afetado em meses de seca. A termoelétrica, embora possua elevada confiabilidade em sua operação, contribui fortemente para a poluição do meio ambiente e o aquecimento global, em virtude dos gases emitidos durante o processo de geração de energia elétrica. Alternativamente a essas fontes, existe a energia eólica, com desenvolvimento no Brasil ainda recente, que vem ganhando destaque, pois gera energia limpa com baixíssimo impacto ambiental. O Brasil

possui diversas regiões viáveis para o desenvolvimento dessa fonte, tendo a região Nordeste como região destaque.

A produção de energia elétrica por fonte eólica tem a possibilidade de complementaridade com a geração hidrelétrica, já que o maior potencial eólico na região Nordeste alcança seu pico durante a época de baixo nível do reservatório do rio São Francisco, um dos rios mais importantes para a geração de energia hidrelétrica do país, conforme pode ser visto na Figura 4.1.

**Figura 4.1 – Complementaridade entre a geração hidrelétrica e eólica.**



Fonte: ANEEL [1]

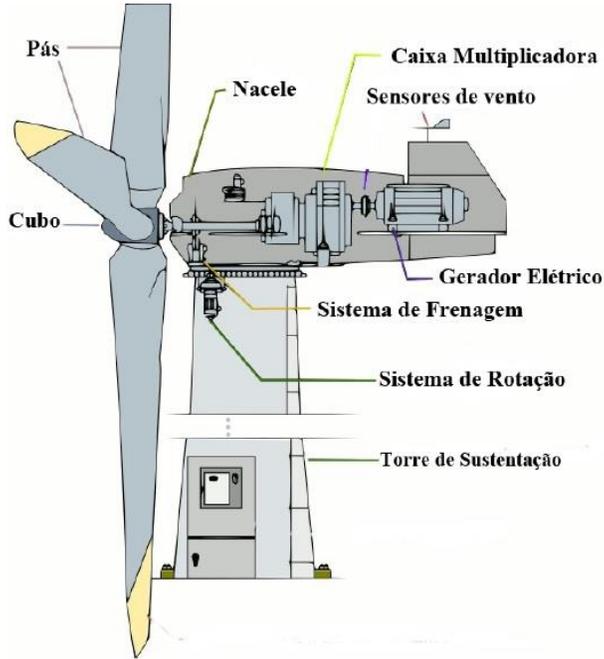
Além dessa grande vantagem nos meses de seca, essa fonte é capaz de aproveitar muito mais energia em sua aplicação no mar, conhecida como *offshore*, que nos últimos anos vem ganhando destaque no âmbito do planejamento energético europeu. Destacam-se cinco principais motivos para o seu uso: o desenvolvimento dos geradores voltados para essa aplicação, o maior tempo de vida útil dos equipamentos nessa aplicação, melhores velocidades de vento no mar, preocupações com as mudanças climáticas e esgotamento das áreas terrestres [2].

## 1.1 Aerogeradores

O aerogerador trata-se de uma máquina que converte a energia cinética proveniente do vento em mecânica e, em cadeia através dos componentes internos, a mecânica em elétrica. O aerogerador é composto por vários equipamentos, que executam funções bem definidas no processo de geração de energia, como mostrado na Figura 4.2. Os principais componentes são:

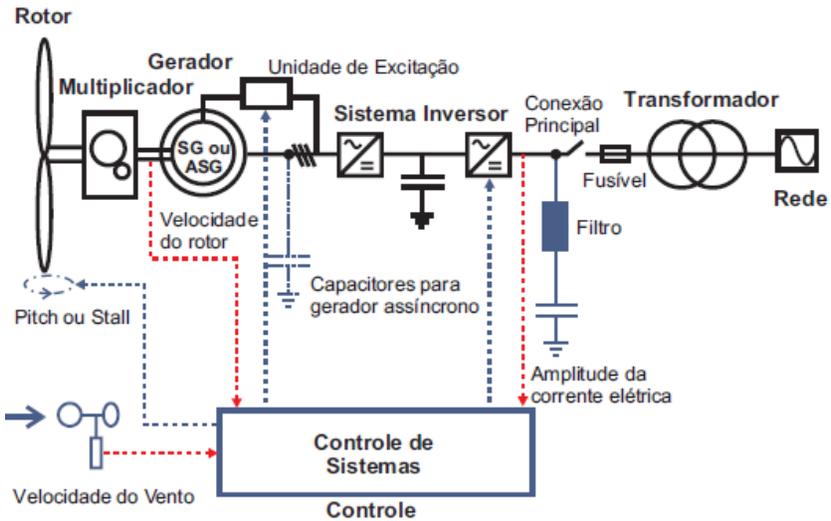
- a) Caixa Multiplicadora (*GearBox*): O sistema de transmissão consiste em compatibilizar a baixa velocidade do rotor (30 à 60 rpm) com a alta velocidade de rotação dos geradores convencionais (1200 à 1800rpm). Usualmente, a caixa multiplicadora fica posicionada entre o rotor e o gerador. Esse sistema contém eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos mecânicos. É importante mencionar que existem alguns modelos de aerogeradores que dispensam o uso desse equipamento [4].
- b) Torre (*Tower*): Tem a finalidade de suportar todo o sistema do aerogerador na altura onde o vento possui maior qualidade. Além disso, a torre deve suportar a força do vento constantemente atuante. A durabilidade da torre eólica depende do diâmetro do rotor da turbina eólica e seu modo de operação [4].
- c) Cubo (*Hub*): É o componente onde as pás são acopladas ao eixo de rotação da máquina. Esse componente é feito de aço fundido ou forjado, pois ele está mais sujeito aos esforços mecânicos do que qualquer outro equipamento do aerogerador [5].
- d) Pás (*Blades*): São componentes aerodinâmicos que interagem diretamente com o vento, elas fazem a conversão de uma fração da energia cinética em energia mecânica. São fabricadas em fibra de vidro, reforçadas com epóxi e/ou madeira [6].
- e) Cabeça (*Nacelle*): É a carapaça atrás do cubo onde protege os equipamentos lá existentes como: a caixa de transmissão, gerador, sistemas de controle e freios. Algumas *naceles* são grandes o suficiente para acomodar confortavelmente os trabalhadores durante a manutenção do aerogerador [5].

**Figura 4.2 – Componentes de um aerogerador.**



Fonte: Alterima [19]

**Figura 4.3 – Topologia de um aerogerador**



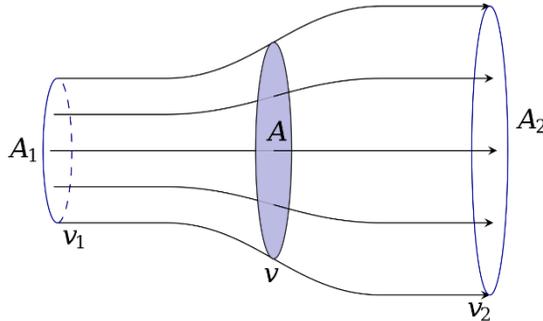
Fonte: Eólica-Princípios [7]

- f) Sensor de vento: Mensura em tempo real a direção e velocidade do vento, com a finalidade de orientar o aerogerador para que este fique direcionado de frente ao fluxo de ar. O sistema é composto por um anemômetro e um cata-vento [5].
- g) Sistema de rotação: Tem a função de manter o cubo da turbina eólica contra o vento. Esse sistema atua quando os sensores de vento enviam a informação que o vento mudou de direção. Um motor embaixo da *nacelle* gira a mesma para que a turbina eólica aproveite o máximo possível do potencial eólico local [5].
- h) Sistema de Frenagem: Tem o objetivo de impedir a rotação do rotor do aerogerador, em casos de manutenção ou em situações em que o vento tem uma velocidade extremamente alta (furacões ou vendavais) que podem danificar toda a turbina [5].
- i) Gerador: É o equipamento responsável na conversão da energia mecânica de rotação em energia elétrica. Hoje, existem diversos tipos de soluções motogeradores, entre eles: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos e geradores de comutador de corrente alternada [4]. Como mostrado na Figura 4.3, é normal a utilização em cascata de conversores CA-CC e CC-CA, para permitir que o aerogerador possa trabalhar em várias rotações [7].

A energia cinética do vento é convertida em energia mecânica através da rotação das pás. Durante esse processo, a potência disponível no vento não pode ser totalmente aproveitada pelo aerogerador. Uma vez que, o vento atravessa a região das pás com velocidade  $V_1$  e área  $A_1$ , choca-se com uma velocidade ' $V$ ' e área ' $A$ ' e sai com velocidade não nula ' $V_2$ ' e uma área maior ' $A_2$ ', conforme mostrado na Figura 4.4. A lei da continuidade de fluxo estabelece que todo ar que chega até as pás, delas tem que sair. Se a velocidade do ar é menor na saída, este ar tem que ocupar uma área maior [2]. A Equação (4.1) representa essa afirmação:

$$m = A_1 V_1 \rho = A_2 V_2 \rho \quad (4.1)$$

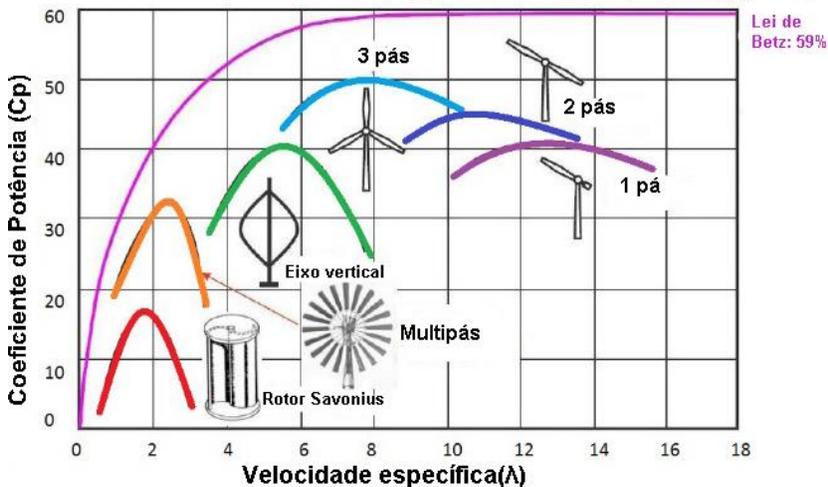
**Figura 4.4 – Lei da continuidade de fluxo**



Fonte: Alterima [20]

**Figura 4.5 – Eficiência para diferentes turbinas eólica**

**Coefficiente de Potência (Cp) X Velocidade específica ( $\lambda$ )**



Fonte: Fadigas [2]

A razão da velocidade do vento de saída ‘ $V_2$ ’ e o vento de entrada ‘ $V_1$ ’, não pode ser inferior a  $1/3$ . Essa formulação foi realizada pelo físico alemão Albert Betz, conhecida como Limite de Betz. Em condições ideais, a conversão de energia cinética em energia mecânica é de 59 %. Essa relação da potência que é realmente aproveitada pela turbina eólica é conhecida como coeficiente de potência e é dada pela Equação (4.2):

$$C_p = \frac{P_{mec}}{P_v} \quad (4.2)$$

onde:

$C_p$  é o coeficiente de potência [adimensional];

$P_{mec}$  é a potência mecânica [kW];

$P_v$  é a potência do vento [kW].

O coeficiente de potência varia de acordo com o tipo e modelo de aerogerador. Em condições não ideais, um aerogerador não ultrapassa os 50%. Como mostrado na Figura 4.5, o coeficiente de potência ( $C_p$ ) varia com a velocidade específica ( $\lambda$ ), representada pela Equação (4.3).

$$\lambda = \frac{R\Omega}{v} \quad (4.3)$$

onde:

$\lambda$  é a velocidade específica [adimensional];

$R$  é o comprimento das pás [m];

$\Omega$  é a velocidade das pás [rad/s];

$v$  é a velocidade do vento [m/s].

Para que se caracterize o nível de grandeza desse parâmetro, têm-se que:

- $\lambda < 3$ , o gerador eólico é lento;
- $\lambda > 3$ , o gerador eólico é rápido.

Apesar do aerogerador depender ativamente do vento para gerar energia, essa máquina é incapaz de gerar energia em qualquer velocidade do vento por causa de restrições técnicas e perdas durante o processo de conversão de energia. Conforme mostrado na Figura 4.6, existe uma velocidade mínima *cut-in* para que a turbina seja capaz de vencer a inercia mecânica e inicie a produção de energia elétrica em baixíssima escala. Após isso, a medida que a velocidade do vento aumenta, maior será a produção de energia até que chegue em sua potência nominal. Além disso, há uma velocidade máxima *cut-off* de funcionamento, com a finalidade de proteger a turbina de condições extremas que podem causar sérios danos aos equipamentos.

O rendimento total de um aerogerador considera todos os fatores que causam perdas, desde as perdas na conversão de energia cinética para mecânica até as perdas individuais em cada componente [8]. A potência elétrica de saída de um aerogerador é dada pela Equação (4.4).

$$P = \frac{1}{2} C_p n p A v^3 \quad (4.4)$$

onde:

$P$  é a potência do aerogerador [kW];

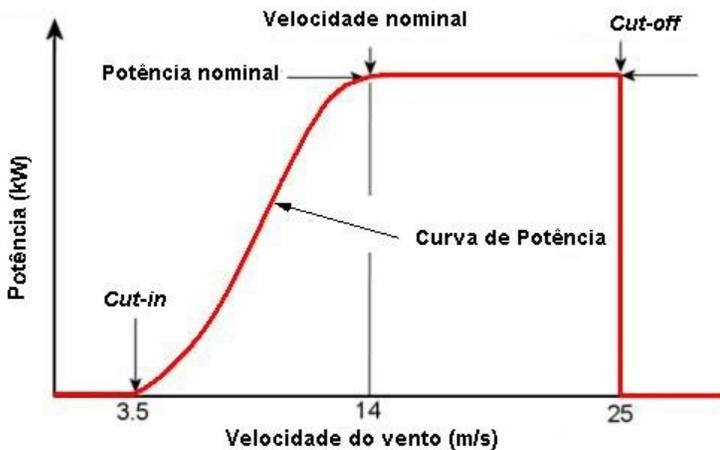
$C_p$  é o coeficiente de potência [adimensional];

$n$  é o rendimento considerando as perdas mecânicas [adimensional];

$p$  é a massa específica do ar [ $kg/m^3$ ];

$v$  é a velocidade do fluxo de ar que incide nas pás [ $m/s$ ].

**Figura 4.6 – Curva de potência**



Fonte: Wind Power Program [21]

## 1.2 Sistemas eólicos offshore

O planeta Terra é coberto por pelo menos 2/3 de água e estima-se que a quantidade de recursos energéticos, presente no oceano, seria mais que suficiente para suportar toda demanda energética que a humanidade pudesse necessitar [5]. O aproveitamento energético dos sistemas eólicos offshore, que fazem a conversão da energia cinética dos ventos

em energia elétrica distante da costa, foi o ponto ignição para o avanço do aproveitamento na porção de água do planeta de forma bem-sucedida em suas incontáveis possibilidades. Desde a aplicação do primeiro sistema eólico longe da costa, em 1992 na Dinamarca, essas fazendas eólicas começaram a fazer parte do conteúdo paisagístico europeu, conforme ilustrado na Figura 4.7. Sem dúvidas, existem muitos outros lugares no mundo que tem potencial para desenvolvimentos desse empreendimento, o fato que corrobora para isso são as plantas offshore instaladas na China e nos EUA [2].

**Figura 4.7 – Parque eólico offshore no Mar Báltico**



Fonte: Mathew [9]

### **1.2.1 Prós e Contras**

Existem diversos fatores, que refletem em aspectos sociais e ambientais, que podem impactar positivamente e negativamente na geração de energia a partir da fonte eólica marítima [10], [11].

Dentre os benefícios, têm-se:

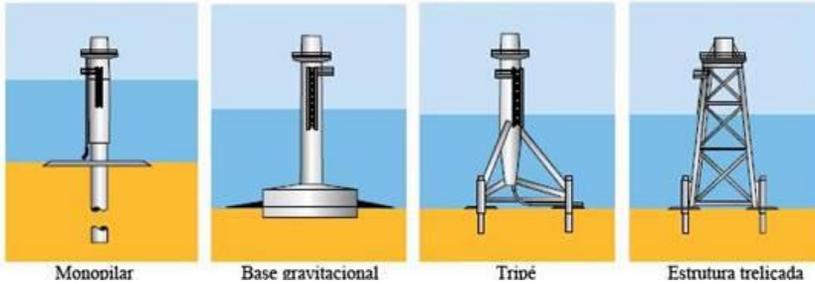
- Maiores áreas disponíveis para implementar projetos de elevada potência, podendo ultrapassar 1 GW de potência;
- Elevado potencial eólico e baixíssima turbulência contribuindo para diminuir os esforços de fadiga e maior tempo de vida útil da turbina;
- Menor impacto ambiental em relação aos empreendimentos onshore, já que os parques eólicos estão longe o suficiente dos núcleos urbanos, não impactando expressivamente com poluição sonora e visual;
- Proximidade de regiões urbanas e outros centros de cargas, já que os parques ficam no litoral é lá se concentram as cidades;
- Menores problemas logísticos, uma vez que o transporte das máquinas e equipamentos se dá via transporte marítimo, o que dispensa infraestrutura de rodovias para transporte de equipamentos;
- Não contribuem com gases que agravam o efeito estufa.

As principais desvantagens são:

- O procedimento de instalação são mais complexos, com a necessidade de guindastes e outros equipamentos de melhor qualidade;
- Elevado custo, em virtude da necessidade de equipamentos que suportem a corrosão marítima, entre eles: cabos marítimos, maquinário e fundações. Estas últimas podem se tornar mais caras com o aumento da profundidade;
- Elevado custo de manutenção, por conta das dificuldades de acesso a turbina eólica, sendo em alguns casos necessário o uso de helicópteros.

### **1.3 Fundações geradores eólicos**

As fundações são as estruturas que suportam as turbinas eólicas e garantem a estabilidade para funcionarem nas melhores condições. Um número diferente de suportes foram estudados e testados para suportar as turbinas eólicas em operação na água, como mostrado na Figura 4.8.

**Figura 4.8 – Principais fundações utilizadas nos projetos eólicos offshore**

Fonte: Adaptado de Arapogianni *et al.* [36].

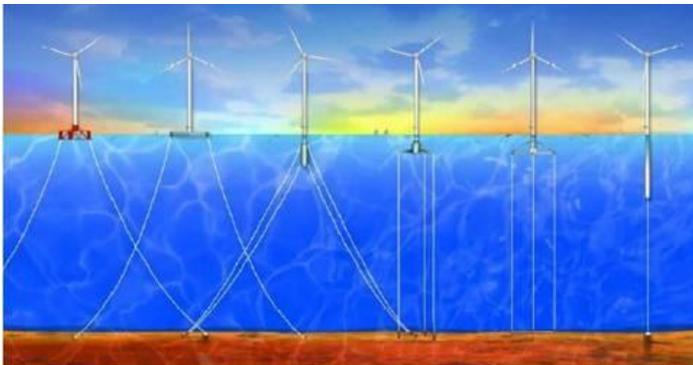
Os principais tipos são:

- a) Base gravitacional: Consiste em uma base de concreto cheia de areia, rocha ou minério de ferro, dependendo da necessidade, com dimensões da base diretamente proporcionais com a capacidade da turbina. Para de 3 a 5 MW o diâmetro é de 30 a 40 m, por exemplo, e essa fundação é indicada para profundidade de até 30 m. Tem construção mais barata que as monopilares, mas a instalação é bastante cara, em virtude da preparação subterrânea e a necessidade de usar navios especializados para suportar o transporte de carga pesada [12].
- b) Monopilar: São estruturas tubulares de ferro com seu diâmetro diretamente proporcional a potência do aerogerador. Essa estrutura é, frequentemente, usada devido o seu baixo custo e simplicidade em relação as outras soluções empregadas, mas sua implementação é limitada até 20 m de profundidade. Durante a instalação essa estrutura é inserida na terra com 40% à 50% do seu corpo imerso. Porém, o chão do fundo do mar deve ser composto de areia ou cascalho. Além do mais, essas estruturas oferecem boa resistência aos esforços mecânicos transferidos pela turbina eólica [13], [14].
- c) Tripé: Sua construção é feita de aço conectado a três tubos de aço os quais são empilhados no fundo do mar. É uma solução adequada para profundidades de até 40 m. Em virtude do seu desenho robusto, sua estrutura é bastante pesada. Sua produção e transporte são extremamente caros dentre as outras soluções

de fundação, além de terem instalação muito complexa. O projeto Alpha Ventus é o único parque eólico que emprega essa solução[13].

- d) **Estrutura treliçada:** Trata-se de um molde de treliças de aço que se estende desde o ponto de profundidade até a lâmina da água. São estruturas robustas e pesadas e exigem equipamentos caros para transportar e levantar. Essa fundação é adequada até 50m de profundidade, suportando grandes turbinas de 5 MW. É possível observar aplicações para maiores profundidades (100m), mas isso implica fortemente nos custos, o que deixa essa solução, nesse caso, inviável. O projeto eólico offshore de Beatrice (na Escócia), utiliza uma subestrutura treliçada, semelhante àquelas implementadas nas plataformas de petróleo e gás. As subestações offshore também adotam esse tipo de solução [13].
- e) **Estruturas Flutuantes:** Essas fundações são baseadas em plataformas e sistema de ancoramento, como mostrado na Figura 4.9. No momento, existem apenas protótipos em fase final de estudos que empregam essa tecnologia, a exemplo do projeto Hywind, na Noruega, e o projeto WindFloat, em Portugal. Esses estudos representam a fronteira a ser avançada para que os sistemas offshore possam ser implementados em locais mais profundos (maior que 50 m). A expectativa de comercialização desses sistemas é para ainda esse ano [13].

**Figura 4.9 – Solução de fundações flutuantes**



Fonte: Robinson [15]

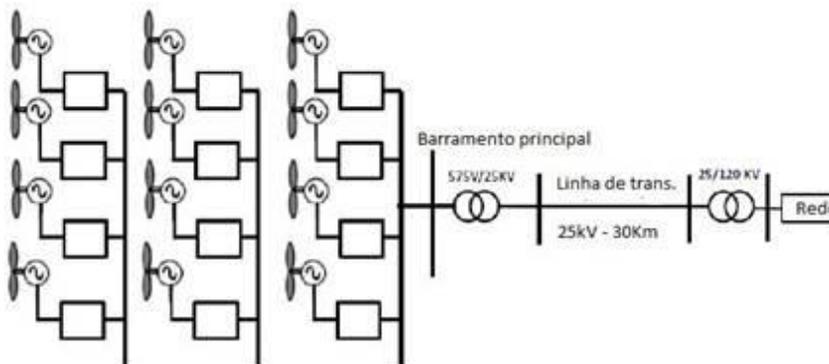
## 1.4 Esquema elétrico do parque eólico offshore

Normalmente, a geração de energia elétrica proveniente das turbinas eólicas fica em uma faixa de tensão entre 380V – 690 V, acarretando na necessidade de um transformador elevador de tensão. A necessidade de subestações offshore depende da potência gerada e da distância até a costa, o que determina as compensações entre os custos de capital e as perdas térmicas na linha de transmissão. Os componentes das subestações offshore incluem transformadores de tensão, gerador com tanque de diesel de reserva, alojamento das instalações, tubos e cabos de média e alta tensão. As subestações são posicionadas em um local que busca a minimização da exportação e comprimento dos cabos. As subestações pesam aproximadamente 500 toneladas e usam fundações similares às usadas em turbinas [12]. A Figura 4.10 mostra um diagrama unifilar simplificado de um parque eólico offshore.

Antes de conectar os aerogeradores a rede, deve-se notar os efeitos da injeção de potência, devido as características próprias da produção e a qualidade de energia [16]. Alguns pontos importantes são:

- Problemas na qualidade da tensão de saída;
- Perdas elétricas na rede;
- Despacho de potência;
- Regulação de tensão.

**Figura 4.10 – Diagrama Elétrico de um parque eólico offshore**



Fonte: Kaiser e Snyder [12].

As conexões a rede são feitas seguindo a disponibilidade no local. A injeção de potência na rede depende do nível de tensão e da função da rede, como a seguir:

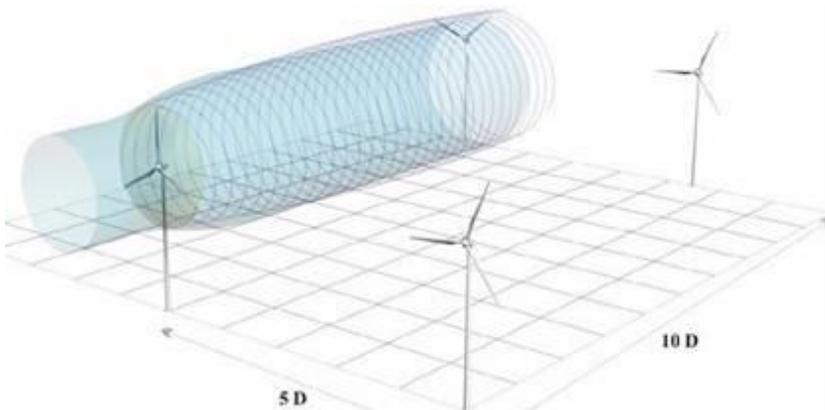
- Transmissão: redes com tensões a partir de 230 kV, geralmente com capacidade de 200MW ou mais;
- Subtransmissão: redes com tensões entre 34,5 kV e 138 kV, respondem no transporte de potência na magnitude de algumas dezenas de megawatts em pequenas distâncias;
- Distribuição: Redes com tensões inferiores a 34,5 kV, geralmente tem capacidade de alguns megawatts e transportam energia em pequenas distâncias para cidades e comunidade próximas.

#### **1.4.1 Efeito Esteira**

O efeito esteira ocorre quando a turbina eólica converte parte da energia cinética contida no vento em energia mecânica a partir do vento incidente, mas como a turbina não aproveita todo o vento, o fluxo de ar de saída da turbina tem uma qualidade muito inferior ao vento de entrada. Esse fato causa um vento turbulento e com velocidade inferior ao vento inicial, que afeta as turbinas eólicas seguintes que receberam um vento de baixíssimo potencial energético [13]. A magnitude do efeito esteira depende diretamente do tamanho do rotor das turbinas e a distância entre essas. Quanto mais afastada uma turbina da outra, menor será o impacto por esse inconveniente.

Os projetistas distribuem as turbinas a uma distância mínima de oito a dez vezes o diâmetro do rotor na direção preferencial do vento e no mínimo 5 vezes o diâmetro do rotor na direção perpendicular, conforme mostrado na Figura 4.11. Ainda com esses cuidados, alguns estudos constataam uma perda de aproximadamente 5% [14].

**Figura 4.11 – Disposição das turbinas eólicas para minimizar os efeitos de esteira**

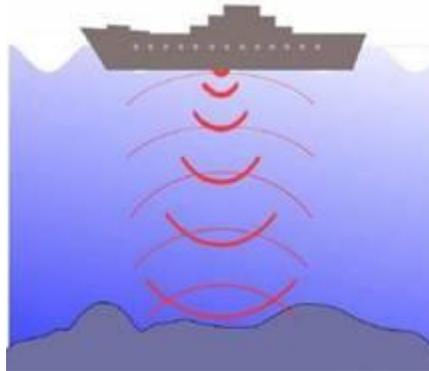


Fonte: Amarante, Zack e Sá [17]

### **1.4.2 Batimetria**

Para a tomada de decisão de implantar um projeto eólico offshore, é necessário estudar a profundidade do lugar onde se deseja realizar a instalação, por ser um fator delimitante. Esse estudo é chamado de batimetria, que consiste no mapeamento da profundidade de rios, lagos ou marés. Os resultados da medição da batimetria são representados por linhas batimétricas que ligam os pontos de mesma profundidade em mapas de 2 ou 3 dimensões.

O aparelho que realiza as medidas de profundidade é o ecobatímetro, que utiliza o princípio do efeito Doppler. A medição é feita a partir do tempo necessário entre o envio de um sinal sonoro e a recepção após a reflexão do sinal do fundo da área estudada, conforme ilustrado na Figura 4.12 [15].

**Figura 4.12 – Funcionamento do ecobatímetro**

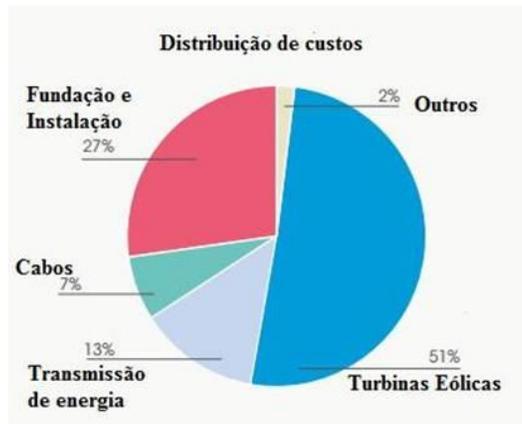
Fonte: PUC-RIO [15]

## 1.5 Aspectos Econômicos

Os parques eólicos offshore podem custar até 50% mais que os empreendimentos em terra, em virtude da engenharia envolvida e a necessidade de equipamentos de melhor qualidade para implementação da instalação. Os principais itens que aumentam os custos são as fundações e as conexões da rede elétrica. A primeira sofre aumento demasiado com a profundidade e a segunda quanto maior a distância da costa, maior serão os custos, sendo necessário a instalação de uma subestação offshore. A fundação e os custos relativos a rede elétrica representam, aproximadamente, metade do valor do investimento, conforme mostrado na Figura 4.13.

Embora os parques eólicos tenham a capacidade de produzir até 50% a mais de energia no cenário offshore e possam obter retorno financeiro de médio e longo prazo, ainda é necessário uma análise econômica para avaliar se o investimento é rentável, e compará-lo com investimentos alternativos [17].

**Figura 4.13 – Distribuição de custos de um projeto de um parque eólico offshore**



Fonte: Gielen [18]

## 2 Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica, necessária para se conhecer o estado da arte sobre os sistemas eólicos *offshore*. A partir, dos parâmetros para a determinação da escolha do local e para o levantamento da carga a ser atendida, bem como sobre o dimensionamento dos componentes do sistema eólico e sobre o estudo da viabilidade econômica, para o desenvolvimento e verificação de viabilidade do projeto de um sistema eólico *offshore* em uma área determinada.

Os trabalhos devem ter início com um estudo avaliativo do recurso eólico *offshore*, para a escolha de um local definido em um ambiente com bons recursos eólicos e altos índices de vento. A identificação desta área se deu por meio de consultas ao Atlas Eólico e Oceanográfico do Brasil, por meio de dados de estações meteorológicas próximas e por meio do software Google Earth, Global Mapper, WindFarmer e WAsP.

Na fase de escolha dos aerogeradores, devem ser considerados: fabricação e assistência técnica na região, modelos disponíveis, tecnologia empregada e potencial de produção de energia.

Após a definição do aerogerador que seja compatível com as condições já apresentadas, será definida a capacidade do parque eólico *offshore* de acordo com os padrões mundiais observados. Em seguida, será feito um estudo da disposição das turbinas no espaço dedicado ao empreendimento e a previsão de energia gerada, através do *software* WAsP.

Para finalização do trabalho se dará pela realização da previsão dos custos totais do sistema eólico projetado e de uma rede elétrica convencional, a qual seria estendida até o ponto de conexão. Para isso serão utilizados o *software* HOMER e RetScreen, a fim de elaborar um dimensionamento econômico do sistema e assim realizar uma análise comparativa para a verificação do sistema mais viável a ser instalado no local.

### **3 Resultados e discussão**

Para desenvolvimento de um parque eólico onshore, em toda sua plenitude, é necessário avaliar uma série de variáveis que podem afetar como será gerada a energia e o impacto que isso pode causar no meio-ambiente. Pois, o conceito de energia limpa nunca será difundido ativamente se não houver uma boa relação entre esses dois pontos, ou seja, geração de energia com o menor impacto ambiental.

A experiência adquirida com o estudo do estado da arte e com o desenvolvimento de projetos de geração eólica onshore, permitem afirmar que o Brasil atualmente já está preparado para desenvolver projetos de geração eólica *offshore* principalmente no nordeste.

### **4 Conclusões**

Atualmente no Brasil, percebe-se que o investimento em energia eólica torna-se mais importante com o passar dos anos. Dessa forma, cabe ao governo federal promover mais incentivos para uma maior expansão de potência instalada de energia limpa e promover medidas que favoreçam, ainda mais, o seguimento eólico onshore e, o ainda inexplorado *offshore* no Brasil.

A análise das informações disponíveis de velocidade de vento, direção, rugosidade e orografia promoveram a compreensão do comportamento do vento que pode ser utilizado para avaliação de projetos *offshore* na costa brasileira.

Com relação aos indicadores econômicos, os empreendimentos de geração *offshore* em geral obtêm um período de *payback* maior de 15 anos, que corresponde a 75% do tempo de vida útil do parque eólico. Isso indica que ainda é necessário políticas que favoreçam financeiramente o seguimento *offshore*.

As áreas de conhecimento complementares a serem estudadas, para estes projetos são Meteorologia e Oceanografia. Estas áreas estão amplamente associadas aos estudos relativos às condições para implantação de um empreendimento eólico, no que se diz respeito ao recurso eólico disponível e às características oceanográficas.

O EPE divulgou neste ano o Atlas Eólico do Brasil de 2017, sendo necessário atualizar todos os outros mapas que permitam fazer estudos de geração *offshore*.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a ABEEOLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica) e CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) pelas informações fornecidas que permitiram realizar as pesquisas.

## Referências bibliográficas

- [1] ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília: [s.n.], 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia\\_Eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf)>. Acesso em: 13 mar 2016.
- [2] FADIGAS, E. Energia eólica. [S.l.]: Barueri, SP: Manole, 2011.
- [3] ALTERIMA. Usina Eólica. 2012. Disponível em: <<http://www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=20&InCdMateria=218&Componentes+de+usinas+hidreletricas>>. Acesso em: 4 abr 2017.
- [4] DUTRA, R. Tutorial de energia eólica: princípios e tecnologias. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica-CRESESB, 2008.
- [5] PATEL, M. R. Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. [S.l.]: CRC press, 2005.
- [6] CASTRO, R. M. Energias renováveis e produção descentralizada—introdução à energia eólica. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 86p, 2007.
- [7] EÓLICA-PRINCÍPIOS, ENERGIA. Aplicações—Tutorial Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, CRESESB. 2004.

- [8] TOLMASQUIM, M. T. Energia renovável. hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Empresa de Pesquisa Energética–EPE. Rio de Janeiro, 2016.
- [9] MATHEW, S. Wind energy: fundamentals, resourceanalysisandconomics. [S.l.]: Springer, 2006. v. 1.
- [10] MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. Wind energy explained: theory, design and application. [S.l.]: John Wiley& Sons, 2010.
- [11] SANTOS, M. A. d. Fontes de Energia Nova e Renovável. [S.l.]: Editora LTC, 2013.
- [12] KAISER, M. J.; SNYDER, B. Offshore wind energy cost modeling: installation and decommissioning. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. v. 85.
- [13] DIAMOND, K. E.; CRIVELLA, E. J. Wind turbine wakes, wake effect impacts, and wind leases: Using solar access laws as the model for capitalizing on wind rights during the evolution of wind policy standards. *Duke Envtl. L. &Pol’y F., HeinOnline*, v. 22, p. 195, 2011.
- [14] CASTRO, R. M. Energias renováveis e produção descentralizada–introdução à energia eólica. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 86p, 2007.
- [15] PUC-RIO. Batimetria. 2014. Disponível em: <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0921928\\_2011\\_cap\\_3.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0921928_2011_cap_3.pdf)>. Acessoem: 10 abr 2017.
- [16] MANWELL, James F.; MCGOWAN, Jon G.; ROGERS, Anthony L. Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons, 2010.
- [13] WILLIAMS J CLAYTON, P. G. G. D. Industrial development potential of offshore wind in ireland. Sustainable Energy Authority of Ireland, 2013.
- [14] HAU, E.; RENOUIARD, H. V. Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics. [S.l.]: Springer Berlin, 2006. v. 2.
- [15] ROBINSON, W. M. M. Offshore wind technology overview. National Renewable Energy Laboratory, 2006.
- [16] SANTOS, R. C. d. Energia eólica para produção de energia elétrica. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.
- [17] AMARANTE, O. A. C. do; ZACK, J.; Sá, A. L. de M. . Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília: CEPEL, 2001.
- [18] GIELEN, D. Renewable energy technologies: Cost analysis series. IRENA Secretariat, 2012.
- [19] ALTERIMA. Usina Eólica. 2012. Disponível em: <<http://www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=20&InCdMateria=218&Componentes+de+usinas+hidrel%+E9tricas>>. Acesso em: 4 abr 2017.
- [20] PICOLO, A. P.; BÜHLER, A. J.; RAMPINELLI, G. A. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2014.
- [21] Wind Power Program. Disponível em: <[https://www.wind-power-program.com/turbine\\_characteristics.htm](https://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm)>. Acesso em: 4 abr 2017.

## CAPÍTULO 5

# ASPECTOS DE MEDIÇÃO ANEMOMÉTRICA: ETAPA DE PROSPECÇÃO X OPERAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

---

Darlan Emanuel Silva dos Santos

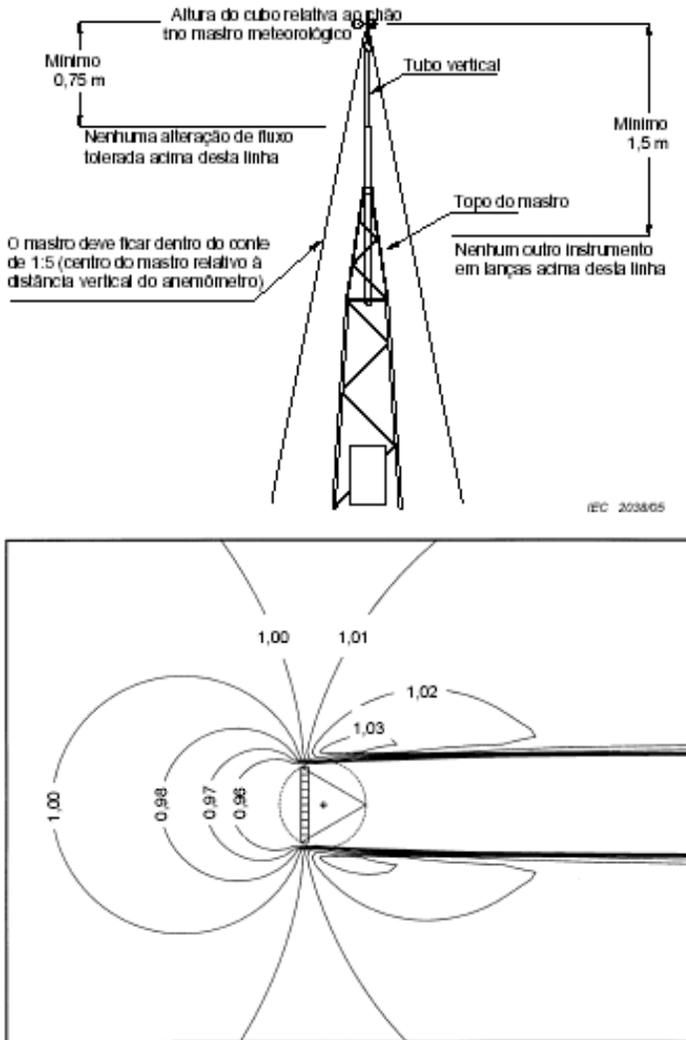
*Centro de Tecnologias do Gás & Energias Renováveis – CTGAS-ER*

### **1 Introdução**

A medição anemométrica, termo geral para as técnicas relativas à medição de vento, apresenta caráter específico quando se trata da caracterização do recurso eólico, seja na etapa da pesquisa de locais para o desenvolvimento de projetos (etapa de prospecção) ou no acompanhamento de projetos eólicos em operação; e mesmo dentro dessas duas etapas apresentam especificidades em função da aplicação final.

A medição relativa à fase de prospecção é tecnicamente orientada pelo anexo G da norma IEC 61400-12-1, com indicação dos procedimentos de montagem dos instrumentos em torre meteorológica, orientando, por exemplo, desde as características estruturais da torre, tamanho, altura e orientação dos suportes de fixação dos sensores, posição da torre e dos sensores em relação à direção preferencial do vento a fim de evitar distorções no fluxo e a medição respectivamente. A Figura 5.1 detalha (a) requisitos de montagem dos sensores na torre e (b) posição dos sensores de medição em relação à direção preferencial do vento parta torre estaiada, treliçada e de seção triangular.

**Figura 5.1 – (a) requisitos de Montagem de sensores e (b) posição dos sensores de medição**



## 2 Discussões

Com alvoo ao mercado regulado de energia e dessa forma à participação nos certames promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), se estabeleceu critérios mínimos para certificação dos dados de vento na fase de habilitação por meio das

portarias 21 e 29 do Ministério de Minas e Energia (MME), e dessa forma podemos citar (i) a perda de dados máxima de 10% com destaque ao limite máximo de 15 dias de perdas continuadas, (ii) estudo com 24 meses consecutivos de dados anemométricos seguindo as recomendações de entidades como a IEC – International Electrothechnical Commission, IEA – International Energy Agency, MEASNET – Network of European Measuring Institutes, AWEA – American Wind Energy Association, entre outras.

No entanto as torres de acompanhamento de parques eólicos em operação devem atender outros critérios quanto aos procedimentos de instalação, instrumentação e operação, sendo essa alteração de critérios fonte de dúvidas por parte de desenvolvedores de projetos, como por exemplo, na (i) classificação de sensores a serem instalados na torre, (ii) alturas de medição das variáveis de vento e climatológicas, (iii) prazos de implantação, (iv) forma de registro e envio de dados, entre outras.

Nessa fase, os critérios são estabelecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) por meio de notas técnicas com indicação desde (i) as instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos, (ii) a forma do acompanhamento das medições anemométricos em sistema próprio e (iii) possíveis penalidades em função do não-cumprimento das exigências estabelecidas após assinatura do Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado – CCEAR ou Contrato de Energia de Reserva – CER.

Como forma de exemplificar as diferenças estabelecidas para as medições nessas etapas, a Tabela 5.1 e a Tabela 5.2 apresentam em forma descritiva alguns dos principais pontos de atenção.

Os dados anemométricos enviados à EPE têm como objetivo o estabelecimento de um banco de dados permanente para os estudos relativos ao planejamento e operação de parques eólicos no Brasil. Sendo assim, e como garantia da qualidade dos dados, foram estabelecidos critérios mínimos a serem atendidos como:

- Perda de dados máxima de 15% por equipamento.

- Período contínuo sem dados de 30 dias no ano-calendário por equipamento.
- Limite máximo de 60 dias para os dados ao sistema AMA da EPE.
- Os dados devem respeitar critérios plausibilidade física.

O não atendimento dos critérios acima (dentro outros) permite a aplicação de penalidade na forma de multa mediante a comunicação por parte da EPE a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com indicação da pendência por parte do parque eólico e indicando a aplicação de multa de 1% da receita fixa mensal do contrato.

**Tabela 5.1 – Tópicos da medição anemométrica na fase de prospecção**

Item	Etapa de Prospecção	Referência
L.I.	Local selecionado pelo desenvolvedor a partir da avaliação prévio do local de interesse.	MEASNET
I.C.	A ser definido pelo desenvolvedor com vistas a participação em leilão de energia.	-
T.A.	Torre meteorológica tubular e estaiada ou treliçada, estaiada de seção quadrada ou retangular com distorção máxima de fluxo (Ct) entre 0,1 a 0,5 dependendo do projeto da torre.	IEC 61400-12-1
S.M.	Anemômetros de copos, medidores de direção, barômetros e termohigrômetros com proteção contra radiação solar e chuva.	IEC 61400-12-1
A.M.	Anemômetro de topo a pelo menos 0,75 cm do topo da torre suportado em haste vertical, anemômetro de controle entre 1,5 m a 2,5 m do anemômetro de topo.	IEC 61400-12-1
P.S.	Para torres tubulares a 45° do fluxo de vento principal e para torres treliçadas a 90° do fluxo de vento principal.	IEC 61400-12-1
F.D.	Os dados devem ser coletados continuamente a uma taxa de amostragem de 1 Hz e integralizados em 10 minutos.	IEC 61400-12-1
R.A.	Não definido	IEC 61400-12-1
C.D.	Estabelecido pelo desenvolvedor	-

Onde: L.I. – Local de instalação, I.C. – Início da campanha, T.A. – Especificação da torre anemométrica. S.M. – Especificação dos sensores de medição, A.M. – Alturas de medição, P.S. – Posição dos sensores, F.D. – Formato dos dados, R.A. – Recalibração de anemômetros, C.D. – Coleta de dados.

**Tabela 5.2 – Tópicos da medição anemométrica para operação de parques**

Item	Operação de Parques	Referência
<b>L.I.</b>	Parte frontal do parque com referência a direção predominante do vento, em local representativo e com interferência mínima.	DEA 08/14
<b>I.C.</b>	Iniciar as medições e enviar os dados à EPE até no máximo 180 dias após assinatura do CCEAR ou CER.	Portaria MME 29/2011
<b>T.A.</b>	Torre meteorológica tubular e estaiada ou treliçada, estaiada de seção quadrada ou retangular com distorção máxima de fluxo (Ct) entre 0,1 a 0,5 dependendo do projeto da torre.	IEC 61400-12-1
<b>S.M.</b>	Anemômetros tipo Classe 1 ou melhor com calibração inicial MEASNET; medidores de direção com precisão igual ou melhor que 3° e resolução igual ou menor que 1° e banda morta inferior a 6° e velocidade de partida igual ou menor a 1 m/s; higrômetro com precisão igual ou melhor que +2% entre 5% e 95%; termômetro com precisão igual ou melhor que +0,5°C entre -15°C e 60°C; barômetro com precisão igual ou melhor que +5hPa entre 800hPa e 1060hPa.	DEA 08/14
<b>A.M.</b>	Anemômetro de topo em altura igual ao do aerogerador, segundo anemômetro a 2,5 m do superior, terceiro anemômetro a pelo menos 20 metros abaixo do topo, medidor de direção superior a pelo menos 1,5 m do topo e no máximo a 10% da altura do eixo do aerogerador, barômetro e termohigrômetro entre 1,5 m e 10 metros abaixo do topo.	DEA 08/14
<b>P.S.</b>	Para torres tubulares a 45° do fluxo de vento principal e para torres treliçadas a 90° do fluxo de vento principal.	IEC 61400-12-1
<b>F.D.</b>	Os dados devem ser coletados continuamente a uma taxa de amostragem de 1 Hz e integralizados em 10 minutos.	IEC 61400-12-1
<b>R.A.</b>	Os anemômetros devem ser recalibrados a cada 24 meses.	DEA 08/14
<b>C.D.</b>	Recomenda-se coleta diária para acompanhamento e envio quinzenal de dados em formato específico ao sistema AMA da EPE.	DEA 08/14

Onde: L.I. – Local de instalação, I.C. – Início da campanha, T.A. – Especificação da torre anemométrica. S.M. – Especificação dos sensores de medição, A.M. – Alturas de medição, P.S. – Posição dos sensores, F.D. – Formato dos dados, R.A. – Recalibração de anemômetros, C.D. – Coleta de dados.

Deve-se ressaltar que os dados anemométricos também devem ser enviados ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com envio dos dados de:

- Velocidade do vento (à altura do eixo de um dos aerogeradores) em m/s;

- Direção do vento (á altura do eixo de um dos aerogeradores) em graus em relação ao norte verdadeiro;
- Pressão atmosférica em pascal (Pa);
- Temperatura (°C).

### 3 Considerações finais

Normalmente o atendimento às exigências colocadas pelo ONS é feito por meio da interligação da torre anemométrica ao sistema de supervisão do parque, sendo os dados enviados com as outras variáveis de interesse a esse agente.

Em resumo, as etapas descritas apresentam especificidades quanto à medição do vento. Enquanto o não atendimento dos requisitos e qualidade de medição na etapa de prospecção pode comprometer a qualidade dos dados e dessa forma impactar no desenvolvimento ou até no financiamento do projeto, como por exemplo, na fase de habilitação à participação dos leilões de energia; a medição anemométrica na operação de parques deve obedecer aos critérios estabelecidos pela EPE, ONS e a portaria nº 29 a fim de evitar penalidades na forma de multas ao parque.

### Referências bibliográficas

- International Electrothecnical Commission – IEC. IEC 61400-12-1 – Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing Wind turbines .
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa Nº 391, de 15 de Novembro de 2009.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa Nº 462, de 16 de Novembro de 2011.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Nota Técnica DEA 08/14. Leilões de Energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Nota Técnica DEA 16/14. Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas. AMA – Manual do Usuário.
- Ministério de Minas e Energia – MME. Portaria nº 29, de 28 de Janeiro de 2011.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Expansão da Geração. Empreendimentos Eólicos. Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas á participação nos Leilões de Energia Elétrica.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Submódulo 2.7. Requisitos de telessupervisão para a operação.

**PARTE 3**  
**ENERGIA DA BIOMASSA**



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 6

# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA BIORREFINARIA NO ESTADO DE SERGIPE COM BASE EM MÉTODOS LOGÍSTICOS

---

Rafael Cruz Dezen<sup>1</sup>; Clara Virgínia Marques Santos<sup>1</sup>; Denise Santos Ruzene<sup>2</sup>; Cleiton Rodrigues de Vasconcelos<sup>1</sup>; Daniel Pereira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*

## **1 Introdução**

A agricultura familiar no Brasil é principalmente caracterizada por emprego de culturas desenvolvidas por pequenos agricultores, com mão de obra realizada pela família, e produção de alimentos voltada para autoconsumo e/ou pequeno comércio cooperativo e desenvolvimento local, localizado em sua maioria no nordeste do país (ALMEIDA; JESUS, 2013). Medina *et al.* (2015) ressaltam que a agricultura familiar tem uma participação de 60% nos alimentos consumidos pela população brasileira sendo o segmento de maior expansão durante a década de 1990, apresentando um crescimento de 3,8% ao ano num período que apresentou queda de preços de 4,7% ao ano.

A classificação de agricultor familiar no Brasil, segundo Almeida e Jesus (2013), enquadra-se na Lei nº 11.326 de 24 de julho de 2006 sendo classificadas como os pequenos e médios proprietários de terra, os posseiros e os arrendatários, que detenham no máximo 4 módulos fiscais. Estes devem residir na propriedade ou em local próximo, possuindo uma média de 13,8 pessoas trabalhando no estabelecimento familiar. No Brasil, os agricultores familiares são trabalhadores com um baixo nível de escolaridade, que plantam produtos de subsistência, ao exemplo do arroz, feijão, milho, verduras, mandiocas, e criam pequenos animais como renda extra (CARNEIRO; MALUF, 2005).

O estado de Sergipe apesar de sua menor extensão territorial, se comparado aos outros estados federativos, vem nos últimos anos

registrando um crescimento expressivo, tornando-se em 2014 o segundo maior produtor do Nordeste, atrás apenas do estado da Bahia, com uma produção de aproximadamente 800 mil toneladas (IBGE, 2014).

Em Sergipe 54,4% dos proprietários residem na própria propriedade e 23,7% em comunidades rurais. Essas propriedades são exploradas com ajuda de membros da família e se dedicam aos cultivos do milho, feijão, mandioca e arroz, tendo ainda no oeste do estado o cultivo de algodão, (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010).

Os resíduos agrícolas são renováveis, menos dispendiosos e se apresentam em grandes quantidades, e não exigem diretamente terra arável, água abundante e nem energia para sua produção, além disso, não representam valores alimentares, sendo tanto economicamente quanto sustentavelmente viável (IOANNIDOU *et al.*, 2009). Dentro deste contexto, o sabugo é um dos resíduos obtidos da produção do milho em grão que pode retornar para o campo como forma de alimentação animal, servir de biocombustível sólido após tratamento ou uma fonte de carbono destinado a produção de produtos químicos diversos. Assim, sua extensa variedade pode contribuir como uma fonte indireta de renda para pequenas comunidades que cultivam o milho e tem no plantio sua única forma de arrecadação, a exemplo da agricultura familiar no estado de Sergipe. A palha e o sabugo do milho têm uma produção anual de 48.327.323 toneladas, o que corresponde a uma produção de resíduos de aproximadamente 5 a 8 toneladas por hectare, e um poder calorífico médio de 15,7 MJ /kg de matéria seca, o que favorece o desenvolvimento de atividades econômicas que tem como base o aproveitamento de resíduos vegetais como as biorrefinarias (Cortez *et al.*, 2008).

A EMBRAPA (2014) define biorrefinaria como responsável pelo aproveitamento da biomassa para que se consiga produtos com valores semelhantes aos dos derivados de petróleo, porém menos impactante ao meio ambiente. Essa melhor utilização da biomassa visa um uso sustentável dos sistemas integrados (matérias-primas, processos, tecnologias, produtos e resíduos) por meio de parâmetros técnicos nos quais são levados em conta os balanços de massa e de

energia, o ciclo de vida, o desenvolvimento socioeconômico regional, a geração e o consumo dos produtos e serviços de forma distribuída e a diminuição da emissão de gases do efeito estufa.

As biorrefinarias utilizam matérias primas a base principalmente de açúcares e amido oriundos de biomassa, e são capazes de convertê-las em diferentes produtos sustentáveis ou bioprodutos como: biocombustível, insumos químicos, produtos alimentícios, cosméticos, construção civil, rações e energia, com um reduzido impacto ambiental (BJÖRN; PETTERSSON, 2014; LONG *et al.*, 2016; YAZAN *et al.*, 2017).

Em países desenvolvidos e em desenvolvimento as biorrefinarias representam uma grande mobilização de recursos e esforços tanto do setor público quanto privado para o desenvolvimento desta ideia. O Brasil possui uma vantagem econômica ao implantar biorrefinarias visto que há a possibilidade de aproveitamento de sua grande disponibilidade de biomassa e de seus resíduos agrícolas e agroindustriais (palhas, bagaço, serragem), beneficiando setores da agroindústria, diminuindo importações e gerando mais empregos com a diversificação de produtos (EMBRAPA, 2014).

Assim, o presente trabalho desenvolveu um estudo de rotas logísticas considerando como exemplo de modelo o transporte do sabugo de milho para uma unidade de biorrefinaria, já que os custos com movimentações desses resíduos representam um percentual considerável nos custos de manutenção de uma estrutura fabril desse ramo.

O transporte é tido como uma das funções logísticas mais estratégicas, representando a maior parcela de custos para maioria das organizações, sendo responsável pelo desempenho em diversas dimensões do serviço ao cliente. Quando se analisa os custos das operações logísticas, nota-se que essa atividade abrange cerca de 60% das despesas logísticas, traduzindo-se em duas ou três vezes o lucro de uma companhia, como por exemplo no setor de distribuição de combustíveis (CHRISTOPHER, 2007; FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2008; SERRANO *et al.*, 2015).

Portanto, para o caso deste estudo e considerando o exemplo de sabugo do milho, através dos métodos do centro da gravidade, método do momento e do método de avaliação de fatores, foram estimadas rotas considerando a possibilidade de novas formas de transporte ou construções de entrepostos, tendo em vista a viabilidade econômica das variáveis adotadas.

Vale destacar que os principais fatores que determinam a escolha de um local para implantação de uma unidade fabril, considerando também o caso das biorrefinarias, em geral estão pautadas na capacidade instalada, disponibilidade de mão-de-obra, nível salarial, suprimentos como eletricidade, água, esgoto, telefone e incentivos fiscais. Além de fatores como proximidade a mercados, tendência de crescimento populacional, fornecimento de serviço de apoio, restrição ambiental e disponibilidade e custos do terreno, proximidade a universidades e nível de vida. Deste modo, esse estudo foi de grande importância por considerar entre as fontes de energia do Nordeste a aplicação dos resíduos obtidos pelas comunidades de agricultores familiares com a possibilidade de geração de uma nova fonte de renda e geração de empregos para a região, além da contribuição de meios alternativos sustentáveis para processos industriais com retorno social.

## **2 Metodologia**

Para o alcance dos resultados em relação aos objetivos propostos sobre a análise do potencial de biomassa e de localização para implantação de uma biorefinaria, estando esta baseada em sabugo de milho no estado de Sergipe, foram pesquisados e analisados áreas de agricultura familiar no estado de Sergipe e a mensuração dos volumes de resíduos oriundos de sabugo de milho, de acordo com a safra 2014/2015, visando verificar a disponibilidade de resíduos produzidos por essas áreas de agricultura familiar.

Uma análise em campo considerou as partes que compõem o milho e o resíduo em diferentes áreas do estado afim de se ter um resultado mais preciso acerca do potencial de geração de biomassa por aquela variedade de milho fornecida a agricultura familiar.

Considerando que os caminhões carregados cobram R\$2,00 (dois reais) por quilômetro (km) rodado dentro das estradas em Sergipe e sabendo que as estradas a serem escolhidas são as que se encontram em melhor estado de conservação, foram analisados de forma qualitativa a melhor posição para a instalação. Foram escolhidos caminhões que transportam até 15 toneladas (t) pela facilidade de encontrar o serviço de frete nesse tipo de caminhão e por ser encontrado em maior quantidade no estado.

Para a análise das variáveis foram considerados três métodos de localização: método do centro de gravidade, método do momento, e por último a avaliação de fatores, onde foi calculado os custos para transporte de matéria prima para cada um dos possíveis locais de instalação da indústria. Neste trabalho foram consideradas 31 cidades produtoras ligadas aos territórios com maior produção e suas cargas médias de produção.

- a) **Centro de Gravidade:** para o desenvolvimento do método foram utilizadas as Equações 1 e 2, onde “x” corresponde a posição da latitude e “y” corresponde a posição da longitude, com o intuito de encontrar a localidade com menor distância e menor custo. O método considera os caminhos em linha reta e não rotas como estradas ou outras definições geográficas, além de não analisar os custos operacionais. O  $\bar{x}$  é o ponto médio final da latitude após o desenvolvimento do cálculo e  $\bar{y}$  é o ponto médio final da longitude, sendo estimado as coordenadas *versus* a produção de dada unidade produtiva. A Equação (6.1) corresponde ao ponto da latitude e a Equação (6.2) corresponde ao ponto da longitude (BALLOU, 2006; BALLOU, 2007).

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{Qtde. Custo unit. } x}{\sum \text{Qtde. Custo unit}} \quad (6.1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum \text{Qtde. Custo unit. } y}{\sum \text{Qtde. Custo unit}} \quad (6.2)$$

- b) **Método do Momento:** semelhante ao método do centro da gravidade por procurar a localização com o menor custo, se difere no fato deste confrontar uma localização com todas as

demais regiões que estão dentro do projeto de escolha (VICHI, 2006; BALLOU, 2006). Para o desenvolvimento do método será analisado todos os municípios com possibilidade de instalação, tendo a distância de cada uma delas com os produtores. O custo por quilômetro rodado considerado foi de R\$ 2,00 (dois reais) e cada caminhão para este tipo de transporte foi considerado como de capacidade de 15 toneladas, resultando em um custo por tonelada por quilômetro de R\$ 0,13/T.km. Para a execução deste método foram necessárias as coordenadas de latitude e longitude das cidades e suas cargas médias ou produção. Foram analisadas para 31 cidades produtoras ligadas aos territórios com maior produção. Por meio deste método foi desenvolvido o cálculo multiplicando a latitude pela produção em toneladas de cada cidade e a longitude pela produção. Após isso, foi realizado o somatório dos resultados de cada cidade das células correspondentes a latitude x produção e o somatório das células que representam o cálculo da longitude x produção. Esses resultados foram então divididos pelo somatório da produção de todas as cidades juntas. Assim, obtém-se valores de coordenadas de latitude e longitude, essas coordenadas apontaram para uma solução ótima de instalação da indústria. Para a execução do método foi considerado o somatório do custo unitário de transporte multiplicado pela quantidade e pela distância conforme Equação (6.3):

$$\text{Método do Momento} = \text{Transporte} \times \text{Quantidade} \times \text{distância} \quad (6.3)$$

- c) **Método de Avaliação de Fatores:** foram utilizados os resultados encontrados nos dois métodos anteriormente utilizados (VICHI, 2006). No método do centro de gravidade utilizou-se o resultado ótimo encontrado no seu desenvolvimento enquanto que no método do momento utilizou-se os três melhores resultados de custos. Os fatores utilizados foram proximidade de grandes centros, o tamanho da população destas cidades e a proximidade com rodovias de grande importância. O fator tamanho da população é necessário

para análise da disponibilidade de mão de obra para a indústria, supondo que em uma área com elevado número de habitante possa se obter maior disponibilidade de mão de obra qualificada dado a maior possibilidade de instituições de ensino diversos.

Assim, cabe ressaltar que a pesquisa do ponto de vista metodológico caracterizou-se como qualitativa e quantitativa, segundo Marconi e Lakatos (2001) e Gil (2002), de natureza descritiva, tendo como delineamento o estudo de caso, conforme Richardson (1999), sobre a análise do potencial de biomassa e de localização para implantação de uma biorrefinaria baseada em sabugo de milho no estado de Sergipe.

### **3 Resultados e discussão**

Segundo dados da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO, 2015), responsável pelo programa de distribuição de sementes na agricultura familiar, por intermédio da Secretaria de Estado da Agricultura, programas voltados para o pequeno produtor visa fortalecer a agricultura familiar, beneficiando 37.176 agricultores familiares em mais de 65 municípios sergipanos, registrando em 2014 R\$ 2,5 milhões na aquisição total de 500 toneladas de sementes, das quais 400 toneladas foram de milho.

A semente utilizada foi da variedade Catingueiro desenvolvido pela Embrapa (BR catingueiro) e possui ciclo de produção precoce e produtividade superior à das culturas tradicionais. Desde 2005 esta semente foi declarada de interesse social pela Embrapa. Esta semente é uma alternativa para os produtores rurais do semiárido reduzirem riscos de frustração da safra, numa região que possui regime de chuvas irregulares. Assim, sua maior vantagem é que os grãos atingem a maturidade em apenas 90 dias, enquanto o ciclo de desenvolvimento das variedades tradicionais é de 130 a 150 dias.

A EMDAGRO contou com a ajuda da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS) para

distribuir as sementes certificadas de milho. Com isso foram beneficiadas 16.546 famílias do alto sertão, 3.764 do médio sertão, 1.453 do leste sergipano, 2.674 do baixo São Francisco, 2.695 do sul sergipano, 4.590 do agreste central, 4.452 do centro sul, 1.002 da grande Aracaju. O saco de milho distribuído possui cerca de 40 kg e cada saco contém cerca de 60.000 sementes, sendo essa quantidade suficiente para o preparo de 1 hectare de milho. Assim dividindo a quantidade recebida por território pela quantidade em cada saca (40 kg) pode-se encontrar a quantidade de sacos e conseqüentemente estimar a quantidade de hectares plantados.

Ainda de acordo com a EMDAGRO (2015), o total de hectares plantados em 2014 pela agricultura familiar contabilizou 5.722 hectares. Com destaque para as regiões do Alto Sertão, Médio Sertão, Agreste Central e Centro Sul do estado, totalizando 31 cidades, sendo estas responsáveis por cerca de 81% da produção estadual da agricultura familiar, tendo nestas regiões sido plantado cerca de 245.565.000 sementes, e por isso sendo escolhidas para análise de uma possível implantação de uma biorrefinaria segundo objetivo deste trabalho.

Como o objeto de estudo visou o transporte dos resíduos do cultivo do milho a uma biorrefinaria, se faz necessário conhecer o potencial das cidades a partir dos hectares disponíveis para este plantio e as sementes plantadas. Assim, temos o rendimento de cada área pertencentes aos maiores territórios produtores (Tabela 6.1).

Como a proposta deste estudo esteve relacionada a análise de viabilidade econômica no transporte de sabugo de milho para uma unidade de biorrefinaria no estado de Sergipe, foi necessário a identificação da melhor localização por intermédio de métodos logísticos de transporte conforme indicado na metodologia.

**Tabela 6.1 – Quantidade cultivada de milho por região**

Região	Município	Hecs plantado	Sementes distribuídas	Sementes germinadas	Sabugo (kg)	Palha (kg)
Alto Sertão	Canindé	518	31.080.000	23.310.000	10.256.400	6.060.600
	Gararu	625	37.500.000	28.125.000	12.375.000	7.312.500
	Monte Alegre	453	27.150.000	20.362.500	8.959.500	5.294.250
	N. S. Lurdes	150	9.000.000	6.750.000	2.970.000	1.755.000
	N. S. Glória	606	36.330.000	27.247.500	11.988.900	7.084.350
	Porto da Folha	700	42.000.000	31.500.000	13.860.000	8.190.000
	Poço Redondo	1120	67.185.000	50.388.750	22.171.050	13.101.075
Médio Sertão	Aquidabã	222	13.305.000	9.978.750	4.390.650	2.594.475
	Feira Nova	80	4.800.000	3.600.000	1.584.000	936.000
	Cumbe	150	9.000.000	6.750.000	2.970.000	1.755.000
	Gracho Cardoso	116	6.945.000	5.208.750	2.291.850	1.354.275
	Itabi	200	12.000.000	9.000.000	3.960.000	2.340.000
	N. S. Dores	120	7.200.000	5.400.000	2.376.000	1.404.000
Agreste Central	Campo do Brito	38	2.250.000	1.687.500	742.500	438.750
	COOPERTREZE	38	2.250.000	1.687.500	742.500	438.750
	Frei Paulo	150	9.000.000	6.750.000	2.970.000	1.755.000
	Itabaiana	3	150.000	112.500	49.500	29.250
	Macambira	50	3.000.000	2.250.000	990.000	585.000
	Malhador	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	Moita Bonita	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	N. S. Aparecida	150	9.000.000	6.750.000	2.970.000	1.755.000
	Pedra Mole	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	Pinhão	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	Ribeirópolis	150	9.000.000	6.750.000	2.970.000	1.755.000
	São Domingos	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	S. Miguel Aleixo	50	3.000.000	2.250.000	990.000	585.000
Centro Sul	Lagarto	170	10.200.000	7.650.000	3.366.000	1.989.000
	Poço Verde	183	10.950.000	8.212.500	3.613.500	2.135.250
	Riachão	75	4.500.000	3.375.000	1.485.000	877.500
	Simão Dias	450	27.000.000	20.250.000	8.910.000	5.265.000
	Tobias Barreto	182	10.935.000	8.201.250	3.608.550	2.132.325

Fonte: EMDAGRO (2015).

### 3.1 Análise pelo Método do Centro da Gravidade

Para o dimensionamento das rotas foi necessário a definição das coordenadas latitudinais e longitudinais e seus respectivos volumes de produção de cada região para em seguida calcular as relações entre

produção e coordenadas, conforme Equações (6.1) e (6.2) e (Tabela 6.2).

**Tabela 6.2 – Cálculo pelo método do Centro de Gravidade**

<b>Municípios fornecedores</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Produção(T)</b>	<b>latitude x produção</b>	<b>longitude x produção</b>
<b>Canindé</b>	-9,65	-37,86	10256,4	-98974,26	-388307,3
<b>Gararu</b>	-9,96	-37,08	12375	-123255	-458865
<b>Monte Alegre</b>	-10,02	-37,56	8959,5	-89774,19	-336518,82
<b>N. S. Lurdes</b>	-10,08	-37,05	2970	-29937,6	-110038,5
<b>N. S. Glória</b>	-10,21	-37,41	11988,9	-122406,7	-448504,75
<b>Porto da Folha</b>	-9,92	-37,27	13860	-137491,2	-516562,2
<b>Poço Redondo</b>	-9,8	-37,68	22171,05	-217276,3	-835405,16
<b>Aquidabã</b>	-10,27	-37,01	4390,65	-45091,98	-162497,96
<b>Feira Nova</b>	-10,26	-37,31	1584	-16251,84	-59099,04
<b>Cumbe</b>	-10,35	-37,11	2970	-30739,5	-110216,7
<b>Gracho Cardoso</b>	-10,22	-37,19	2291,85	-23422,71	-85233,902
<b>Itabi</b>	-10,12	-37,1	3960	-40075,2	-146916
<b>N. S. Dores</b>	-10,49	-37,18	2376	-24924,24	-88339,68
<b>Campo do Brito</b>	-10,76	-37,49	742,5	-7989,3	-27836,325
<b>COOPERTREZE</b>	-10,13	-36,92	742,5	-7521,53	-27413,1
<b>Frei Paulo</b>	-10,55	-37,53	2970	-31333,5	-111464,1
<b>Itabaiana</b>	-10,68	-37,42	49,5	-528,66	-1852,29
<b>Macambira</b>	-10,66	-37,53	990	-10553,4	-37154,7
<b>Malhador</b>	-10,66	-37,3	1485	-15830,1	-55390,5
<b>Moita Bonita</b>	-10,57	-37,35	1485	-15696,45	-55464,75
<b>N. S. Aparecida</b>	-10,38	-37,44	2970	-30828,6	-111196,8
<b>Pedra Mole</b>	-10,62	-37,68	1485	-15770,7	-55954,8
<b>Pinhão</b>	-10,56	-37,72	1485	-15681,6	-56014,2
<b>Riberopolis</b>	-10,53	-37,43	2970	-31274,1	-111167,1
<b>São Domingos</b>	-10,79	-37,56	1485	-16023,15	-55776,6
<b>S. Miguel do Aleixo</b>	-10,38	-37,38	990	-10276,2	-37006,2
<b>Lagarto</b>	-10,91	-37,67	3366	-36723,06	-126797,22
<b>Poço Verde</b>	-10,72	-38,16	3613,5	-38736,72	-137891,16
<b>Riachão</b>	-11,08	-37,73	1485	-16453,8	-56029,05
<b>Simão Dias</b>	-10,73	-37,81	8910	-95604,3	-336887,1
<b>Tobias Barreto</b>	-11,18	-37,99	3608,55	-40343,59	-137088,81

O somatório das produções em toneladas foi de 140.985,5 toneladas nas 31 cidades. E o somatório da latitude multiplicada pela produção foi de - 1.436.789,4 e para a longitude multiplicada pela produção foi de - 5.284.889,8. Assim, para a coordenada da latitude temos:

$$C_x = - 1.436.789,4 / 140.985,5 \rightarrow C_x = -10,1910$$

$$C_y = - 5.284.889,8 / 140.985,5 \rightarrow C_y = -37,4852$$

A partir destas coordenadas foi possível localizar a cidade que se torna a solução ótima deste método. Esta localização encontra-se dentro do território de Nossa Senhora da Glória, caminho para Monte Alegre, cidade pertencente ao território do Alto Sertão, território este que é responsável pela maior produção de milho do estado. Ao analisar o mapa do estado de Sergipe pode-se notar que esta é uma cidade mais próxima do agreste e do centro sul sergipano, que são dois territórios de grande produção. E sua proximidade com cidades com alta produção dentro destes dois outros territórios favoreceu a escolha do município como solução ótima.

### **3.2 Análise pelo Método do Momento**

O método do momento busca estabelecer uma relação entre os custos de transporte (R\$), a quantidade a ser transportada (volume gerado em toneladas) e a distância percorrida (km), assim por intermédio das distâncias entre as cidades e o volume (Tabela 6.3) considerou inicialmente o município de Canindé no Alto sertão sergipano para ilustrar os cálculos para os demais municípios.

**Tabela 6.3 – Método do momento para Canindé**

Municípios	Distância de Canindé	Peso de sabugo produzido (T)	Municípios	Distância de Canindé	Peso de sabugo produzido (T)
Gararu	113	12375	Itabaiana	142	49,5
Monte Alegre	59	8959,5	Macambira	148	990
N. S. Lourdes	104	2970	Malhador	150	1485
N. S. Glória	88	11988,9	Moita Bonita	134	1485
Porto da Folha	67	13860	N. S. Aparecida	116	2970
Poço Redondo	23	22171,05	Pedra Mole	147	1485
Aquidabã	127	4390,65	Pinhão	148	1485
Feira Nova	94	1584	Riberopolis	120	2970
Cumbe	119	2970	São Domingos	163	1485
Graccho Cardoso	108	2291,85	S. Miguel do Aleixo	106	990
Itabi	127	3960	Lagarto	181	3366
N. S. Dores	125	2376	Poço Verde	217	3613,5
Campo do Brito	152	742,5	Riachão	200	1485
COOPERTREZE	152	742,5	Simão Dias	171	8910
Frei Paulo	140	2970	Tobias Barreto	232	3608,55

Assim a aplicação da Equação (6.3) para a cidade de Canindé (como exemplo de aplicação) de acordo com os dados apresentados e adotando o custo por tonelada por quilômetro em R\$ 0,13 (R\$ 0,13/T.km), resultou em:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{Canindé}} &= (0,13 \times 113 \times 12375) + (0,13 \times 59 \times 8959,5) + (0,13 \times 104 \times 2970) + (0,13 \times 88 \times 11988,9) + (0,13 \times 67 \times 13860) + (0,13 \times 23 \times 22171,05) \\
 &+ (0,13 \times 127 \times 4390,65) + (0,13 \times 94 \times 1584) + (0,13 \times 119 \times 2970) + (0,13 \times 108 \times 2291,85) + (0,13 \times 127 \times 3960) + (0,13 \times 125 \times 2376) \\
 &+ (0,13 \times 152 \times 742,5) + (0,13 \times 152 \times 742,5) + (0,13 \times 140 \times 2970) + (0,13 \times 142 \times 49,5) + (0,13 \times 148 \times 990) + (0,13 \times 150 \times 1485) \\
 &+ (0,13 \times 134 \times 1485) + (0,13 \times 116 \times 2970) + (0,13 \times 147 \times 1485) + (0,13 \times 148 \times 1485) + (0,13 \times 120 \times 2970) + (0,13 \times 163 \times 1485) + (0,13 \times 106 \times 990) \\
 &+ (0,13 \times 181 \times 3613,5) + (0,13 \times 217 \times 3613,5) + (0,13 \times 200 \times 1485) + (0,13 \times 171 \times 8910) + (0,13 \times 232 \times 3608,55) \\
 C_{\text{Canindé}} &= \text{R\$ } 2.038.956,78
 \end{aligned}$$

A definição dos custos para os demais municípios ocorreu de forma semelhante ao demonstrado para o município de Canindé e pode ser observado na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4 – Custo dos Momentos para diferentes municípios do estado**

Municípios	Custos em Reais (R\$)	Municípios	Custos em Reais (R\$)
Custo de N. S. Glória	1.097.637,90	Custo de Itabaiana	1.643.143,14
Custo de Monte Alegre	1.144.515,59	Custo de N. S. Lurdes	1.672.911,45
Custo de Feira Nova	1.239.187,31	Custo de Macambira	1.692.082,61
Custo de S. Miguel do Aleixo	1.242.725,27	Custo de Campo do Brito	1.727.191,97
Custo de Gracho Cardoso	1.266.640,30	Custo de Pinhão	1.759.035,56
Custo de Porto da Folha	1.305.856,48	Custo de Pedra Mole	1.793.773,62
Custo de Riberopolis	1.321.545,01	Custo de Malhador	1.794.472,47
Custo de N. S. Aparecida	1.358.817,82	Custo de São Domingos	1.906.518,69
Custo de Poço Redondo	1.376.224,49	Custo de COOPERTREZE	1.939.526,37
Custo de Gararu	1.393.819,07	Custo de Canindé	2.038.956,78
Custo de Cumbe	1.466.393,00	Custo de Simão Dias	2.079.435,89
Custo de N. S. Dores	1.471.412,94	Custo de Lagarto	2.117.221,82
Custo de Moita Bonita	1.532.064,11	Custo de Riachão	2.523.294,77
Custo de Aquidabã	1.546.053,15	Custo de Poço Verde	2.853.082,73
Custo de Itabi	1.549.402,57	Custo de Tobias Barreto	2.962.836,81
Custo de Frei Paulo	1.615.459,13	-	-

O maior custo dentre os apresentados pela Tabela 6.4 foi para o município de Tobias Barreto seguido por Poço Verde, que apresentaram valores duas vezes maiores do que os quatro menores custos deste modelo. O menor custo encontrado foi para Nossa Senhora da Glória, seguido por Monte Alegre e Feira Nova. O território do Alto Sertão demonstrou bons resultados e se destacou. Cidades que circundam Glória apresentaram bons resultados.

Desenvolvendo o próximo métodos será possível uma maior referência geográfica da localização do melhor ponto a se instalar a biorrefinaria objeto de estudo deste trabalho.

### 3.3 Análise pelo Método de Avaliação de Fatores

A proximidade de grandes centros é um fator importante para poder escoar qualquer tipo de produção, além da proximidade de rodovias que favorecem o escoamento dos produtos e suprimento de novas matérias-primas.

Para considerar o impacto desses fatores sobre a decisão de escolha de localizar uma unidade fabril foram atribuídas notas de 1 a 5 para cada fator, onde 1 representou desfavorável e 5 como resultado muito favorável. Ao final somado a pontuação efetuada para cada um dos municípios foi possível uma solução mais adequada.

Os municípios contemplados nesse método foram Nossa Senhora da Glória, Feira Nova e Monte Alegre. Nossa Senhora da Glória apareceu duas vezes por dois métodos, tanto no método do centro de gravidade quanto no método do momento, esta cidade obteve o melhor resultado. Assim São Miguel do Aleixo, foi o quarto melhor resultado no método do Momento para que se possam ter quatro cidades durante a execução do método de avaliação de fatores. O método da avaliação de fatores é representado na Tabela 6.5.

No fator “proximidade a grandes centros” foram relacionadas as distâncias das cidades onde a Biorrefinaria poderia se instalar com grandes capitais próximas a elas, como Aracaju-SE, Salvador-BA e Maceió-AL. Deste modo, cidades como Feira Nova e São Miguel do Aleixo apresentaram empate nesse quesito, sendo que São Miguel do Aleixo encontrou-se por pouca diferença na frente de Feira Nova nas proximidades com Aracaju-SE e Salvador-BA.

Feira Nova encontrou-se mais próximo da capital alagoana Maceió. Nossa Senhora da Glória obteve um rendimento abaixo das cidades de Feira Nova e São Miguel do Aleixo, porém não se encontrou-se muito distante desses principais pontos, e Monte Alegre obteve o menor rendimento considerando a análise dessa variável. As distâncias das cidades escolhidas com as três capitais mais próximas foram apresentadas na Tabela 6.6.

**Tabela 6.5 – Método de avaliação por fatores**

Fatores	N.S. de Glória	Monte Alegre	Feira Nova	São Miguel do Aleixo
Proximidade de grandes centros	4	3	5	5
Tamanho da população	5	3	2	1
Rodovias que ligam a cidade	5	4	3	2
<b>Somatório (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>8</b>

**Tabela 6.6 – Distâncias das cidades escolhidas para grandes centros.**

Municípios sergipanos	Distância entre os municípios e as capitais consideradas		
	<u>Aracaju-SE</u>	<u>Salvador-BA</u>	<u>Maceió-SE</u>
<b>N. S. Gloria</b>	126	392	257
<b>Monte Alegre</b>	156	421	285
<b>Feira Nova</b>	104	408	243
<b>São Miguel do Aleixo</b>	95	381	262

As menores distâncias entre os municípios ocorreram em relação a capital sergipana, entretanto cabe destacar que pode ainda ser considerado outros fatores como a importância econômica de cada estado, os incentivos fiscais e o potencial de mercado consumidor de cada uma das capitais, não avaliados neste trabalho.

Para o fator “tamanho da população” foram utilizados dados do censo demográfico do IBGE 2010, onde a população de Glória contou com 32.497 habitantes, Monte Alegre com 13.627 habitantes, Feira Nova com 5.324 habitantes e a população de São Miguel do Aleixo com 3.698 habitantes. A densidade demográfica foi de 43 habitantes por quilômetro quadrado (Hab/km<sup>2</sup>) para Glória, de 33 habitantes por quilômetro quadrado para Monte Alegre 28 habitantes por quilômetro quadrado para Feira Nova e de 26 habitante por quilômetro quadrado para São Miguel do Aleixo. Nossa Senhora da Glória teve um rendimento de destaque nestes critérios. As demais cidades tiveram suas avaliações mais prejudicadas conforme redução de seus números de habitantes e densidade demográfica.

No último fator “rodovias que ligam a cidade”, a melhor nota obtida foi a de Nossa Senhora da Glória, interceptada por três rodovias estaduais a SE-175, a SE-230 e a SE-171. O desempenho de Monte Alegre e Feira Nova ficaram abaixo mesmo sendo interceptadas por duas rodovias. O fato é que Monte Alegre recebeu uma classificação maior por possuir rodovias que a ligam diretamente com cidades de maior volume de produção como Poço Redondo, pela SE-230 e Porto da Folha, pela SE -317, enquanto que Feira Nova é ligada diretamente em suas estradas a cidades de menor expressão na produção como é o caso de Graccho Cardoso e São Miguel do Aleixo, pela SE-170, e São Miguel do Aleixo recebeu a menor nota por apresentar somente uma rodovia, a SE-170 que o liga diretamente com cidade de menor expressão.

Portanto, a análise de viabilidade de localização de uma unidade de biorrefinaria pelos métodos logísticos considerados, resultou geograficamente (coordenadas:  $C_x = -10,1910$ ;  $C_y = -37,4852$ ) e financeiramente (custo considerando as distâncias R\$ 1.097.637,90), no município de Nossa Senhora da Glória. Pelo método dos fatores, ponderando critérios como: proximidade de grandes centros, tamanho da população da região e rodovias de acesso, reforçou os resultados apontados nos métodos anteriores e julgou que o município do alto sertão sergipano reúne condições para a instalação de uma biorrefinaria baseada em sabugo de milho.

## **4 Conclusões**

Nesse estudo foram levantados, como exemplo de modelo, o potencial do estado de Sergipe para receber uma biorrefinaria baseada em sabugo de milho considerando a disponibilidade de matéria prima, baixo custo de transporte, devido as pequenas distâncias a serem percorridas, a infraestrutura de estradas para acesso e o tamanho populacional.

O estado de Sergipe vem se destacando no cenário nacional como um dos estados com maiores cultivos de milho e o segundo maior produtor do Nordeste. Na agricultura familiar as práticas do governo estadual alinhados ao governo federal veem incentivam à produção

agrícola com o fornecimento de sementes, adubos e preparo do solo para o plantio, tornando esse setor expressivo na agricultura do milho do estado.

Após conhecer a capacidade do estado sergipano foram escolhidos métodos para analisar um potencial local para instalação da biorrefinaria, sendo o método do centro de gravidade, que utilizou a relação das coordenadas de latitude e longitude com a produção de cada área, o método do momento que revelou os custos de áreas através das distâncias e suas produções, sendo por último utilizado o método de avaliação por fatores, que analisou fatores previamente escolhido como áreas apontadas como melhores para a instalação da biorrefinaria. Com esses métodos foi possível determinar a localização mais segura e precisa para a implantação da biorrefinaria dentro do território de Nossa Senhora de Glória.

Nossa Senhora da Glória é uma cidade do Alto Sertão sergipano que possui destaque na produção do milho e se encaixa em uma posição estratégica do estado, próximo de grandes centros produtores e interceptada por rodovias estaduais, que favorecem o escoamento de produtos beneficiados para grandes centros consumidores como as capitais do estado da Bahia e de Alagoas, ou até mesmo a própria capital do estado sergipano. Nossa Senhora de Glória possui um elevado número de habitantes e uma densidade demográfica positiva para a implantação de uma grande instalação industrial, dentro das tendências da “indústria limpa”, que utiliza recursos renováveis como a biomassa para diferentes processos e obtenção de produtos com maior valor de mercado.

Outras cidades do estado de Sergipe também apresentam bom rendimento e podem vir a ser cotadas como ponto de instalação de unidades fabris que tem como principal matéria prima a transformação da biomassa e o interesse em agregar valor às cadeias produtivas e reduzir os impactos ambientais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPITEC/SE por incentivos a pesquisas relacionados ao tema.

## Referências bibliográficas

- ALMEIDA, D.C.; JESUS, E.S. Agricultura familiar em Sergipe. **Revista eletrônica da Faculdade José Augusto Vieira**. Março, 2013.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. Tradução: Rubenich, R. 5ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BALLOU, R.H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais, distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2007.
- BJÖRN, S.; PETTERSSON, K. **Systems Perspectives on Biorefineries**. Chalmers University of Technology. Göteborg, 2014.
- CARNEIRO M. J., MALUF R. S.; Multifuncionalidade da agricultura familiar. **Agricultura Familiar e Desenvolvimento Territorial- Contribuições ao Debate, Brasília: Universidade de Brasília- Centro de Estudo Avançados Multidisciplinares-Núcleo de Estudos Avançados**, v. 5, n.17 168 p. 2005.
- CHRISTOPHER M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- CORTEZ, L.A.B., **Biomassa para energia**. Disponível em: <<http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf>> Acesso: 10 de dezembro de 2014.
- CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; AYARZA, J.A.C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; GOMEZ, E.O. (org). **Biomassa para energia**. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.
- EMBRAPA. Cartilha da EMBRAPA agroenergia. Disponível em: <[ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/.../1/biorrefinaria-modificado-web.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/.../1/biorrefinaria-modificado-web.pdf)>. Acesso: 18 de outubro de 2014.
- EMDAGRO. Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe Disponível em <http://www.emdagro.se.gov.br/>. Acesso em 11/2015.
- FLEURY, P.F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K.F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.
- IBGE. Censo 2010, Observatório de Sergipe. Disponível em: <<http://www.observatorio.se.gov.br/geografia-e-cartografia-de-sergipe.html>> Acesso em: 22 de dezembro de 2014.
- IOANNIDOU O., ZABANIOTOU A., ANTONAKOU E. V., OAOZISI K. M. , LAPPAS A. A., ATHANASSIOU C.; Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations. **Renewable and Sustainable Energy Review**, volume 13, issue 4, pp.750-765, may 2009.
- LAZZAROTTO, J.J.; HIRAKURI, M.H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2010.
- LONG A. H., SHAO H. B., LIU L., LIU L. P., LIU A. P.; Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery. **Renewable and Sustainable Energy Review**, volume 54, pp. 1382-1388, February 2016.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Metodologia do Trabalho Científico**. Editora Atlas, São Paulo 2001.

## ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA BIORREFINARIA NO ESTADO DE SERGIPE COM BASE EM MÉTODOS LOGÍSTICOS

- MEDINA, G., ALMEIDA, CAMILA, NOVAES, EVANDRO, GODAR, JAVIER, POKORNY, BENNO. **Development Conditions for Family Farming: Lessons From Brazil**, World Development, Volume 74, October 2015, pp.386-396.
- RICHARDSON, Roberto J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. Editora Atlas, São Paulo 2009.
- SERRANO, A.; FAULIN, J.; ASTIZ, P.; SÁNCHEZ, M.; BELLOSO, J. Locating and designing a biorefinery supply chain under uncertainty in Navarre: a stochastic facility location problem case. **18th Euro Working Group on Transportation**, Delft, The Netherlands, 2015.
- VICHI, M.C.B. Gestão de suprimentos: Análise de eficiência do modelo de avaliação de fornecedores na 3M do Brasil. [Tese], São Paulo - SP, Fundação Getúlio Vargas, 2006.
- YAZAN D.M., MANDRAS G., GARAU G.; Environmental and economic sustainability of integrated production in bio-refineries: The thistle case in Sardinia. **Renewable Energy**, volume 102, part B, pp. 349-360, march 2017, in press.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 7

# PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUO DE CULTIVO DE GIRASSOL: PERSPECTIVA PARA ENERGIAS DO NORDESTE

---

Leonel Altamiro Barros<sup>1</sup>; Isabela Maria Monteiro Vieira<sup>1</sup>; Osiris Ashton Vital Brazil; Denise Santos Ruzene<sup>2</sup>; Daniel Pereira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*

## **1 Introdução**

Resíduos agrícolas e/ou agroindustriais de natureza lignocelulósica são abundantes em todo o mundo e atualmente há uma preocupação mundial em aproveitá-los como matéria-prima para produção de diferentes produtos ou bioprodutos. Processos que utilizam esses resíduos como matéria-prima podem minimizar a falta de alimentos, resolver problemas relacionados ao desperdício e diminuir a dependência vigente por combustíveis fósseis, isso por meio do fornecimento conveniente e renovável de uma fonte de energia na forma de carboidratos (OJUMU *et al.*, 2003). Assim, resíduos lignocelulósicos constituem uma grande fonte de recursos renováveis capazes de produzir produtos químicos e biológicos como papel, biocombustíveis, ração humana e animal, entre outros (SÁNCHEZ, 2008). O Brasil dispõe de uma grande variedade de resíduos agrícolas e agroindustriais provindos do cultivo rural e de atividades industriais realizadas com milho, cana-de-açúcar, soja, girassol, entre outros, sendo o bioprocessamento desses materiais de interesse econômico e social (RAMOS, 2000).

Dentro deste contexto, há basicamente três tipos de polímeros que fazem parte da composição dos materiais lignocelulósicos, a saber: celulose, hemicelulose e lignina. A celulose consiste em um polímero linear formado por várias unidades de glicose ligadas entre si; a hemicelulose é um polímero ramificado composto de açúcares, tais como pentoses e hexoses enquanto que a lignina é formada por um polímero fenólico ramificado com estrutura complexa constituída de

álcoois fenilpropanóides que podem estar associados com celuloses e proteínas (FENGEL; WEGENER, 1983). O componente, em geral, mais abundante na estrutura lignocelulósica, constituindo até 60% de tal estrutura, é a celulose, contudo, ressalta-se que a composição e as porcentagens de celulose, hemicelulose e lignina sofrem variação dependendo da espécie da planta (PEREZ *et al.*, 2002). Os elementos constituintes dos resíduos lignocelulósicos são passíveis de isolamento e posterior uso por meio de etapas de pré-tratamentos físicos, químicos e/ou biológicos.

O girassol de nome científico *Helianthus annuus* é uma planta anual que teve o Peru como sendo o seu local de origem, porém, pesquisas arqueológicas revelaram o seu uso por índios norte-americanos por volta de 3000 anos a.C. (SELMECZI-KOVACS, 1975). No Brasil o girassol foi introduzido no século XIX pelos colonos europeus (RIBEIRO, 2008) e se adaptou a diferentes condições podendo ser cultivado em diferentes regiões do país (LEITE *et al.*, 2007). A planta possui altura de até três metros, caule reto, folhas largas, flores, que se abrem no verão, onde na região interna dessas flores há uma grande quantidade de sementes; sendo empregado quase em sua totalidade já que sua flor pode ser comercializada como flor de corte possuindo características ornamentais, seu fruto (semente) como ração, fonte de extração de óleo comestível ou para produção de biocombustível, e seu caule na produção de bioetanol, cosméticos, entre outros produtos industriais (BALMÉ, 2004).

Segundo dados da *United States Department of Agriculture* (USDA, 2015), a produção mundial de girassol em 2015 foi de 2,92 milhões de libras, um aumento de 32% se comparada a produção de 2014. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos ainda aponta a Ucrânia como o maior produtor de óleo de girassol no mundo com uma produção de 4,2 milhões de toneladas no último ano o que significa 29% de toda produção mundial e aponta a União Europeia como o maior consumidor alcançando patamares de consumo de 3,8 milhões de toneladas para safra 2015/16. No cenário nacional brasileiro, a cultura do girassol vem tornando-se expressiva devido a qualidade do óleo comestível extraído das sementes e ao aproveitamento dos subprodutos

gerados em rações para animais sendo uma alternativa econômica aos sistemas de cultivo (BACKES *et al.*, 2008; PORTO *et al.*, 2007) além da possibilidade do aproveitamento dos resíduos para fabricação de biodiesel (YOKOMIZO, 2003). Todavia, a produção de girassol no Brasil tem variado tanto na área quanto na quantidade, por ser uma cultura caracterizada como safrinha, ainda não se estabelecendo claramente dentro das estratégias de produção agrícola dos agronegócios (LAZZAROTTO *et al.*, 2005).

No Nordeste brasileiro existem boas condições para o cultivo do girassol, por este, se adequar bem a agricultura familiar e ter perspectivas de uma melhor exploração futura (CARVALHO *et al.*, 2008). Além disso, em 2006 e 2007, as pesquisas desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) chegaram a produtividades superiores aos 3.000 kg por hectare na região agreste em diferentes estados do Nordeste (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Em Sergipe, o plantio de girassol iniciou-se em 2008 por meio de agricultura familiar, sendo o seu fomento realizado pela Rede Sergipe Biodiesel, coordenada pelo Parque Tecnológico de Sergipe (VITAL BRAZIL *et al.*, 2008; 2009). A EMBRAPA estuda a produção do girassol no estado de Sergipe desde 2007 e vem obtendo resultados em torno de 2000 kg.ha<sup>-1</sup>, superior à média nacional de 1500 kg.ha<sup>-1</sup> (CARVALHO *et al.*, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2011).

O cultivo do girassol seja no Brasil ou em outros países enfrenta uma grande problemática relacionada aos resíduos gerados após a colheita, que são normalmente queimados, e causam um impacto de 3-7 toneladas de material seco por hectare no meio ambiente (VAITHANOMST *et al.*, 2009; DÍAZ *et al.*, 2011). Dentre os resíduos gerados têm-se o caule do girassol.

A botânica, ciência que estuda as plantas, em termos gerais e de acordo com alguns autores, define o talo como sendo “o prolongamento de uma planta; caule”. Por outro lado quando menciona-se o termo haste, esta nomenclatura faz referência a um dos tipos de caule encontrados na natureza quando os mesmos são classificados em relação ao habitat da planta: caules aéreos, caules subterrâneos, caules aquáticos, onde haste é um caule aéreo (AGAREZ, 1994). Ainda

segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, haste é um termo geral usado para designar um caule que consiste na parte que liga a raiz e as folhas. Devido ao termo caule ser mais utilizado de forma geral, o mesmo foi empregado neste trabalho quando se desejava mencionar o termo talo ou haste ou o próprio caule de girassol.

Assim, o caule de girassol pode ser separado, para caracterização, em duas partes: uma externa composta por fibra que equivale a 90% de toda a massa e outra interna formada pela medula que equivale aos 10% restante (MARECHAL; RIGAL, 1999). Sua altura varia de 60 a 220 cm, e seu diâmetro de 1,8 e 5 cm, sendo a porção mais próxima à superfície do solo mais espessa e com pouca ou nenhuma pilosidade. Além disso, o caule é a parte do girassol que mais influência no comportamento da curva de acúmulo de matéria seca (ROSSI, 1998).

Um estudo realizado em 2008 pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL) determinou a composição do caule do girassol *in natura* e constatou valores de 34,4% de celulose, 20,1% de hemicelulose e 29% de lignina baseado em 100 gramas de peso seco. Contudo, várias caracterizações da composição lignocelulósica do caule de girassol foram feitas no decorrer dos anos, e em diferentes locais e origens. Marechal e Rigal (1999) encontraram um percentual de cerca de 41% de celulose, 32% de hemicelulose, 17% de lignina e 10% de cinzas, ácidos urônicos, entre outros. Caparrós *et al.* (2008) fizeram procedimento semelhante com foco na produção de polpa de papel e constataram uma composição para glicose de 33,8%, xilose de 23,9%, arabinose de 0,37%, grupos acetil de 4,32%, e lignina de 19,9%. Eom e Yu (2015) fizeram a caracterização do caule por meio de tratamento hidrotérmico a 180 e 200°C com subsequente hidrólise enzimática e constataram  $35,8 \pm 0,5$  g de celulose como glicose,  $19,7 \pm 0,1$  g de hemicelulose em sua biomassa incluindo a soma de xilose, galactose e manose em g por 100 g de biomassa seca.

Os caules de girassol não possuem nenhuma aplicação real na agricultura sendo utilizados como fertilizante natural, para alimentação animal ou para produção de combustíveis (SUN *et al.*, 2013; CHEN; LU, 2006), mas também podem servir como matéria-prima para

produção de açúcares (MARTÍNEZ *et al.*, 2012), antioxidantes (AKPINAR *et al.*, 2010), isolantes (BINICI *et al.*, 2014; MATI-BAOUCHE *et al.*, 2014), papel (CAPARRÓS *et al.*, 2008) e para fitorremediação de solos (LIN *et al.*, 2009; TURGUT *et al.*, 2004), entre outros aplicações.

No tocante a produção de combustíveis, a energia da biomassa torna-se uma das soluções alternativas ao problema da diminuição progressiva de combustíveis fósseis (VECCHIA, 2010). A produção global de bioetanol e o seu consumo tendem a aumentar de 93 a 159 bilhões de litros entre os anos de 2010 e 2019, o que corresponde a uma taxa de crescimento anual de 6,2%. No que diz respeito ao comércio, a projeção é que as trocas mundiais de bioetanol devam crescer 11% por ano nesse mesmo período, chegando aproximadamente um volume de 15 milhões de litros (EUROPEAN COMMISSION, 2010). Além disso, dois terços das reservas comprovadas de combustíveis fósseis não serão exploradas até 2050, a fim de manter a temperatura global, aumentando ainda mais a necessidade de combustíveis renováveis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012). Por outro lado, a produção de etanol a partir de biomassa vem crescendo como uma das mais importantes tecnologias para o desenvolvimento sustentável de combustíveis sendo o caule de girassol uma potencial matéria-prima para a produção de biocombustível (SUKUMARAN *et al.*, 2009; BONILLA *et al.*, 1989; JIMÉNEZ; BONILLA, 1993; NORTH DAKOTA STATE UNIVERSITY, 2007; VAITHANOMST *et al.*, 2009).

Entretanto, para o alcance na obtenção de biocombustíveis por biomassa lignocelulósica devem ser feitos pré-tratamentos no caule de girassol para que sejam separados ou disponibilizados os açúcares da estrutura lignocelulósica. Esses processos são importantes já que aumentam a suscetibilidade da celulose à hidrólise e facilitam assim a solubilização da lignina que por sua vez irá possibilitar a abertura da estrutura celulósica e a remoção das interações secundárias entre as cadeias de glicose que é um pré-requisito para o melhor desempenho dos processos seguintes (OJUMU *et al.*, 2003). Entre esses pré-tratamentos destacam-se principalmente os pré-tratamentos

hidrotérmicos (EOM; YU, 2015; JUNG *et al.*, 2013; DÍAZ *et al.*, 2011; CAPARRÓS *et al.*, 2007) e a hidrólise enzimática ou sacarificação (EOM; YU, 2015; JUNG *et al.*, 2013; DÍAZ *et al.*, 2011; RUIZ *et al.*, 2007; SHARMA *et al.*, 2002).

Além do bioetanol, o conteúdo elevado de celulose e hemicelulose encontrado no caule de girassol, atribui a essa matéria-prima um forte potencial para produção de biometano (ZIEBELL *et al.*, 2013). O biometano é uma fonte renovável de energia que atualmente é considerada como uma alternativa respeitável para substituir os combustíveis fósseis utilizados para aquecimento, produção de eletricidade, combustível para transporte e fabricação de produtos químicos de valor agregado (TEGHAMMAR *et al.*, 2012; WEILAND, 2010).

Devido a potencialidade do uso de um resíduo lignocelulósico desprovido de aplicabilidade direta tal como o caule de girassol para produção de biocombustíveis, empreendeu-se neste trabalho uma prospecção tecnológica com o intuito de verificar para quais finalidades tais resíduos tem sido utilizado e assim verificar as perspectivas para sua aplicação na produção energética para a Região Nordeste ou demais regiões.

## 2 Metodologia

A prospecção tecnológica referente aos usos do caule de girassol foi feita no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO). Visando a obtenção de um resultado com maior abrangência possível foi utilizada uma mescla entre diferentes palavras-chave e suas variações em português/inglês e singular/plural dos termos “talo” e “girassol” em conjunto, além do uso de *Helianthus annuus* que é o nome científico do girassol. A pesquisa desses termos limitou-se aos campos resumo, título e palavras-chave. A Tabela 7.1 demonstra quais os termos utilizados.

**Tabela 7.1 – Termos utilizados na metodologia de pesquisa**

Português		Inglês	
Singular	Plural	Singular	Plural
Talo	Talos	Stalk	Stalks
Caule	Caules	Stem	Stems
Girassol	-	Sunflower	-
<b>Nome científico:</b> <i>Helianthus annuus</i>			

Fonte: autor

### 3 Resultados e discussão

Uma pesquisa de patentes no banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial foi realizada com o propósito inicial de observar a situação do depósito de patentes no banco de dados nacional sobre o tema em questão. Mesmo com a tentativa de uma maior abrangência de informações fazendo-se o uso das palavras-chave mencionadas na metodologia, à pesquisa feita não apresentou nenhum registro sobre caule de girassol.

A busca realizada na Organização Mundial de Propriedade Intelectual foi feita de forma similar a consulta realizada no Instituto Nacional de Propriedade Industrial e resultou em um total de 389 patentes registradas e publicadas até 25 de maio de 2016. Vale ressaltar que a busca foi feita até meados do mês de outubro de 2016 e, portanto, não engloba pedidos de patentes que possam ter sido registradas, mas que ainda não tenham sido publicadas até o momento da pesquisa.

Devido a quantidade de registros encontrados, foi necessário realizar uma filtragem desse número total de patentes com o objetivo de investigar quais relacionavam-se genuinamente ao uso do caule de girassol. Após verificação de cada registro foram selecionadas as seguintes informações: título da patente; qual a finalidade do uso do caule naquele registro; qual classe(s) e subclasse(s) da Classificação Internacional de Patentes (IPC) pertencia aquele registro; qual o inventor; qual o país de origem e ano de publicação.

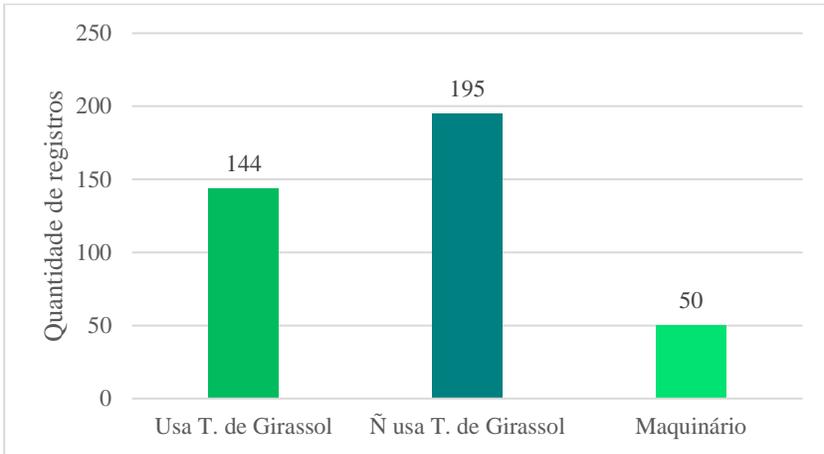
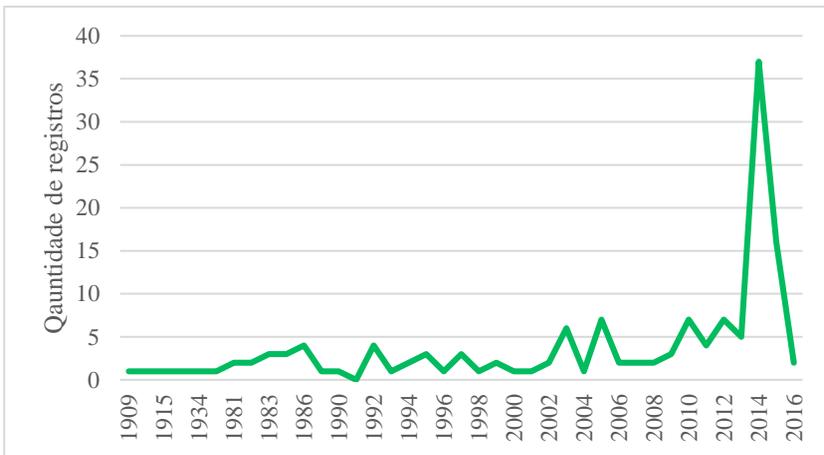
Após a filtragem, constatou-se que dentre os 389 registros encontrados apenas 144 mencionavam o uso do talo/caule de girassol

em exclusivo ou em conjunto com outras matérias-primas para alguma finalidade como pode ser visto na Figura 7.1. Apenas 37% dos registros seguiram com a pesquisa, sendo os demais (em um total de 245) rejeitados por se tratar de assuntos como maquinário e dispositivos para colheita do girassol e sobre o uso de partes do caule de outras plantas como milho, arroz, batata, entre outros ou ainda sobre o uso de partes do girassol como raízes, sementes e folhas, mas não do seu caule especificamente. Assim, foram rejeitados 50 registros que falavam sobre equipamentos/dispositivos de colheita e 195 que não faziam o uso do caule do girassol propriamente dito.

Com os 144 registros que mencionavam o uso do caule de girassol foi possível verificar como se encontra a quantidade de patentes depositadas por ano no mundo que envolve o uso do caule de girassol até o presente momento permitindo averiguar como se encontra o cenário mundial de pesquisas sobre o tema nas últimas décadas como mostra a Figura 7.2.

Com os dados referente à quantidade de registros feitos por ano desde 1909 até maio de 2016, demonstrados na Figura 7.2, é possível observar que a média dos registros por ano referentes ao uso do caule de girassol foi muito pequena, cerca de 1 a 3 registros, tendo um aumento de registros nos anos de 2005, 2010, 2012 e um grande salto em 2014 chegando a um total de 37 patentes publicadas, contudo, o crescimento diminuiu no ano seguinte com 16 registros e apenas 2 patentes registradas até maio de 2016.

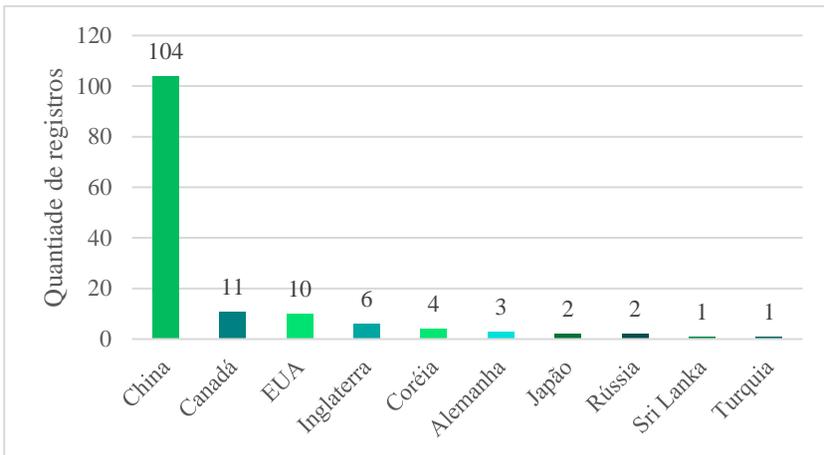
Em posse das informações obtidas após a filtragem dos dados, também foi possível saber quais países possuem registros de patentes referentes ao uso do caule de girassol e assim saber também quais países lideram o *ranking* de pesquisas e depósitos de patentes sobre o uso deste resíduo.

**Figura 7.1 – Filtragem de patentes referente a busca****Figura 7.2 – Quantidade de patentes depositadas por ano referente a busca**

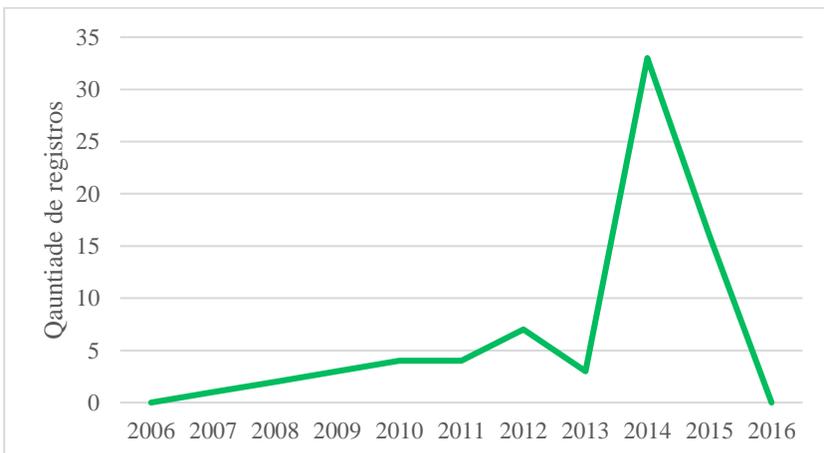
Quando se refere ao número total de patentes depositadas sobre o uso do caule de girassol no mundo, a China lidera o *ranking*. Como podemos observar na Figura 7.3, a China possui o registro de 104 patentes, seguida pelo Canadá com 11, Estados Unidos com 10 registros, Inglaterra com 6, Coreia do Sul com 4, Alemanha com 3, Japão e Rússia com 2 e Sri Lanka e Turquia com 1 registro. A China sozinha é responsável pelo depósito de 72% dos registros de patentes sobre o a utilização do caule de girassol no mundo. Vale ressaltar que a

China já liderava o *ranking* desde anos anteriores, mas teve um crescimento exponencial onde o país foi responsável pelo registro de 73 novas patentes referentes ao uso do caule de girassol só na última década, o que em termos quantitativos equivale a cerca de 70 % do número total de patentes já depositadas pelo país desde a década de 1970 (Figura 7.4).

**Figura 7.3 – Países com maior registro de patentes referente a busca**



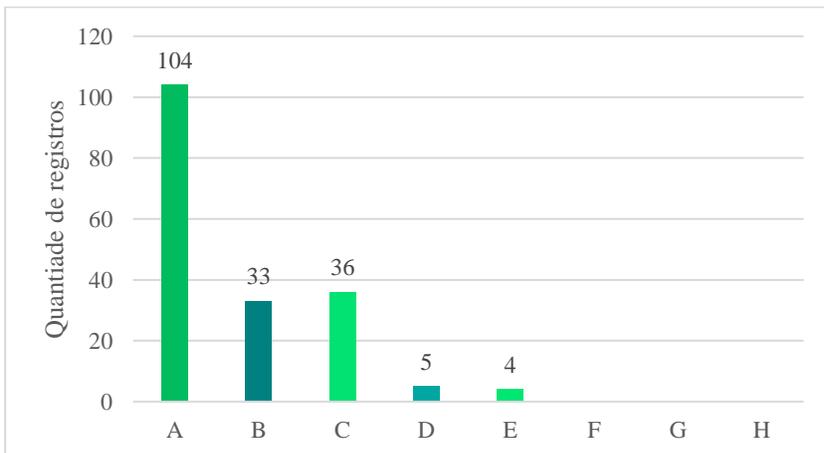
**Figura 7.4 – Depósito de patentes da China na última década referente a busca**



Nos últimos dez anos a China fez o registro de 73 patentes referente ao uso do caule de girassol sendo que até 2013 só haviam sido depositadas 24 patentes e no ano seguinte houve um salto para 33 registros e 16 em 2015, a soma dos registros de patentes desses dois anos são maiores que todos os anos anteriores juntos.

Conhecendo-se a Classificação Internacional de Patentes (IPC) foi possível verificar ou estimar em quais áreas tecnológicas estavam sendo empregados os registros de patentes do uso do caule de girassol, e assim verificar quais áreas eram mais exploradas no uso desse resíduo. Assim, por exemplo, foi possível verificar que, no caso específico da China, a grande maioria dos registros feitos foi na área de necessidades humanas (classe A da Classificação Internacional de Patentes) dentro da subárea de ciência médica ou veterinária (subclasses 61K e 61P). A Figura 7.5 demonstra quais áreas tiveram registro de patente do uso do caule de girassol.

**Figura 7.5 – Áreas tecnológicas com registro de patente sobre o caule de girassol referente a busca**

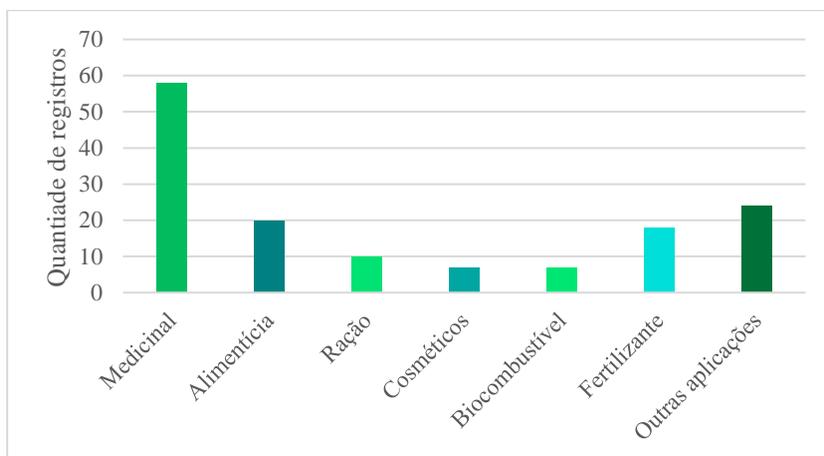


De acordo com a Figura 7.5 percebe-se que os registros de patentes referentes ao uso do caule de girassol ocorreram nas áreas tecnológicas A, B, C, D e E que são respectivamente as áreas de necessidades humanas; operações de processamento, transporte; química, metalurgia; têxteis, papel e construções fixas, sendo que a maioria dos registros encontram-se nas classes A (104 registros), B (33

registros) e C (36 registros). As classes tecnológicas F (Engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão), G (Física) e H (Eletricidade) não possuem nenhum registro de patente que empregue o uso do caule de girassol.

Devido à complexidade da Classificação Internacional de Patentes que engloba uma infinidade de classes e subclasses, foi feita uma classificação isolada, pelos próprios autores deste trabalho, que definiu as aplicações de cada patente em uma única área mas levando em consideração as informações da IPC. A Figura 7.6 demonstra em quais áreas de aplicação foram divididos cada registro.

**Figura 7.6 – Áreas de aplicação de cada registro referente a busca**

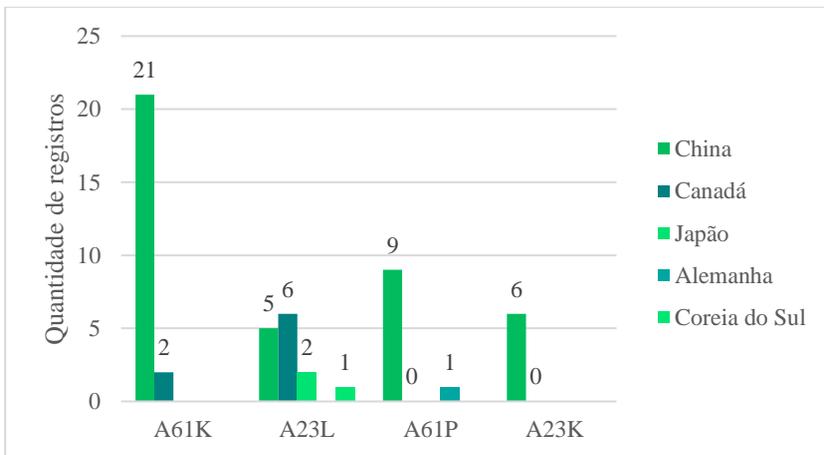


Baseando-se na classificação adotada, foi possível identificar quais as aplicações fornecidas para o caule de girassol. Vale lembrar que essas aplicações foram elaboradas com base na Classificação Internacional de Patentes, e assim pode-se citar a aplicação do caule de girassol como sendo medicinal, onde todas as subclasses da IPC que abrangiam a Classe A de necessidades e humanas e também as subclasses de ciência médica ou veterinária (A61) foram convertidas para aplicação medicinal do caule de girassol seja em pessoas ou animais. Outro exemplo é a subclasse C05 que trata da criação de animais em conjunto para produção de esterco para agricultura, onde independente da origem animal e do modo de preparo do mesmo todos os registros foram considerados como na aplicação do caule de girassol

para fabricação de fertilizantes não importando se estes são também fosfatados, nitrogenados, etc.

A maioria dos registros de patentes referente ao uso do caule de girassol se concentram na Classe A de Necessidades Humanas englobando ainda as subclasses 23J de alimentos e produtos alimentícios e 61K de ciência médica ou veterinária e higiene. Assim é possível identificar que a maioria das pesquisas com o caule de girassol estão focadas no uso do caule de girassol como alimento ou como medicamento seja ele para tratamento de alguma doença ou higiene. Dentre os países com depósito de patentes com o emprego do caule de girassol no ramo alimentício e/ou medicinal estão a China e o Canadá como pode-se observar na Figura 7.7.

**Figura 7.7 – Países com Registro de patentes no ramo alimentício e medicinal referente a busca**



Demais países como Japão, Alemanha e Coreia do Sul também possuem registro de patente com o uso medicinal e/ou alimentício do caule de girassol, porém a China é o país com maior quantidade de registros, principalmente no uso medicinal do caule de girassol. Isso pode estar ligado a uma questão cultural devido a preocupação com a saúde e devido ao país ser um grande gerador de resíduos agrícolas e agroindustriais com cerca de 45% da força de trabalho chinesa empregada na agricultura.

## 4 Conclusões

O caule de girassol é um resíduo agrícola/agroindustrial com estrutura lignocelulósica encontrado em todo o mundo. Analisando os dados apresentados, verificou-se que poucos são os trabalhos e pesquisas publicados sobre a utilização do caule de girassol como matéria-prima em diferentes processos industriais, a China desponta frente aos demais países no uso de caule de girassol tendo patentes registradas, em sua maioria, tratando do uso medicinal do caule de girassol.

Dado o potencial do Nordeste brasileiro, com destaque para o estado de Sergipe, para o cultivo do girassol aliado a busca por biocombustíveis e a diminuta quantidade de documentos de patentes relativos a produção de biocombustíveis com uso de caule de girassol, há uma grande potencialidade de exploração deste resíduo para geração de energias alternativas indo além da aplicação medicinal do caule.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos incentivos fornecidos pelo CNPq, CAPES e FAPITEC/SE em pesquisas relacionados ao tema.

## Referências bibliográficas

- AGAREZ, F.V.; CÉZIO, P.; CECÍLIA, M.R. **Botânica: Taxonomia, morfologia e reprodução das angiospermas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 256 p, 1994.
- AKPINAR, O.; GUNAY, K.; YILMAZ, Y.; LEVENT, O.; BOSTANC, S. Enzymatic processing and antioxidant activity of agricultural waste autohydrolysis liquors, **Bioresources**, v.5, p. 699–711, 2010.
- BACKES, R. L.; SOUZA, A.M.de; BALBINOT JUNIOR, A.A.; GALLOTI, G.J.M.; BAVARESCO, A. Desempenho de cultivares de girassol em duas épocas de plantio de safrinha no planalto norte Catarinense. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 41-48, 2008.
- BALMÉ, F. **Plantas medicinais**. São Paulo: Hemus, 2004. 398 p.
- BINICI, H.; EKEN, M.; DOLAZ, M.; AKSOGAN, O.; KARA, M. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. **Construction and Building Materials**, v.51, p.24-33, 2014.
- BONILLA, J. L.; CHICA, A.; FERRER, L.; JIMENEZ, L.; MARTIN, A. Sunflower stalks as a possible fuel source. **Fuel**, v.69, p.792-794, 1989.
- CAPARRÓS, S.; LÓPEZ, F.; NASCIMENTO, J.A.; GARROTE, G.; JIMÉNEZ, L. Hydrothermal treatment and ethanol pulping of sunflower stalks. **Bioresource Technology**, v.99, p.1368-1372, 2007.
- CARVALHO, H. W. L. de; OLIVEIRA, I. R. de; DONALD, E. R. C.; RAMOS, S. R. R.; PACHECO, C. A. P.; FUKUDA, W. M. G.; PELOSO, W. J. D.; CARVALHO, C. G. P. DE; MELO, K. E. de O.; FEITOSA, L. F.; MENEZES, A. F. Cultivares de milho, feijão, girassol

- e mandioca para o agreste sergipano com foco na agricultura familiar e no agronegócio. Aracaju: **EMBRAPA Tabuleiros Costeiros**. 31 p., 2008.
- CHEN, J. H.; LU, X. F. Progress in bio-fuel combustion in circulating fluidized bed boiler. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v.22, p.267-270, 2006.
- DÍAZ, M. J.; CARA, C.; ENCARNACIÓN R.; PÉREZ-BONILA, M.; CASTRO E. Hydrothermal pre-treatment and enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. **Fuel**, v.90, p.3225-3229, 2011.
- EOM, I-Y.; YU, J-H. Structural characterization of the solid residue produced by hydrothermal treatment of sunflower stalks and subsequent enzymatic hydrolysis. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 23, p.72-78, 2015.
- European Commission, 2010. **Agricultural Commodity Markets Outlook 2010–2019**. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/tradepol/worldmarkets/outlook/2010\\_2019\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/tradepol/worldmarkets/outlook/2010_2019_en.pdf)>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood - chemistry, ultrastructure, reactions**. Remagen: Kessel Verlag, 1983. 613 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL, IPC: Classificação Internacional de Patentes. Disponível em <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes>. Acesso em 10 de outubro 2016.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012. World Energy Outlook. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2012/presentationtopress.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- JIMÉNEZ, L.; BONILLA, J. L. Acid hydrolysis of sunflower residue biomass. **Process Biochemistry**, v.28, p.243-247, 1993.
- JUNG, C-D; YU, J-H; EOM, I-Y; HONG, K-S. Sugar yields from sunflower stalks treated by hydrothermolysis and subsequent enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v.138, p.1-7, 2013.
- LAZZAROTTO, J. J.; ROESSING, A.C.; MELIO, H. C. O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil. In: Girassol no Brasil. **EMBRAPA Soja**, p.14 – 42, 2005.
- LEITE, R. M. V. B. de C.; CASTRO, C. de; BRIQHENTI, A.M.; OLIVEIRA, F.A. de; CARVALHO, C.G.P. de; OLIVEIRA, A.C.B. de. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. **Embrapa-CNPSo**, Londrina, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 78).
- LIN, C.; LIU, J.; LIU, L.; ZHU, T.; SHENG, L.; WANG, D. Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels. **Environmental and Experimental Botany**, v.65, p.410–416, 2009.
- MARECHAL, V.; RIGAL, L. Characterization of by-products of sunflower culture – commercial applications for stalks and heads. **Industrial Crops and Products**, v.10, p.185-200, 1999.
- MARTÍNEZ, M. L.; SÁNCHEZ, S.; BRAVO, V. Production of xylitol and ethanol by *Hansenula Polymorpha* from hydrolysates of sunflower stalks with phosphoric acid. **Industrial Crops and Products**, v.40, p.160-166, 2012.
- MATI-BAOUCHE, N.; BAYNAST, De H.; LEBERT, A.; SUN, S.; LOPES-MINGO, C. J. S.; LECLAIRE, P.; MICHAUD, P. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulatingbio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan. **Industrial Crops and Products**, v.58, p.244-250, 2014.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Glossário Ilustrado de Morfologia, 1ª ed. Brasília, 2009.
- NORTH DAKOTA STATE UNIVERSITY. **Sunflower Production**. Disponível em:< <https://www.ag.ndsu.edu/extensionentomology/recent-publications-main/publications/A-1331-sunflower-production-field-guide>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- OJUMU, T. V.; SOLOMON, B. O.; BETIKU, E.; LAYOKUN, S. K.; AMIGUNB. Cellulase Production by *Aspergillus flavus* Linn Isolate NSPR 101 fermented in sawdust, bagasse and corncob. **African Journal of Biotechnology**. v. 2, n. 6, p. 150–152, 2003.

- OLIVEIRA, I. R.; CARVALHO, H. W. L.; LIRA, M. A.; CARVALHO, C. G. P.; RIBEIRO, S. S.; OLIVEIRA, V. D. Avaliação de cultivares de girassol na Zona Agreste do Nordeste brasileiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 17. 2007, Uberaba. Anais... Londrina: EMBRAPA Soja, p. 197 -200, 2007.
- PEREZ, J.; MUÑOZ-DORADO, J.; DE LA RUBIA, T.; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **Microbiol**, v.5, p.53-63, 2002.
- PORTO, W. S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 491- 499, 2007.
- RAMOS, L. P. **Aproveitamento integral de resíduos agrícolas e agroindustriais**. In: Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo, 2000. Disponível em: <[http://www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas\\_arquivos/res/artigo\\_pretratamento.pdf](http://www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas_arquivos/res/artigo_pretratamento.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2015.
- RIBEIRO, J. L. Manejo da cultura do girassol no Meio Norte do Brasil. **Embrapa Meio-Norte, Teresina**, 2008. 9 p. (Circular Técnica, 48).
- Rodrigues, CS; Carvalho, HWL; Oliveira, IR; Carvalho, CGP; Ferreira FMB; Tabosa, JN; *et al.* Comportamento de genótipos de girassol de ensaio final de segundo ano no nordeste brasileiro: safra 2010. In: Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite, Ivênio A de OJ, Oliveira R, editors. An. 19a Reun. Nac. Pesqui. Girassol 7 Simpósio Nac. sobre a Cult. do Girassol, Londrina - PR: EMBRAPA Soja; 2011, p. 267-9
- ROSSI, R.O. **Girassol**. Curitiba: Tecnagro. Curitiba, 1998. 333p.
- RUIZ, E.; CARA, C.; MANZANARES, P.; BALLESTEROS, M.; CASTRO, E. Evaluation of steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. **Enzyme and Microbial Technology**, v.42, p.160-166, 2007.
- SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v.27, p.185-194, 2008.
- SELMECZI-KOVACS, A. Akklimatisation und verbreitung der sonnenblume in Europa. **Acta Ethnographica Academiae Hungaricae**, Budapest, v.24, n. 1-2, p.47-88, 1975.
- SHARMA, S. K.; KALRA, K. L.; GREWAL, H. S. Fermentation of enzymatically saccharified sunflower stalks for ethanol production and its scale up. **Bioresource Technology**, v.85, p. 31-33, 2002.
- SUKUMARAN, R. K.; SINGHANIA, R. R.; MATHEW, G. M., PANDEY, A. Cellulase production using biomass feed stock and its application in lignocellulose saccharification for bio-ethanol production. **Renewable Energy**, v.34, p.421-424, 2009.
- SUN, S.; MATHIAS, J.D.; TOUSSAINT, E.; GRÉDIAC, M. Hygromechanical characteri-zation of sunflower stems. **Industrial Crops and Products**, v.46, p.50-59, 2013.
- TEGHAMMAR, A.; KARIMI, K.; HORVÁTH, I.S.; TAHERZADEH, M.J. Enhanced biogasproduction from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment. **Biomass Bioenergy**, v.36, p.116-120, 2012.
- TURGUT, C.; PEPE, M.; CUTRIGHT, T. (2004). The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. **Environmental Pollution**, v.131, p.147-154, 2004.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2015. Sunflower Production Report. Disponível em: <<http://nuseed.com/news/2015-usda-sunflower-production-report/>>. Acesso em: 20 julho 2016.
- VAITHANOMSAT, P.; CHUICHULCHERM, S.; APIWATANAPIWAT, W. Bioethanolproduction from enzymatically saccharified sunflower stalks using steam explosion as pretreatment. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 3(1), p. 88-91, 2009.

## PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUO DE CULTIVO DE GIRASSOL: PERSPECTIVA PARA ENERGIAS DO NORDESTE

- VAITHANOMSAT, P.; CHUICHULCHERM, S.; APIWATANAPIWAT, W. Bioethanol production from enzymatically saccharified sunflower stalks using steam explosion as pretreatment. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 37, 2009.
- VECCHIA, R. **O meio ambiente e as energias renováveis: instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável**. Manole: Barueri. SP, 2010.
- VITAL BRAZIL, O. A.; SOUZA, Â. M. de; SILVA, M. S.; VAZ, V. H. da S. Impactos da produção e uso de biodiesel no estado de Sergipe. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008. Rio de Janeiro: IBP, 2008.
- VITAL BRAZIL, O. A.; VAZ, V. H. da S., SILVA, M. S.; JESUS FILHO, F. P. de. Custos de Transação na Cadeia Produtiva de Biodiesel. In: Congresso Brasileiro de Regulação. Rio de Janeiro: ABAR, 2009.
- WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology Biotechnology*, v.85, p.849–860,2010.
- YOKOMIZO, E. **O combustível do girassol**. CREA, Curitiba, n. 21, p. 18-23, 2003.
- ZIEBELL, A.L.; BARB, J.G.; SANDHU, S.; MOYERS, B.T.; SYKES, R.W.; DOEPPKE, C.; GRACOM, K.L.; CARLILE, M.; MAREK, L.F.; DAVIS, M.F. Sunflower as a biofuels crop: ananalysis of lignocellulosic chemical properties. **Biomass Bioenergy**, v.59, p.208–217, 2013.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 8

# RESÍDUOS AGRÍCOLAS DO NORDESTE BRASILEIRO E SEU POTENCIAL LIGNOCELULÓSICO

---

Grayce Kelly Carvalho de Oliveira<sup>1</sup>; Clara Virgínia Marques Santos<sup>2</sup>;  
Isabelly Pereira da Silva<sup>2</sup>; Daniel Pereira da Silva<sup>2</sup>;  
Denise Santos Ruzene<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*  
<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

O crescente interesse em todo o mundo no desenvolvimento de tecnologias “verdes” que possibilitem o uso de produtos de menor impacto ambiental (ELLIOT, 2005), as preocupações com as mudanças climáticas e as medidas que vêm sendo adotadas no mundo para seu controle deverão ter impacto direto na atividade industrial. Nesse contexto, abrem-se oportunidades para o desenvolvimento de uma indústria baseada em matérias primas renováveis. Um fluxo de inovações em desenvolvimento pode estar lançando o apoio para uma indústria integrada na exploração da biomassa (biorrefinaria) (COUTINHO e BOMTEMPO, 2010).

No ano de 2014, o Brasil produziu mais de 1 bilhão de toneladas de cultivos agrícolas (IBGE, 2015a), viabilizado graças a diferentes razões incluindo a disponibilidade de área para o cultivo, possibilidade de introdução de culturas variadas, posição geográfica favorecida, clima tropical, além de sua riquíssima biodiversidade e tecnologia avançada, tudo que permite ao Brasil manter uma posição privilegiada no campo das ciências agrárias, tornando-se assim um dos maiores produtores agrícolas mundiais (PAULA *et al.*, 2011). Como resultado disso há uma grande geração de resíduos, conseqüentemente uma grande quantidade de biomassa lignocelulósica que não são satisfatoriamente e/ou adequadamente aproveitadas. Nesse contexto, biomassas lignocelulósicas são as matérias-primas mais promissoras sendo essencial para o funcionamento das sociedades industriais modernas, isto em especial por ser um recurso natural e renovável. Uma

quantidade considerável destes materiais está sendo gerado por meio de práticas agrícolas e de indústrias de base agro industrial (PÉREZ *et al.*, 2002).

Por isso a disponibilidade de material lignocelulósico junto à necessidade de tecnologias de menor impacto ambiental abre oportunidades de vários estudos e pesquisas, fundamentado no reaproveitamento destes resíduos dentro de uma perspectiva de biorrefinaria contribuindo assim para o meio ambiente e ajudando na relação custo-benefício de várias indústrias. Percebe-se um crescente interesse no reaproveitamento destes resíduos para obtenção de produtos de maior valor agregado, como os biocombustíveis, energia e fontes de energias baratas para a fermentação microbiana e a produção de enzimas, já que a maior parte desta biomassa é eliminada por incineração (ISROI *et al.*, 2011; MICHELIN *et al.*, 2011; IQBAL *et al.*, 2013; IRSHAD *et al.*, 2013).

## **2 Biomassa**

A biomassa é uma das fontes de obtenção de energia com maior potencial de crescimento tanto na esfera nacional quanto na internacional, considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2015; BIOMASSA-BR, 2015).

Toda matéria orgânica que se origina a partir de plantas, incluindo as algas, as árvores e os cultivos, pode ser considerada biomassa. A fonte de biomassa é a energia solar que é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais da matéria orgânica, quando estas ligações são quebradas haverá a liberação da energia química presente na biomassa. Menos de 1% da luz solar disponível é convertida em energia química pela fotossíntese (MCKENDRY, 2002). Neste sentido, a biomassa pode ser proveniente de recursos agrícolas que são considerados um material de baixo valor, limpo e renovável sendo uma fonte alternativa aos combustíveis fósseis. Portanto, os subprodutos agrícolas (resíduos agrícolas ou agroindustriais) podem desempenhar um papel crucial na evolução de biocombustíveis

sustentáveis a fim de reduzir a carga na importação de combustíveis e resolver o problema de descarte destes resíduos (SUMMOOGUM-UTCHANA e SWAMI, 2015).

Entretanto, existem diversas formas de conversão da biomassa energética, desde a simples combustão ou queima para a obtenção da energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos (MMA, 2015). De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), existem 517 termelétricas movidas à biomassa no país, que correspondem a um total de 13.249.323 KW (quilowatts) instalados. Do total de usinas relacionadas, 17 são abastecidas por licor negro (resíduo da celulose) com potência total de 1.978.136 KW, 49 por resíduos florestais (381.925 KW), 2 por biogás (1.722 KW), 12 por casca de arroz (45.333 KW) e 394 por bagaço de cana (10.531.820 KW).

O Brasil pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso como recurso energético da biomassa, pois possui condições naturais e geográficas propícias a este recurso. O país recebe intensa radiação solar ao longo do ano, que é a fonte de energia fundamental para a produção de biomassa; outro fator importante é seu espaço geográfico, que possui uma grande quantidade de terra agriculturável com características adequadas do solo e condições climáticas favoráveis (MMA, 2015).

### **3 Biomassa Lignocelulósica**

A biomassa lignocelulósica é o tipo de biomassa mais promissora como recurso natural, podendo vir a proporcionar um fornecimento de combustível sustentável a longo prazo (ALONSO *et al.*, 2008; GOH *et al.*, 2010), considerado o mais abundante recurso renovável da terra (ZHANG e LYND, 2004). Segundo Zhang e Lynd (2004), um bilhão de toneladas de biomassa seca produziria entre 80-130 bilhões de galões de etanol celulósico, entretanto para obter sistemas que sejam economicamente viáveis e sustentáveis é necessário utilizar eficientemente todas as frações das matérias-primas (GALBE e ZACCHI, 2007).

A maioria dos resíduos dos alimentos (resíduos agrícolas) e os resíduos provenientes das indústrias de processamento de alimento (resíduos agroindustriais) são resíduos lignocelulósicos presentes na natureza, com uma estimativa global de até 1,3 bilhões de toneladas/ano. Os resíduos agroindustriais lignocelulósicos são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool, etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal, uma vez que existe uma alta instabilidade do volume produzido de resíduos devido a produção irregular no ano (RAVINDRAN e JAISWAL, 2015).

Além da sua abundância e fácil disponibilidade, a biomassa lignocelulósica é considerada uma ótima fonte de carboidratos de baixo custo e com grande potencial para a produção de uma gama de produtos de alto valor comercial, incluindo biocombustíveis como o bioetanol e biogás. O fato de 75% de a sua composição conter polissacarídeos contribui para que a biomassa seja usada como matéria-prima na produção de biocombustíveis (SUN e CHENG, 2002). Diversos bioprocessos utilizam a biomassa lignocelulósica como substrato para a produção de moléculas de alto valor agregado, tais como: proteínas microbianas, ácidos orgânicos, etanol, enzimas e metabólitos secundários biologicamente ativos (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

Este tipo de biomassa é constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. A composição e as proporções destes componentes variam de uma espécie de planta para a outra, e também em uma mesma planta a depender da sua idade, da sua fase de crescimento, entre outras condições (KUMAR *et al.*, 2009).

A celulose é o principal componente estrutural da parede celular das plantas, a qual é responsável pela sua resistência mecânica e estabilidade química (IQBAL *et al.*, 2013). A parede celular da planta é composta de microfibrilas que são formados por cadeias de celulose ligadas entre si por ligações de hidrogênio (KULASINSKI *et al.*, 2014). A celulose está presente nas formas cristalinas (região mais organizada) e amorfas (região menos organizada), sua forma cristalina compreende a maior parte da celulose enquanto que uma pequena porcentagem de cadeias de celulose desorganizadas forma a celulose amorfa sendo,

deste modo, mais susceptível a degradação enzimática (BEGUIN e AUBERT, 1994). As regiões amorfas surgem como imperfeições nas microfibrilas da celulose (BRAUN *et al.*, 2008).

A hemicelulose é uma mistura de polissacarídeos, composto quase inteiramente de açúcares tais como glicose, manose, xilose e arabinose e ácidos glucurônico e metil-glucurônico. Logo, a hemicelulose pode ser considerada um polissacarídeo heterogêneo ramificado com cadeias laterais curtas que se ligam firmemente, mas de forma não covalente, com a superfície de cada uma das microfibrilas de celulose dando flexibilidade e estabilidade ao conjunto celulose-hemicelulose (KUHAD *et al.*, 1997; RAMOS, 2003; MCKENDRY, 2002).

Após a celulose, a lignina é a macromolécula mais abundante dentre as biomassas lignocelulósicas (FENGEL e WEGENER, 1989; DUVAL e LAWOKO, 2014; MCKENDRY, 2002). A composição e a organização dos constituintes da lignina variam de uma espécie para outra, dependendo da matriz de celulose-hemicelulose, estando presente na parede celular primária, dando suporte estrutural, impermeabilidade e resistência microbiana contra ataques externos. No processo de hidrólise enzimática dos materiais lignocelulósicos, a lignina atua como uma barreira física para as enzimas que podem ser irreversivelmente capturadas pela lignina e, assim, influenciar na quantidade de enzima necessária para a hidrólise, assim como dificultar a recuperação da enzima após a hidrólise (PÉREZ *et al.*, 2002; LU *et al.*, 2002).

Segundo Vidales *et al.* (2010), quanto maior o teor de celulose e menor o teor de lignina, mais fácil a extração da celulose. Logo quanto menor a relação quantitativa lignina/celulose, maior a facilidade no processo de extração para fins de biocombustíveis, por exemplo, e melhor o potencial lignocelulósico do resíduo.

## **4 Biorrefinaria**

Entende-se por biorrefinaria uma determinada instalação que integra processos de conversão de biomassa em variados produtos

como biocombustíveis, energia, insumos químicos, materiais e alimentos e que tem por objetivo aperfeiçoar os recursos, ou seja, buscar a utilização de tecnologias renováveis, minimizando assim os efluentes e maximizando os lucros e benefícios (EMBRAPA, 2016). O conceito de biorrefinaria assemelha-se a refinaria de petróleo obtendo vários tipos de combustíveis e produtos petrolíferos (DEMIRBAS, 2009).

A sua utilização acontece principalmente por duas formas, a bioquímica e a termoquímica. A primeira se baseia na conversão química ou bioquímica de açúcares obtidos a partir de hidrólise química ou enzimática; enquanto que a segunda por intermédio da conversão termoquímica da matéria em altas temperaturas, gaseificação (presença de O<sub>2</sub>) para a obtenção de syngas (synthetic natural gas) ou pirólise (ausência de O<sub>2</sub>) para a produção de bio-óleo (ZHANG *et al.*, 2007).

De acordo com European Technology Platform for Sustainable Chemistry, as previsões indicam que por volta de 2025, cerca de 30% das matérias-primas para a indústria química serão produzidas a partir de fontes renováveis. No Brasil, a biorrefinaria experimentou um desenvolvimento progressivo nos últimos 15 anos (MARTIN, 2011).

Desta forma, as possibilidades advindas do desenvolvimento das biorrefinarias apontam para o enorme potencial econômico dessas instalações no Brasil, para o aproveitamento eficiente da biomassa e dos resíduos agrícolas e agroindustriais (palhas, bagaço, serragens, etc) (EMBRAPA, 2016).

## **5 Potenciais Resíduos da Região Nordeste**

A região nordeste, como bom representante do Brasil, apresenta diversos tipos de cultivos, neste trabalho serão escolhidos alguns para destacar sobre a sua produção, sua geração de resíduos e seu potencial lignocelulósico capaz de gerar produtos com maior valor agregado. Como exemplo, foi usada características dos maiores cultivos encontrados com base no menor estado da federação, o estado de Sergipe, situado na região nordeste e possuidor de uma extensão territorial equivalente a 21.910 km<sup>2</sup>. Seu território está inserido 45% no semiárido Nordestino, assim, e por consequência, vivenciando com

desastres naturais como a seca (NASCIMENTO, 2012), e por isso seus cultivos se sobressaem como bons exemplos perante os demais estados do Nordeste.

A partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015a), foi possível verificar as culturas majoritárias do estado de Sergipe (Tabela 8.1), destacando-se os de cana-de-açúcar, laranja, milho, mandioca e coco-de-baía.

**Tabela 8.1 – Quantidade produzida dos principais cultivos do estado de Sergipe 2009-2013.**

Lavouras	2009	2010	2011	2012	2013	Média
<b>Cana-de-açúcar (Toneladas)</b>	2.607.155	2.994.819	3.336.034	3.260.251	3.087.048	3.057.061,40
<b>Laranja (Toneladas)</b>	784.382	805.962	822.468	821.940	626.440	772.238,40
<b>Milho (Toneladas)</b>	703.294	750.718	480.476	290.575	700.902	585.193,00
<b>Mandioca (Toneladas)</b>	491.367	485.360	483.990	450.486	433.723	468.985,22
<b>Coco-da-baía (Mil frutos)</b>	279.203	253.621	239.373	242.852	240.855	251.180,80
<b>Banana (Toneladas)</b>	55.935	57.236	47.735	42.142	37.494	48.108,40
<b>Maracujá (Toneladas)</b>	44.486	45.956	45.035	35.977	32.289	40.748,60
<b>Batata-doce (Toneladas)</b>	40.032	37.504	35.522	40.600	44.397	39.611,00
<b>Arroz (Toneladas)</b>	57.166	48.601	18.972	26.661	30.891	36.458,20
<b>Manga (Toneladas)</b>	24.513	24.513	21.793	21.325	19.198	22.268,40

Fonte: IBGE, 2015

## 6 Cana-de-açúcar

A cana de açúcar é uma gramínea que pertence à família Poaceae, ao gênero *Saccharum* e a classe monocotiledônea; suas principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) sendo introduzida no Brasil na primeira década do século XIV pelos colonizadores portugueses. As variedades cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos multiespecíficos (SILVA, 2011; DIOLA e SANTOS, 2010).

A cana-de-açúcar é constituída de caule, folhas verdes, folhas secas e ponteira. Em relação a sua composição química, embora muito variável, dependendo de condições climáticas da região, do sistema de cultivo, do estágio de maturação, da idade do cultivar, dentre outros fatores, basicamente contém sólidos insolúveis (fibra), sólidos solúveis

(caldo) e água, estes por sua vez, constituídos de compostos orgânicos e inorgânicos (SANTOS, 2013).

Os resíduos gerados pela cana-de-açúcar na unidade industrial são bagaço, torta de filtro (resíduo da filtragem do caldo da cana), vinhaça e cinza, este último proveniente quando da queima do bagaço (INEE, 2015) e com potencial para uso como material de substituição parcial do cimento Portland (PAULA *et al.*, 2009). Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, sem a queima prévia, mantém-se sobre a superfície do solo a palha ou palhada (folha seca, ponteira e pedaço de colmo) (ABRAMO FILHO *et al.*, 1993; TRIVELIN *et al.*, 1995; GÓMEZ *et al.*, 2010). Neste contexto, os resíduos provenientes do cultivo de cana-de-açúcar de maior interesse para obtenção de energia estão relacionados em especial ao bagaço e a palha.

O bagaço é considerado um subproduto e por isso praticamente não tem custo de produção e transporte fazendo com que seja bastante valorizado, permitindo a autossuficiência energética das unidades produtoras e, em algumas, a comercialização da energia excedente (MATSUOKA *et al.*, 2012).

De acordo com Spadotto e Ribeiro (2006), para cada tonelada de cana moída na unidade industrial sucroalcooleira se obtêm em média 120 kg de açúcar e 14 litros de álcool, ou em média 80 litros de álcool nas destilarias. As estimativas de geração de resíduos para uma tonelada de cana esmagada são de aproximadamente 100 a 400 kg de torta de filtro, 800 a 1000 litros de vinhaça e 260 kg de bagaço de cana. Resultado parecido são relatados por Silva *et al.* (2007), considerando para o bagaço valor aproximado de 280 kg por tonelada de cana moída (28% do total), enquanto que para Macedo (1998) para cada tonelada de cana se produz 140 kg de bagaço, 150 kg de açúcar e 140 kg de palha, geralmente deixada no campo.

Assim, foram feitos os cálculos para palha e bagaço da cana-de-açúcar em todos os estados do Nordeste (Tabela 8.2), considerando para cada tonelada de cana a geração de 140 kg de palha e 140 kg de bagaço. Para discussão da composição dos resíduos e viabilidade de seu

uso foram selecionados alguns estudos de diferentes autores, como apresentado na Tabela 8.3.

**Tabela 8.2 – Dados de produção e geração de resíduos gerados na colheita da cana-de-açúcar na Região Nordeste (palha ou bagaço), valor baseado na média dos cultivos de 2009 a 2013.**

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Quantidade de Resíduos (t)
Cana de açúcar (palha ou bagaço)	Sergipe	3.057.061	427.988,54
	Bahia	6.227.841	871.897,74
	Pernambuco	17.511.592	2.451.622,88
	Paraíba	6.065.166	849.123,24
	Rio Grande do Norte	3.975.675	556.594,50
	Ceará	2.102.257	294.315,98
	Piauí	836.854	117.159,56
	Maranhão	2.926.894	409.765,16
	Alagoas	27.251.796	3.815.251,44

**Tabela 8.3 – Potencial lignocelulósico do bagaço e da palha da cana-de-açúcar**

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referência
Cana de açúcar	Bagaço	42,8	25,8	22,4	Gouveia <i>et al.</i> , 2009
		43,3	25,7	nd.	Girisuta <i>et al.</i> , 2013
		42,0	25,0	20,0	Kim e Day, 2011
		41,3	22,64	18,26	Jenkins, 1990
		40,19	26,42	25,15	Neureiter <i>et al.</i> , 2002
		41,42	32,65	22,82	Almeida, 2008
Cana de açúcar	Palha	34,4	18,4	40,7	Pitarelo, 2007
		40-44	30-32	22-25	Gomez <i>et al.</i> , 2010
		44,26	31,1	19,01	Santos, 2013
		41,4	26	16,2	Carvalho, 2012

nd. = valores não determinados

Assim, de acordo com os estudos observados na literatura (Tabela 8.3) há diferenças entre teores de celulose no bagaço da cana-de-açúcar analisados em diferentes locais, porém apresentando-se uma relação lignina/celulose média e correspondente a 0,5, com

conhecimento que quanto maior o teor de celulose e menor o teor de lignina mais fácil a extração da celulose, facilitando o processo de extração ou tratamento do resíduo, o bagaço com esta proporção pode ser considerado um resíduo promissor para produção de bioenergia e com valor agregado.

Para o resíduo da palha da cana-de-açúcar (Tabela 8.3), a maioria dos autores encontrou uma quantidade de celulose entre 40 e 44%, apenas Pitarelo (2007) encontrou um valor inferior (34,4%). Para a quantidade de hemicelulose, Almeida (2008) relatou um valor de 32,65%, valor próximo ao encontrado por Gomez *et al.* (2010) que concluíram que esse teor está em torno de 30 a 32% e também Santos (2013) que apresentou um valor de 31,1%. Para o teor da lignina, a palha da cana-de-açúcar de Pitarelo (2007) apresentou um valor bem superior aos demais e Carvalho (2012) um valor bem abaixo (16,2%). Entretanto, em geral a relação lignina/celulose também se apresentou na média próximo a uma relação de 0,5, e assim justificando tanto a palha como o bagaço como promissores ao desenvolvimento de energias sustentáveis.

## Laranja

A laranja é nativa da Ásia, embora haja controvérsias acredita-se que o local de sua origem seja uma fruta chinesa, comprovada por seu nome científico (*CITRUS sinensis*) (CITRUS, 2016). A laranja constitui a mais importante classe de citrinos comerciais cultivadas no mundo, sendo muito popular e rica em compostos nutricionais e bioativos (carotenóides e flavonoides), é também abundante em vitamina C, minerais, fibras e aminoácidos (NIU *et al.*, 2008).

A introdução da laranja no Brasil ocorreu por volta de 1530, no período da colonização portuguesa; sua importância naquela época se devia à presença de vitamina C, antídoto do escorbuto que dizimava as tripulações naquele período. No início do século XX, após um período de modernização e importação de tecnologias na citricultura, a laranja passou a ser exportada e em 1939 tornou-se um dos dez produtos mais relevantes na exportação do Brasil (TEIXEIRA, 2009).

Segundo estimativas de Neves *et al.* (2015), o Brasil é o maior produtor mundial de laranja e aproximadamente 70% da sua produção destina-se para o processamento industrial, com 29,8% para consumo da fruta *in natura* e 0,2% para exportação da fruta *in natura*. O Brasil também pode ser considerado o maior produtor de suco de laranja, sendo responsável por aproximadamente 50% da produção mundial, exportando 98% do que produz e, com isso, obtendo 85% de participação no mercado mundial. Em 2014 a produção de laranja foi de 16.927.637 toneladas com uma área colhida de 680.268 hectares (IBGE, 2015). A área da citricultura da Bahia e de Sergipe quase dobrou desde o início da década de 1990, alterando-se de 7% para valores próximos a 13% da área nacional (NEVES *et al.*, 2015).

No processamento da laranja para obtenção de seu suco tem-se como subproduto o bagaço da laranja ou polpa de laranja que compreende aproximadamente 50% do total da fruta. O bagaço é obtido após a extração do suco da fruta e após duas prensagens, que restringe a umidade em torno de 65 a 75% (TEIXEIRA, 2001).

Com base na matéria seca, o valor nutricional do bagaço de laranja é alto, porém com rápida e elevada deterioração (ASHBELL e WEINBERG, 1988), isso acontece devido aos altos níveis de umidade e de carboidratos fermentescíveis, associadas às altas temperaturas e a um prolongado tempo de armazenamento que levam a degradação aeróbia do material pelo crescimento de microrganismos (SOUZA, 2006). Entretanto, as empresas têm utilizado hidróxido ou óxido de cálcio para facilitar o desprendimento da água, facilitando assim a sua conservação (PINTO, 2007).

O bagaço produzido em diferentes locais pode variar consideravelmente quanto à composição química e valor nutritivo (BRANCO *et al.*, 1994). As diferenças nos processos de desidratação, fontes e variedades das frutas, e o tipo de operação pelo qual o resíduo da fruta é obtido, podem resultar em variações no conteúdo de nutrientes do subproduto final (AMMERMAN e HENRY, 1993). A moagem de 12 toneladas de laranja, envolve aproximadamente a produção de 1,2 toneladas de resíduo industrial formado de casca, polpa e semente (CARVALHO, 1992). Esses resíduos apresentam valor

energético agregado, e contribuem para diminuir a dependência da energia comprada para geração de calor, vapor e eletricidade. Antes de serem utilizados na geração de energia térmica, os resíduos sólidos da laranja podem ser convertidos a carvão vegetal e aos subprodutos da carbonização, o que facilitaria seu transporte, armazenamento e manuseio (TIENNE *et al.*, 2004). Apesar de todas essas possibilidades, os resíduos das indústrias de suco de laranja permanecem em sua maior parte inutilizados (ALEXANDRINO *et al.*, 2007).

Na Tabela 8.4 são apresentados a quantidade de resíduos gerados quando a laranja é processada, com base na produção de laranja nos estados do nordeste brasileiro, baseados em dados da literatura onde, segundo Alexandrino *et al.* (2007), em média, 96% da produção de laranja é transformada em suco, isto considerando-se a geração de resíduos a partir da quantidade processada na agroindústria do suco visto que o restante é comercializada na forma de fruto e, deste modo, com geração de resíduos classificados como domésticos; bem como no relato de Teixeira (2011) onde o volume de resíduo produzido equivale a 50% do peso da fruta.

**Tabela 8.4 – Dados de cultivo e quantidade de resíduos gerados no processamento da laranja na Região Nordeste, valor baseado na média dos cultivos de 2009 a 2013**

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
	Sergipe	772.238	741.348,48	370.674,24
	Bahia	991.440	951.782,40	475.891,20
	Pernambuco	3.221,40	3.092,54	1.546,27
	Paraíba	5.874,80	5.639,81	2.819,90
<b>Laranja</b>	Rio G. do Norte	2.507,60	2.407,30	1.203,65
	Ceará	15.089	14.485,44	7.242,72
	Piauí	3.872,40	3.717,50	1.858,75
	Maranhão	7.121	6.836,16	3.418,08
	Alagoas	42.615	40.910,40	20.455,20

Quanto ao potencial lignocelulósico para os resíduos da laranja (Tabela 8.5), Petruccioli *et al.* (2011) relatam que na casca da laranja

obtêm-se 7,5% de lignina e 37,1% de celulose apresentando uma relação quantitativa igual a 0,2, o que representa um valor baixo possibilitando a extração da lignina e assim facilitando a produção de recursos energéticos de forma mais favorável. Também foram encontrados valores para o bagaço da laranja, Mamaa *et al.* (2008) relatam 16% de celulose, 14% de hemicelulose e 1% de lignina, e assim com baixo valor de relação lignina/celulose (inferior a 0,1) representando elevado potencial lignocelulósico do bagaço para conversão em recursos energéticos.

**Tabela 8.5 – Potencial lignocelulósico dos resíduos da laranja (bagaço, casca)**

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Laranja	Casca	37,1	nd.	7,5	Petruccioli <i>et al.</i> , 2011
	Bagaço	16	14	1	Mamaa <i>et al.</i> , 2008

nd. = valores não determinados

## 7 Milho

O milho é uma espécie da família das gramíneas, originada do México e da Guatemala. A sua mais antiga espécie foi encontrada no México, no Vale de Tehucan datada de 7.000 anos antes de Cristo. O Teosinte ou “alimento dos deuses”, como era chamado pelos Maias, deu origem ao milho por meio de um processo de seleção artificial feita pelo homem. O Teosinte (gramínea com várias espigas sem sabugo) ainda pode ser encontrada na América Central (CIB, 2016).

Na atualidade, o Brasil é considerado o terceiro maior produtor de milho (Neves *et al.*, 2015), totalizando 79,88 milhões de toneladas no ano de 2014 (IBGE, 2015). O principal destino são as indústrias de rações para animais, sendo que uma pequena parte utilizada para consumo humano (MAPA, 2016). A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra ou safra de verão e segunda safra ou safrinha. A primeira safra é realizada em todos os estados, durante o período chuvoso, que no Nordeste ocorre no início do ano. A Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) classifica como segunda safra a safrinha propriamente dita e a safra de inverno

plantada em Rondônia, Tocantins e em determinadas regiões da Bahia (EMBRAPA, 2012).

A planta de milho é considerada uma das plantas mais eficientes na conversão de energia, consequentemente na produção de biomassa, dado a uma única semente de 260 mg produzir em torno de 0,8 a 1,2 kg de biomassa em um período de 140 dias (ANDRADE, 1995). Os resíduos provenientes da cultura do milho (*Zea mays*) podem ser divididos em sabugo, folha, colmo (caule) e palha (cobertura da espiga). Na colheita do milho, geralmente as folhas e os colmos, que são conhecidos como palhada são deixados no solo para a ciclagem de nutrientes (VALE *et al.*, 2013). O sabugo e a palha da espiga são resíduos que podem ser gerados no processamento industrial, e nesse caso, com melhores possibilidades de serem utilizados para a geração de energia (VALE *et al.*, 2013). A palhada também pode ser uma alternativa para a geração de energia, mas para a comprovação desse fato deve ser feito um aprofundamento em relação as suas características.

Conforme a Associação Brasileira de Indústrias da Biomassa (ABIB, 2011), o cultivo do milho possui um fator residual de 1,42% do peso da planta, embora Koopmans e Koppejan (1997) indiquem que a geração de resíduo na cultura do milho é da ordem de 2,3 toneladas em relação a toneladas de grãos colhidos, com 15% de teor de umidade. Dentre os resíduos de milho, o caule soma mais de 40% do total, seguido de 30% de folha e em torno de 13% de sabugo e palha; portanto, na cultura do milho, o caule e a folha têm destaque na produção de resíduo, com 7,85 toneladas por hectare. O caule produz 42% do total de matéria seca de resíduo da cultura do milho, sendo cerca de três vezes mais do que a produção do sabugo (VALE *et al.*, 2013).

Os dados dos resíduos de milho (palha, caule, folha e sabugo) que são produzidos no processamento do milho na região nordeste estão apresentados na Tabela 8.6. O potencial lignocelulósico do caule, palha e bagaço de milho perante a concepção de alguns autores é apresentado na Tabela 8.7. Dada a variação das composições apresentadas, para o caule a relação lignina/celulose pode ser encontrada entre diferentes valores, variando de valores inferiores a 0,3 a valores superiores a 1,0,

porém com possibilidades ao desenvolvimento de bioprodutos eficientes a depender da relação apresentada.

**Tabela 8.6 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do milho na Região Nordeste (palha, caule, folha e sabugo), valor médio de cultivos de 2009 a 2013**

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
Milho (em grão)	Sergipe	585.193	555.933	789.424,86
	Bahia	2.085.098	1.980.843	2.812.797,06
	Pernambuco	86.556	82.228	116.763,76
	Paraíba	41.835	39.743	56.435,06
	Rio G. do Norte	22.548	21.421	30.417,82
	Ceará	372.889	354.245	503.027,9
	Piauí	554.163	526.455	747.566,1
	Maranhão	762.283	724.169	1.028.319,98
Alagoas	21.931	20.834	29.584,28	

**Tabela 8.7 – Potencial lignocelulósico do caule, da palha e do sabugo do milho**

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Milho	Caule	38,5	28	15	Sun e Tomkinson, 2000
		42,7	23,6	17,5	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		37,99	32,06	11,95	He <i>et al.</i> , 2006
		35	25	35	Gomez <i>et al.</i> , 2010
		63	nd.	17	Gani e Naruse, 2006
	Palha	35,6	22,1	12,3	Hayn <i>et al.</i> , 1993
		41,18	nd.	14,14	Salazar <i>et al.</i> , 2005
		38	26	19	Zhu <i>et al.</i> , 2005
		45	35	15	Castro, 2009
		40,26	nd.	7,68	Aguiar <i>et al.</i> , 2009
	Sabugo	30,2	31,7	nd.	Zhang <i>et al.</i> , 2013
		31,7	34,7	20,3	Cruz <i>et al.</i> , 2000
		40,3	28,7	16,6	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		45	35	15	Prasad <i>et al.</i> , 2007
		43,2	31,8	14,6	Sun e Tomkinson, 2000

nd. = valores não determinados

Em relação a palha do milho (Tabela 8.7), entre os trabalhos utilizados, em geral apresentou-se uma relação quantitativa lignina/celulose variando de 0,19 a 0,50, intervalo eficiente para extração e aplicação de suas frações. Para o sabugo do milho, a relação lignina/celulose apresentada por alguns autores na literatura variaram de 0,3 a 0,6, valores capazes de agregar valor a produção de recursos energéticos (Tabela 8.7).

## **8 Mandioca**

Mandioca é um tipo de arbusto que pertence à família botânica Euphorbiaceae, original da América do Sul, mais precisamente do Brasil. Exerceu papel relevante para as populações nativas, mantendo a sua posição de principal fonte de carboidrato do continente (MAPA, 2015b). Caracterizado por possuir desenvolvimento ideal em regiões com altitude entre 600 e 800 metros, temperaturas anuais entre 20°C e 27°C e precipitação entre 1.000 a 1.500 milímetros por ano, com uma insolação média anual de 12 horas, o desenvolvimento das raízes é melhor em solos de textura arenosa e média e solos leves que facilitam a colheita e são livres de encharcamento, vale destacar também que devido ao seu desenvolvimento inicial lento é importante escolher áreas com inclinação menor que 8%. A cultura é bem tolerante às condições de acidez dos solos, mas bastante sensível a alto pH e a solos salinos. Entretanto, a cultura tem uma grande capacidade em se adaptar às mais diferentes condições de cultivo, é pouco exigente em relação à água e fertilidade (MAPA, 2015b).

O Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de mandioca, participando com 12,7% do total. De acordo com o IBGE, para o ano de 2014 a produção de mandioca no Brasil totalizou 23,2 milhões de toneladas superior 7,6% ao ano anterior. A mandioca é cultivada em todas as regiões do Brasil, assumindo destacada importância na alimentação humana e animal, além de ser utilizada como matéria-prima em inúmeros produtos industriais (PORTAL ATIVIDADE RURAL, 2016).

A partir da cultura da mandioca podem-se obter diversos produtos, os principais são a farinha e a fécula (amido). Os resíduos

gerados na produção de farinha são 18% de cascas, 30% de manipueira e 24% de crueira (aglomerados) e perdas com a evaporação. Segundo ABIB (2011), de um modo geral, 66% do peso da mandioca correspondem a seu resíduo (rama). De acordo com Lim (1986), em torno de 10 a 25 toneladas de caule e folha por hectare são gerados na cultura da mandioca. Os dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento da mandioca na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013, estão apresentados na Tabela 8.8. Quando leva-se em consideração o potencial lignocelulósico da mandioca (Tabela 8.9), o estudo de Vidales *et al.* (2010) exemplifica que o teor de celulose para a casca da mandioca é de 5,4% e um teor de lignina de 4,8% valores relativamente baixos porém com relação lignina/celulose de 0,9. No entanto, com a aplicação de tecnologias de uma biorrefinaria essas perspectivas podem ser melhoradas.

**Tabela 8.8 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento da mandioca na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013**

Cultivo	Localidade	Produção Total (t)	Produção Industrializada (t)	Quantidade de Resíduos (t)
<b>Mandioca (toneladas)</b>	Sergipe	468.985	468.985	309.530,10
	Bahia	2.733.935	2.733.935	1.804.397,10
	Pernambuco	510.849	510.849	337.160,34
	Paraíba	200.801	200.801	132.528,66
	Rio G. Norte	310.099	310.099	204.665,34
	Ceará	582.593	582.593	384.511,38
	Piauí	416.538	416.538	274.915,08
	Maranhão	1.478.437	1.478.437	975.768,42
	Alagoas	292.995	292.995	193.376,70

**Tabela 8.9 – Potencial lignocelulósico da casca da mandioca**

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
<b>Mandioca</b>	Casca	5,4	nd.	4,8	Vidales <i>et al.</i> , 2010

nd. = valores não determinados

## 9 Coco-de-baía

O coqueiro (*Cocos nucifera* L) é nativo das ilhas do Oceano Pacífico, foi introduzido no Brasil pelo estado da Bahia, por isso a denominação comum de coco-da-baía, disseminando-se pelo litoral nordestino especialmente por ser típico de clima tropical (FOALE e HARRIES, 2009; ARAGÃO *et al.*, 2009).

Atualmente, o coco é um dos frutos mais difundidos no mundo, tanto na forma *in natura* quanto na forma industrializada. Porém a exploração comercial restringe-se a países que possuem condições específicas de cultivo como elevada radiação solar, solos arenosos, umidade e boa precipitação (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2011). No Brasil, aproximadamente 70% da produção advém de pequenos agricultores (SIQUEIRA *et al.*, 2002; ARAGÃO *et al.*, 2009).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2017), houve um aumento de produção mundial nas últimas décadas, bem como no Brasil. No ano de 2014 a produção de coco foi 1.946.073 mil frutos em uma área colhida de 250.554 hectares (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014). A região Nordeste representa 82,28% do total da área plantada de coco e 69,25% da produção nacional, com os estados da Bahia, Sergipe e Ceará correspondendo por mais da metade da produção brasileira (IBGE, 2015). Quando comparado a países da América do Sul, o Brasil se sobressai com 80% de toda a produção (FAO, 2017). No Brasil, a produção se destina basicamente a produção de coco seco *in natura* e/ou na forma de produto industrializado (coco-ralado e leite de coco) com destaque para a produção de água de coco (MARTINS e JÚNIOR, 2014).

Cerca de 85% da produção nacional de coco verde é comercializada como coco seco, sendo que a metade é utilizada para fins culinários e o resto é industrializada, gerando vários produtos (SENHORAS, 2004). De acordo com Sindicato dos Produtores de Coco (SINDCOCO, 2015), o total de coco seco produzido no país é comercializado da seguinte forma: 35% destinam-se à agroindústria, que produz, principalmente, coco ralado e leite de coco, 35% destinam-

se aos mercados Sudeste/Sul para atender às pequenas indústrias, a exemplo de docerias, sorveterias, entre outros, e os demais 30% ao consumo *in natura*. Aliado a isto, para o cálculo do resíduo do coco-da-baía considerou-se ainda que 60% do peso do coco-da-baía correspondem à casca (ABIB, 2011). Assim, na Tabela 8.10 estão apresentados os dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013.

Também foi pesquisado o potencial lignocelulósico para os resíduos do coco (Tabela 8.11), de acordo com Raveendran *et al.* (1995) é 36,3% de celulose, 25,1% de hemicelulose e 28,7% de lignina. Comparando com os resultados obtidos por Rambo *et al.* (2015) há uma leve coincidência para o teor de celulose apresentando uma diferença de 10,7%. A relação lignina/celulose para a casca do coco é relativamente alta, obtendo uma relação de 0,79 para Raveendran *et al.* (1995) e 1,1 para Rambo *et al.* (2015). Além disso, também foi possível encontrar o potencial lignocelulósico do pó e da fibra do coco, com relação lignina/celulose de 0,4 e 1,2 respectivamente, como está mostrando na Tabela 8.11.

**Tabela 8.10 – Dados da cultura e quantidade de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía na Região Nordeste, valor baseado na média das culturas de 2009 a 2013**

Cultivo	Localidade	Produção Total (mil frutos)	Produção Industrializada (mil frutos)	Quantidade de Resíduos (mil frutos)
	Sergipe	251.181	175.826,70	105.496,02
	Bahia	523.840	366.688	220.012,80
	Pernambuco	113.828	79.679,60	47.807,76
	Paraíba	61.192	42.834,40	25.700,64
<b>Coco-da-baía</b>	Rio G. Norte	60.573	42.401,10	25.440,66
	Ceará	255.571	178.899,70	107.339,82
	Piauí	13.797	9.657,90	5.794,74
	Maranhão	8.257	5.779,90	3.467,94
	Alagoas	52.299	36.609,30	21.965,58

**Tabela 8.11 – Potencial lignocelulósico dos resíduos do coco (casca externa, pó e fibra)**

Cultivo	Resíduo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referências
Coco	Casca externa	36,3	25,1	28,7	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
		32,4	17,5	36	Rambo <i>et al.</i> , 2015
	Pó	47,7	25,9	17,8	Raveendran <i>et al.</i> , 1995
	Fibra do coco	36,43	0,15-0,25	41-45	Gomez <i>et al.</i> , 2010

## 10 Conclusão

Considerando os resíduos referenciados foi possível perceber que quanto ao potencial lignocelulósico os resíduos da região Nordeste apresentam-se elevado potencial para aplicação industrial, seja na geração de energia de forma direta como combustíveis seja na elaboração de novos produtos ou bioprodutos. A facilidade e viabilidade deste uso torna-se indiretamente relacionado a relação quantitativa lignina/celulose, isso em especial quando na necessidade de extração de ambas as frações ou tratamentos em suas frações. Pode-se assim afirmar que a região Nordeste possui competência e potencial para abrigar uma biorrefinaria que tenha como objetivo a obtenção de produtos como biocombustíveis, energia, insumos químicos, materiais e alimentos, em especial dado a grande geração de resíduos potenciais a aplicação lignocelulósica. Vale ressaltar ainda a importância do entendimento e consideração do custo/benefício em relação a transporte, armazenamento dos resíduos e da quantidade da geração de resíduos que podem atender a demanda necessária e os respectivos cultivos para melhor aplicação em biorrefinarias.

## Referências bibliográficas

- ABIB – Associação Brasileira de Indústrias da biomassa. Inventário Residual Brasil, 2011. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/accounts/200968>>. Consultado em 13 de setembro de 2015.
- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool & Açúcar*, n.67, p.23-25, 1993.
- AGUIAR, C. M.; RODRIGUES, D. C.; LUCENA, S. L. **Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos: Produção de celulases por *Aspergillus niger* e efeitos do pré tratamento.** Toledo, Paraná.

- ALEXANDRINO, A. M.; FARIA, H. G.; SOUZA, C. G. M.; PERALTA, R. M. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack:Fr). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(2): 364-368, abr.-jun. 2007.
- ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico**. Dissertação de mestrado em Ciências em tecnologia de processos químicos e bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- ALONSO, A.; PÉREZ, P.; MORCUENDE, R.; MARTINEZ-CARRASCO, R. Future CO<sub>2</sub> concentrations, though not warmer temperatures, enhance wheat photosynthesis temperature responses. **Physiologia Plantarum**, v. 132, n. 1, p. 102–112, 2008.
- AMMERMAN, C.B.; HENRY, P.R. Citrus and vegetable products for ruminants animals. **Feeding and Nutrition**. University of Florida, 1993.
- ANDRADE, G. Efeito da forma e do tamanho da semente no desempenho no campo de dois genótipos de milho londrina. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 1, p. 62-65, 1995.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. BIG – Banco de Informações de Geração. Matriz de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>.
- ARAGÃO, W.M.; RIBEIRO, MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. (Ed.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p. p. 37- 60
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z. G. Orange peels: The effect of blanching and calcium hidroxide addition on ensiling losses. **Biological Wastes**, v.23, p.73-77, 1988.
- BEGUIN, P.; AUBERT, J. P. The biological degradation of cellulose. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 13, n. 1, p. 25-28, 1994.
- BIOMASSA-BR – Energias Renováveis. O que é a Biomassa - saiba mais sobre Biomassa a energia do presente brasileiro e mundial. Disponível na internet via www url: <http://www.biomassabr.com/bio/biomassabr.asp>
- BRANCO, A. F., ZEOULA, L. M., PRADO, I. N. Valor nutritivo da polpa de citrus in natura para ruminantes. **Revista Unimar**, v.16, (Suplemento 1), p. 37-48, 1994.
- BRAUN, B.; DORGAN, J. R.; CHANDLER, J. P. Cellulosic Nanowhiskers. Theory and Application of Light Scattering from Polydisperse Spheroids in the Rayleigh–Gans–Debye Regime. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 4, p. 1255-1263, 2008.
- CARVALHO, D. M. **Caracterização físico-química e polpação etanol/soda do bagaço e da palha de cana-de-açúcar**. 2012. 150 f. Dissertação (Magister Scientiae) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 2012.
- CARVALHO, F.C. Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos, SP. **Anais**. São Carlos, SP: Embrapa/UEPAE, 1992, p. 7-28.
- CASTRO, H. F. Processos Químicos Industriais II, Apostila 4, **Papel e celulose**. Universidade Federal de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena (EEL), 2009.
- CIB – Conselho de Informações sobre Biotecnologia. Milho, tecnologia do campo à mesa. Disponível em: <[http://www.cib.org.br/pdf/guia\\_do\\_milho\\_CIB.pdf](http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf)>. Consultado em Janeiro de 2016.
- CITRUS - Associação Nacional dos Exportadores dos Sucos Cítricos. História da laranja. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com/noticias/?id=249287>>. Consultado em 10 de Janeiro de 2016.
- COUTINHO, P. L. A.; BOMTEMPO, J. V. Uso de roadmaps tecnológicos para favorecer o ambiente de inovação em matérias primas renováveis. **Anais... SIMPOI**, 2010

- CRUZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Preparation of fermentation media from agricultural wastes and their bioconversion to xylitol. **Food biotechnology**, v.14, p.79-97, 2000.
- DEMIRBAS, M. F. Biorefineries for biofuel upgrading: a critical review. **Applied Energy**, v. 86, (Supplementary 1), p. 151-161, 2009.
- DIOLA, V.; SANTOS, F.A. Fisiologia. In: SANTOS, F., BORÉM, A., CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Alcool – Tecnologias e Perspectivas**. Viçosa – UFV. p. 487-517, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>.
- DUVAL, A.; LAWOKO, M. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano structured materials. **Reactive and Functional Polymers**, v. 85, p. 78-96, 2014.
- ELLIOTT, S. R.; Sustainability: an economic perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 44, p. 263-277, 2005.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biorrefinarias. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48750/1/biorrefinaria-modificado-web.pdf>. Consultado em 22 de Janeiro de 2016.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Milho e Sorgo. Cultura do Milho, Apresentação. Sistema de Produção, 1, 8ª edição, outubro 2012. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm)>.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production. Disponível em: <[www.fao.org](http://www.fao.org)>. Consultado em 08 de Novembro de 2017.
- FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions**, Walter de Gruyter: Berlin, 1989.
- FOALE, M.; HARRIES, H. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Coconut (*Cocos nucifera*). In: ELEVITCH, C. R. (Ed.). **Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry**, Holualoa, Hawaii: Permanent Agriculture Resources (PAR), 2009. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso em Setembro de 2015.
- GALBE, M.; ZACCHI, G. Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 108, p. 41-65, 2007.
- GANI, A. NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, v. 32, p. 649-661, 2007.
- GIRISUTA, B.; DUSSAN, K.; HAVERTY, D.; LEAHY, J. J.; HAYES, M. H. B.; A kinetic study of acid catalyzed hydrolysis of sugar cane bagasse to levulinic acid. **Chemical Engineering Journal**, v. 217, p. 61-70, 2013.
- GOH, C. S.; TAN, K. T.; LEE, K. T.; BHATIA, S. Bio-ethanol from lignocellulose: status, perspectives and challenges in Malaysia. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4834-4841, 2010.
- GÓMEZ, E.O.; SOUZA, R.T.G.; ROCHA, G.J.M.; ALMEIDA, E.; CORTEZ, L.A.B. A palha de cana-de-açúcar como matéria-prima para processos de segunda geração. In: CORTEZ (Ed.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: PeD para produtividade sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, p. 637-659, 2010.
- GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M.; Validação de metodologia para a caracterização química do bagaço da cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.
- HAYN, M.; STEINER, W.; KLINGER, R.; STEINMULLER, H.; SINNER, M.; ESTERBAUER, H. Basic research and pilot studies on the enzymatic conversion of lignocellulosics. In: **Bioconversion of Forest and Agricultural Plant Residues**, ed. J.N. Saddler, CAB International, Wallingford, pp. 33-72 (1993).
- HE, F.; YI, W.; BAI, X. Investigation on caloric requirement of biomass pyrolysis using TG–DSC analyzer. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 2461–2469, 2006.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Agricultura, Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Consultado em 21 de Agosto de 2015a.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=se>>. Consultado em 20 de Novembro de 2015b.
- INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Dados de eficiência energética. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://www.inee.org.br/>>.
- IQBAL, Q. J. **Microbiological Conversion of Waste Fruits and Vegetables into Ethanol**, Department of Zoology, University of Punjab, Pakistan Research Repository, 2005.
- IRSHAD, M.; ANWAR, Z.; BUT, H. I.; AFROZ, A.; IKRAM, N.; RASHID, U. The industrial applicability of purified cellulose complex indigenously produced by *Trichoderma viride* through solid-state bio-processing of agro-industrial and municipal paper wastes. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 145-157, 2013.
- ISROI, M. R.; SYAMSIAH, S.; NIKLASSON, C.; CAHYANTO, M. N.; LUNDQUIST, K.; TAHERZADEH, M. J. Biological pretreatment of lignocelluloses with white-rot fungi and its applications: a review. **BioResources**, v. 6, n. 4, p. 5224-5259, 2011.
- JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: International Symposium on application and management of energy in agriculture: **The Role of Biomass Fuels**. May, Delhi, India, p. 21-23. 1990.
- KIM, M.; DAY, D. F.; Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803-807, 2011.
- KOOPMANS, A.; KOPPEJAN, J. Agricultural and forest residues-generation, utilization and availability. In: Regional consultation on modern applications of biomassa energy, Regional
- KUHAD, R. C.; SINGH, A.; ERIKSSON, K. E. Microorganisms and enzymes involved in degradation of plant fiber cell walls. **Advances Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 57, p.45-125, 1997
- KULASINSKI, K.; KETEN, S.; CHURAKOV, S. V.; DEROME, D.; CARMELIET, J. A comparative molecular dynamics study of crystalline, paracrystalline and amorphous states of cellulose. **Cellulose**, v. 21, n. 3, p. 1103-1116, 2014
- KUMAR, P.; BARRETT, D. M.; DELWICHE, M. J.; STROEVE, P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 48, n. 8, p. 3713-3729, 2009.
- LIM, K.O. The energy potential and current utilization of agriculture and logging wastes in Malaysia. **Renewable Energy Review Journal**, v. 8, n. 2, December 1986, RERIC-AIT, Bangkok.
- LU, Y.; YANG, B.; GREGG, D.; SADDLER, J. N.; MANSFIELD, S. D. Cellulase adsorption and an evaluation of enzyme recycle during hydrolysis of steam exploded softwood residues. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 98, n. 1, p. 641-654, 2002.
- MACEDO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bioethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v.14, n.1, p. 77-81, 1998.
- MAMAA, D.; KOURTOGLOUA, E.; CHRISTAKOPOULOS, P. Fungal multienzyme production on industrial by-products of the citrus-processing industry. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2373-2383, 2008.
- MAPA - Ministério da Agricultura da Pecuária e do Abastecimento. Ministério da Agricultura, Milho. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>.
- MARTIN, C. Biorrefinaria Industrial. **Revista O Papel** – março, 2011.
- MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L.A. Brasil. Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010. Aracaju – Embrapa: Tabuleiros Costeiros. Documentos 164, 2011. 28p. Disponível em <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_164.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf)>.

- ARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L.A. Brasil. Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014. Aracaju – Embrapa: Tabuleiros Costeiros. Documentos 184, 2014. 53p. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014433/producao-e-comercializacao-de-coco-no-brasil-frente-ao-comercio-internacional--panorama-2014>.>
- MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia da cana. In: SANTOS, F. A.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.). **Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologias e Perspectivas**. 2. ed. Viçosa, MG, 2012. p. 547-577.
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 37-46, 2002.
- MICHELIN, M. POLIZELI, M. L. T. M.; SILVA, D. P.; RUZENE, D. S.; VICENTE, A. A.; JORGE, J. A.; TERENCEZ, H. F.; TEIXEIRA, J. A. Production of xylanolytic enzymes by *Aspergillus terricola* in stirred tank and airlift tower loop bioreactors. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 12, p. 1979-1984, 2011.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Clima, Energia, Energias Renováveis, Biomassa, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energiasrenovaveis/biomassa>>. Acesso em Agosto de 2015. Consultado em 17 de Setembro de 2015
- NASCIMENTO, S. S. A Geopolítica da Agricultura Sergipana, 2012. Disponível em <<http://ww.infonet.com.br/economia/ler.asp?id=150866>>. Consultado em janeiro de 2016.
- NEUREITER, M.; DANNER, H.; THOMASSER, C.; SAIDI, B.; BRAUN, R. Dilute-acid hydrolysis of sugarcane bagasse at varying conditions. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 98-100, p. 49-58, 2002.
- NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. Associação Nacional dos Exportadores dos Sucos Cítricos – CITRUS. O Retrato da Citricultura Brasileira. Consultado em 16 de Dezembro de 2015.
- NIU, L.Y.; WU, J.H.; LIAO, X.J.; CHEN, F.; WANG, Z.F.; ZHAO, G.H.; HU, X. Physicochemical characteristics of orange juice samples from seven cultivars. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 1, p. 41-47, 2008.
- PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L.; Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr/jun. 2011
- PAULA, M.O.; TINÓCO, I.F.F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland. Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.
- PÉREZ, J.; MUNÓZ-DORADO, J.; De la Rubia, T.; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **International Microbiology**, v. 5, p. 53-63, 2002.
- PETRUCCIOLI M.; RAVIV M.; DI SILVESTRO R.; DINELLI G. Agriculture and agro-Industrial wastes, byproducts, and wastewaters: origin, characteristics, and potential in bio-based-compounds production. In: **Environmental Biotechnology and Safety**, AMSTERDAM, ELSEVIER, 2011, pp. 531 – 545.
- PINTO, A. P.; MIZUBUTI, I. Y.; RIBEIRO, E. L. A.; FEY, R.; PALUMBO, G. R.; ALVES, T. C. Avaliação da silagem de bagaço de laranja e silagem de milho em diferentes períodos de armazenamento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.29, n.4, p.371-377, 2007.
- PITARELO, A.P. **Avaliação da susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar à bioconversão via pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química, sub-área de Química Orgânica) Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2007.

- PORTAL ATIVIDADE RURAL. Cultura da Mandioca. Sistemas de Produção – Embrapa. Disponível na internet via [www url: http://atividaderural.com.br/artigos/5602ee3b2a182.pdf](http://atividaderural.com.br/artigos/5602ee3b2a182.pdf). Arquivo capturado em 10 de Janeiro de 2016.
- PRASSAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H. C.; Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, p. 1-39, 2007.
- RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, p. 696-703, 2015.
- RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v. 26, p. 863-871, 2003.
- RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K. C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. **Fuel** 1995, v. 74, n. 12, 1995.
- RAVINDRAN, R. JAISWAL, A.K. A Comprehensive Review on Pre-treatment Strategy for Lignocellulosic Food Industry Waste: Challenges and Opportunities. **Bioresource Technonology**, v. 199, p. 92-102, 2015.
- RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRES, P.; CONVERTI, A.; DOMINGUÉX, J. M. Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, 2008.
- SALAZAR, R. F. S.; SILVA, G. L. P.; SILVA, M. L. C. P. **Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compostos**. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Lorena, São Paulo, Julho 2005.
- SANTOS, F. A. **Avaliação do Pré-tratamento hidrotérmico de palhas de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2013. Dissertação (Doctor Scientiae) Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Manual de Referência para as Casas de Farinha**, Alagoas, 2006.
- SENHORAS, E. M. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, Maringá, n.5, 2004.
- SILVA, G. M. **Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com amônia aquosa para a produção de etanol**. 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- SILVA, V.L.M.M.; GOMES, W.C.; ALSINA, O.L.S.; Utilização do bagaço da cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.
- SINDCOCO – Sindicato Nacional dos Produtores de Coco do Brasil. Disponível em: <<http://www.sindicoco.com.br/index.php#&slider21=1>>. Consultado em 18 de setembro de 2015.
- SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. A introdução do coqueiro no Brasil: importância histórica e agrônômica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Documentos, 47), 2002. 24 p. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/download/Documentos47.doc>>. Consultado em 10 de Janeiro de 2016.
- SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. São Paulo: FEFAP, 2006.
- SUMMOOGUM-UTCHANAH, S.L.; SWAMI, J. Investigating the extraction of alcohol from agricultural wastes in Mauritius. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, p. 2255–2262, 2015.
- SUN, R. C.; TOMKINSON, J. Essential guides for isolation/purification of polysaccharides, ed. chap. In: WOILSON, I., ADLARD, T., POOLE, C., COOK, M. (eds). **Encyclopedia of separation sciences**. London: Academic Press, 2000. P. 4568-74.
- SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

- SOUZA, D.A. (2006) Utilizando a polpa cítrica úmida. Cadeia Produtiva - Dicas de Sucesso. Disponível na internet via [www url: www.farmpoint.com.br](http://www.farmpoint.com.br). Arquivo capturado em 29 de Setembro de 2015.
- TAVARES, V. B.; SIVIÉRI, K.; CERON, C. R.; SILVA, R.; TRABUCO, E. Utilização de resíduo líquido de indústria de processamento de suco de laranja como meio de cultura de *Penicillium citrinum*: depuração biológica do resíduo e produção de enzima. **Revista Química Nova**, v. 21, p. 722-725, 1998.
- TEIXEIRA, A. M.; GONÇALVES, L. C.; VELASCO, F.O. RIBEIRO JÚNIOR, G. O.; MAGALHÃES, F. A. Polpa cítrica na alimentação de bovinos de leite. In: GONÇALVES, L.C., BORGES, I., FERREIRA, P.D.S. (eds) **Alimentos para gado de leite**, Cap.7, Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009.
- TEIXEIRA, J. C. Utilização da polpa cítrica na alimentação de bovinos leiteiros. Parte I. **Milkbizz Technology**, v. 1, n. 3, p.25-28, 2001
- TIENNE, L.; DESCHAMPS, M. C.; ANDRADE, A. M. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço de laranja (*Citrus sinensis*). **Revista Biomassa e Energia**, v. 1, p. 191-197, 2004.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIQUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.
- USDA - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>>. Consultado em 14 de Dezembro de 2015.
- VALE, A.T.; DANTAS, V.F.S.; ZAMBRZYCKI, G.C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays*). **Evidência**, Joaçaba v. 13 n. 2, p. 153-164, jul./dez. 2013
- VIDALES, L. T. CUNHA E PAULA, S. R. SEBEN, L. L. DE PAULA, I. C. FILHO, U. C. **Identificação de resíduos vegetais com potencial para obtenção de celulose: Estudo no Rio Grande do Sul e em Minas Gerais**. In: XVIII Simpósio de Engenharia de Produção. Gestão de Projetos e Engenharia da Produção, Bauru, São Paulo, Novembro 2010.
- ZHANG, L.; YU, H.; WANG, P.; DONG, H.; PENG, X. Conversion of xylan, D-xylose and lignocellulosic biomass into furfural using AlCl<sub>3</sub> as catalyst in ionic liquid. **Bioresour Technology**, v. 130, p. 110-116, 2013.
- ZHANG, Q.; CHANG, J.; WANG, T.; XU, Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. **Energy Conversion and Management**, Philadelphia, v. 48, n. 1, p. 87-92, Jan. 2007.
- ZHANG, Y. H. P.; LYND, L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 88, n. 7, p. 797-824, 2004.
- ZHU, Y.; LEE, Y. Y. ELANDER, R. T. Optimization of dilute-acid pretreatment of corn stover using a high-solids percolation reactor. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 124, p. 1045-1054, 2005.

## CAPÍTULO 9

# RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA EM COMUNIDADES RURAIS

---

Isabelly Pereira da Silva<sup>1</sup>; Rafael Mota de Aragão Lima<sup>2</sup>;  
Denise Santos Ruzene<sup>3</sup>; Daniel Pereira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*

<sup>3</sup>*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe*

## 1 Introdução

A energia elétrica tornou-se essencial às atividades humanas e ao desenvolvimento socioeconômico de diversos países e regiões. A demanda energética no mundo nos últimos anos adquiriu maior dimensão devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento tecnológico gerando problemas, como possibilidade do esgotamento de recursos e impacto ao meio ambiente (ANEEL, 2008). Deste modo, surge a necessidade de investir no desenvolvimento de fontes alternativas e renováveis para suprir essa demanda por energia. No Brasil, foi sancionada a lei nº 10.438 em 2002 que criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) que estipula a meta de que em até 20 anos 10% do consumo anual de energia elétrica no país seja atendido pelas fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa (BRASIL, 2002).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Os usos mais comuns da biomassa como fonte de energia referem-se à geração de calor, eletricidade, cocção e combustível (CHAVES *et al.*, 2016).

O Brasil é um grande produtor agroindustrial, sendo atividades correlatas ao agronegócio a principal fonte de renda de muitos

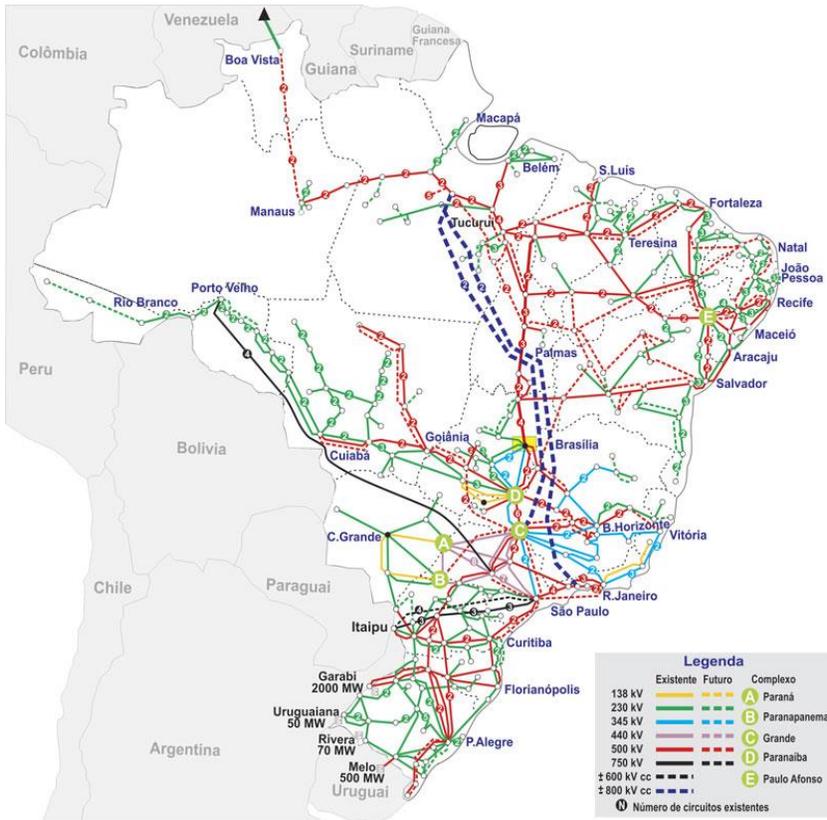
brasileiros. Dentro deste contexto, e com o conhecimento que no campo há uma grande geração de resíduos surge a oportunidade de seu aproveitamento como fonte de biomassa para produção de energia.

Sabe-se ainda que há dificuldades quanto a distribuição de energia elétrica no Brasil, em especial no alcance para todos os brasileiros. Em 2003 foi criado o programa Luz para Todos visando suprir esta carência e fornecer acesso a energia elétrica à população do meio rural brasileiro (BRASIL, 2003). Apesar dos avanços neste sentido, ainda há muitas famílias que não recebem energia elétrica, sendo o programa prorrogado até 2018 (BRASIL, 2011, 2014). Neste contexto, tem-se o objetivo de discutir o cenário do aproveitamento energético de resíduos em comunidades rurais do Nordeste tanto como solução energética como de destinação adequada desses resíduos, gerando uma melhoria na qualidade de vida dos produtores locais.

## **2 Sistemas de energia elétrica no Brasil**

O Brasil é um país com uma vasta dimensão territorial, sendo considerado um país com dimensão continental. Devido a isso, a ampla distribuição de energia elétrica para toda a população se torna um desafio, principalmente nos lugares de mais difícil acesso. O fornecimento de energia elétrica no Brasil é suprido predominantemente pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), que alcança a maior parte do mercado brasileiro. As linhas de transmissão interligadas ao SIN abrangem as regiões Sul, Sudeste, Centro-oeste, Nordeste e apenas parte do Norte, como representado na Figura 9.1. Existem também os chamados Sistemas Isolados (SISOL) com o objetivo de suprir o fornecimento de energia elétrica gerando e distribuindo para os consumidores sem conexão às redes do SIN por razões técnicas ou econômicas (ONS, 2017a).

**Figura 9.1 – Transmissão do Sistema Interligado Nacional – Brasil – 2017**



Fonte: ONS, 2017b

As características da população e do consumo energético do Norte diminuem a viabilidade de investimentos em linhas de transmissão para integração com o SIN, por ter baixa densidade populacional com baixa renda e baixo consumo de energia elétrica. Dessa forma, os Sistemas Isolados estão localizados predominantemente na região Norte e principalmente nas cidades do interior (ONS, 2017a). Atualmente, apenas uma capital do Norte ainda é abastecida pelos sistemas isolados, Boa Vista, a capital de Roraima, porém há um planejamento para que seja integrada ao SIN em 2024, e parte do fornecimento da energia elétrica é feita por importação da Venezuela (ONS, 2017a).

A geração de energia elétrica pelos Sistemas Isolados é feita em sua maioria por usinas termelétricas que utilizam óleo diesel como fonte, como mostra Tabela 9.1, mas também são observadas unidades operando com gás natural e biomassa. Apenas uma unidade geradora utiliza a energia hidráulica e fica situada em Roraima (ONS, 2017a). Outros estados não pertencentes à região Norte beneficiários dos Sistemas Isolados são Pernambuco, que tem a ilha Fernando de Noronha atendida pela Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e Mato Grosso através da Energisa.

O conjunto destes dois sistemas de energia elétrica no Brasil abastece grande parte da população brasileira, porém não são suficientes para suprir toda a população. Quando a distribuição de energia não ocorre pelas vias oficiais do país, a população tem como alternativa a geração de energia de forma independente. Neste contexto, surge o interesse de buscar formas de geração de energia para suprir uma demanda local com sistemas de baixa potência. No Brasil, estes sistemas independentes que geram energia para consumo próprio podem ser registrados e regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), devendo estar de acordo com as normas específicas. Esta modalidade de geração de energia é classificada como ‘geração distribuída’.

**Tabela 9.1 – Geração de energia elétrica no Sistema Isolado brasileiro – Previsão 2018**

UF	Agentes responsáveis	Local	Tipo	Combustível	Número de sistemas	Total de energia (WMh)
AC	Eletrobras Distribuição Acre	Interior	UTE	PIE-Diesel	9	229.597
			UTE	Diesel	90	1.634.984
AM	Eletrobras Distribuição Amazonas	Interior	UTE	Gás Natural	4	58.644
			UTE	PIE-Biomassa	1	43.200
AP	Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA)	Interior	UTE	Diesel	1	3.514
			UTE	PIE-Diesel	1	42.790
PA	Centrais Elétricas do Pará (CELPA)	Interior	UTE	Diesel	1	9.160
			UTE	PIE-Diesel	20	381.394
	Petrobras	Interior	UTE	Diesel	2	49.244
RO	Eletrobras Distribuição Rondônia	Interior	UTE	Diesel	26	370.847
RR	Eletrobras Distribuição Roraima	Capital	UTE	Diesel	1	136.529
			Importação	-	-	1.130.268
		Interior	UTE	Diesel	81	14.640
			PCH	-	1	28.133
	Importação	-	-	7.461		
MT	ENERGISA	Interior	UTE	Diesel	1	4.938
PE	Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)	Interior	UTE	Diesel	1	18.960
			UTE	Diesel	234	2.896.597
			UTE	Gás Natural	4	58.644
	<b>Total</b>		UTE	Biomassa	1	43.200
			PCH	-	1	28.133
			Importação	-	-	1.137.729

Legenda: UTE: usinas termelétricas; PCH: pequenas centrais hidrelétricas; PIE: produtor independente de energia elétrica.

Fonte: ONS, 2017b

### 3 Geração de energia distribuída

A Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou a geração distribuída (GD) no Brasil, trazendo as definições de microgeração e minigeração distribuída e estabelecendo os critérios para a sua operação no país, mas o conceito de geração distribuída já era definido a partir do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Segundo este decreto, geração distribuída é a produção de energia elétrica conectada diretamente ao sistema elétrico de distribuição. Com a geração distribuída a população pode gerar energia elétrica para uso próprio, e devido à característica de ter o sistema conectado a uma companhia de distribuição, a energia excedente é transmitida ao sistema sendo convertida em créditos de energia para serem usados quando a geração distribuída não for suficiente. De acordo com a potência instalada, a geração distribuída pode ser classificada como microgeração, quando menor ou igual a 75kW ou minigeração quando superior a 75kW e menor ou igual a 5 MW, conforme Tabela 9.2.

**Tabela 9.2 – Características de microgeração e minigeração distribuída**

	Potência instalada	Conexão	Fontes
<b>Microgeração distribuída</b>	Menor ou igual a 75 kW	Conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras	Cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica
<b>Minigeração distribuída</b>	Superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW		

Fonte: ANEEL, 2015; 2017a

Os incentivos para a geração distribuída no Brasil se justificam pela melhoria na eficiência do sistema, com redução de perdas nas linhas de transmissão. Além disso, o incentivo prioriza a diversificação da matriz energética e baixo impacto ambiental, já que restringe a geração distribuída a fontes renováveis ou cogeração qualificada, que siga critérios mínimos de eficiência definidos pela ANEEL. Para o consumidor o benefício é a geração de sua própria energia e ganho de crédito quando na geração de energia excedente. Este crédito é gasto em situações de maior consumo próprio podendo ser utilizado em até 60 meses pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ANEEL, 2015).

Os dados divulgados pela Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração (SGD) da ANEEL, representados na Tabela 9.3, mostram que a região que mais utiliza a geração distribuída no Brasil é a região Sudeste com 53,4% das usinas de geração distribuída no Brasil e 41,1% da potência instalada (ANEEL, 2017b). O Nordeste brasileiro, apesar do seu grande potencial de geração de energia fica em

terceiro lugar com 12,4% das usinas e 21,8% da potência instalada no Brasil.

**Tabela 9.3 – Usinas, unidades consumidoras e potência instalada com geração distribuída por tipo de geração de energia elétrica – Brasil – 2017**

Região	Quantidade de usinas				Quantidade de UCs que recebem os créditos				Potência Instalada (kW)			
	CGH	EOL	UFV	UTE	CGH	EOL	UFV	UTE	CGH	EOL	UFV	UTE
<b>Norte</b>	3	1	232	1	21	1	238	1	3.508	2	1.759	24
<b>Nordeste</b>	0	35	1.988	1	0	78	2.296	1	0	10.210	29.376	28
<b>Sudeste</b>	6	6	8.650	39	191	6	9.893	109	3.966	35	57.185	13.556
<b>Sul</b>	5	11	4.190	19	8	11	4.615	59	2.432	38	33.796	8.046
<b>Centro-Oeste</b>	6	0	1.097	7	18	0	1.177	23	5.285	0	11.512	1.318
<b>Brasil</b>	<b>20</b>	<b>53</b>	<b>16.157</b>	<b>67</b>	<b>238</b>	<b>96</b>	<b>18.219</b>	<b>193</b>	<b>15.191</b>	<b>10.286</b>	<b>133.627</b>	<b>22.972</b>

Legenda: CGH: Central Geradora Hidrelétrica; EOL: Central Geradora Eólica; UFV: Central Geradora Solar Fotovoltaica; UTE: Usina Termelétrica; UC: Unidades Consumidoras.

Fonte: ANEEL, 2017b

A fonte de geração de energia elétrica mais aproveitada para geração distribuída no Brasil é a energia solar, representando 99,1% das usinas e 73,4% da potência instalada, essas usinas têm por característica serem numerosas com baixo potencial de geração, sendo a maioria categorizada como microgeração. As usinas termelétricas totalizam 0,4% em relação ao total do país, representando 12,6% da potência instalada. Estas usinas incluem as usinas que utilizam as fontes provenientes da biomassa, a maioria utilizando-se de biogás, e apenas uma utiliza o gás natural para geração de energia (ANEEL, 2017b).

A Tabela 9.4 mostra em detalhes as fontes energéticas utilizadas na geração distribuída no Brasil. Observa-se que das usinas que têm a biomassa como fonte, a maioria utiliza a biomassa proveniente de resíduos animais representando 54,5% e em segundo lugar é a biomassa proveniente da agroindústria com 25,8%, estas usinas representam respectivamente 22,5% e 26,4% da potência instalada das usinas de biomassa. Apesar de que as usinas que utilizam a biomassa florestal representarem uma grande parcela da potência gerada, esta energia abastece uma pequena parcela das unidades

consumidoras. Dessa forma, tem-se os resíduos animais e os resíduos agroindustriais como destaques para a geração de energia distribuída.

Como observado pelos dados apresentados da Tabela 9.4, estes sistemas se caracterizam por unidades de geração de pequeno porte, sendo responsabilidade do proprietário a instalação, operação e manutenção de seu sistema. Tal investimento tem como benefício diminuir os gastos com o uso de energia elétrica, ou até garantir o fornecimento de energia elétrica que às vezes não lhe é provido. Dessa forma, percebe-se a importância da expansão da utilização de sistemas de geração distribuída no país, pois esta iniciativa do próprio consumidor fornece suporte para a ampliação do alcance da distribuição de energia elétrica para um maior número de pessoas.

**Tabela 9.4 – Usinas, unidades consumidoras e potência instalada com geração distribuída por fonte de geração de energia elétrica – Brasil – 2017**

Origem	Fonte		Capacidade instalada		
	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Quantidade de usinas	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
Biomassa	Agroindustriais	Biogás – AGR	13	26	1402,26
		Casca de Arroz	4	6	3700,00
	Floresta	Biogás – Floresta	2	5	99,00
		Gás de Alto Forno – Biomassa	1	8	5000,00
		Resíduos Florestais	3	3	3210,00
	Resíduos animais	Biogás – RA	36	128	4359,94
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás – RU	7	15	1573,38
Fóssil	Gás Natural	Gás Natural	1	2	3627,68
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	53	96	10285,60
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	20	238	15190,70
Solar	Radiação solar	Radiação solar	16157	18219	133627,42
<b>Total</b>			<b>16297</b>	<b>18746</b>	<b>182075,98</b>

Legenda: Biogás – AGR: biogás de origem da agroindustrial; Biogás – RA: biogás de origem de resíduos animais; Biogás – RU: biogás de origem de resíduos urbanos; UC: Unidades Consumidoras.

Fonte: ANEEL, 2017b

## 4 Cenário do acesso a energia elétrica no Nordeste

De acordo com dados do Censo Demográfico do ano de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme Tabela 9.5, 1,45% da população brasileira até aquele ano não tinha acesso a energia elétrica, esta porcentagem representava 2,75 milhões de brasileiros e destes 43,5% da região Nordeste e 41,3% da região Norte (IBGE, 2010). Os dados revelam ainda que 85,6% da população do Brasil sem acesso a energia elétrica se encontravam em situação rural, indicando a necessidade de uma maior preocupação com as populações rurais e principalmente das regiões Norte e Nordeste como ilustra a Figura 9.2.

Ainda baseado nos dados do Censo Demográfico do ano de 2010, da população do Nordeste em situação rural 91,2% até aquele ano teve acesso a energia elétrica de companhias distribuidoras, 7,1% sem acesso e 1,7% de outras fontes, contra 99,0%, 0,5% e 0,5% em situação urbana. Esses dados mostram uma maior dificuldade de alcance à população rural pelas companhias distribuidoras, forçando-as a buscarem outras alternativas de fontes energéticas.

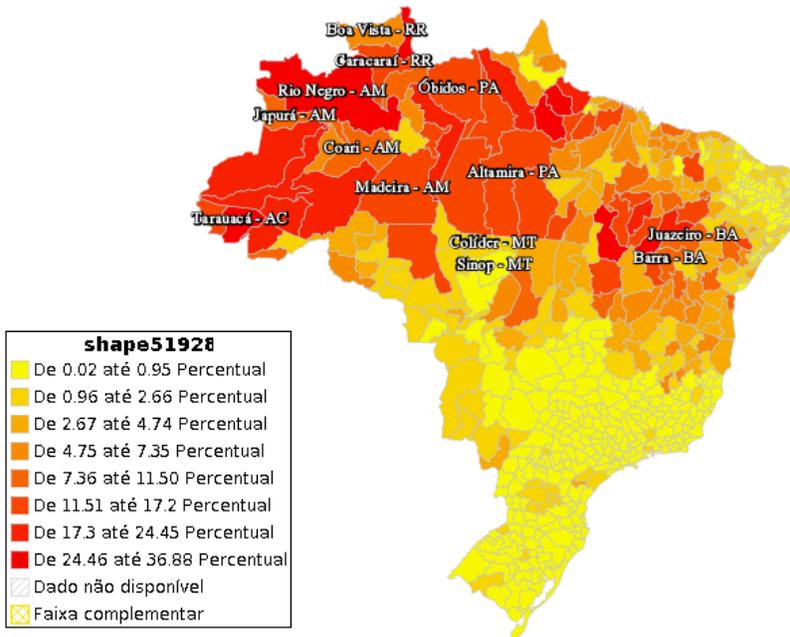
De acordo com dados do Censo Agropecuário do ano de 2006 realizado pelo IBGE na Tabela 9.6, 37,3% estabelecimentos agropecuários da região Nordeste não possuíam acesso até 2006 a energia elétrica para utilização doméstica ou no campo. Comparando esta informação com o dado discutido anteriormente sobre o acesso à energia elétrica da população rural do Nordeste, em que 7,1% não tinham acesso a energia elétrica em 2010, percebe-se que desta população os produtores agropecuários são os mais prejudicados com 37,3% dos estabelecimentos sem utilizar energia elétrica em 2006 e destes 89,3% estabelecimentos classificados como agricultura familiar. O que comprova a dificuldade dos pequenos produtores no acesso a energia elétrica.

**Tabela 9.5 – Moradores em domicílios particulares permanentes, por situação do domicílio, segundo a existência de energia elétrica – Brasil – 2010**

Região	Moradores em domicílios particulares permanentes (Pessoas)						Total
	Urbana			Rural			
	Tinham de companhia distribuidora	Tinham de outra fonte	Não tinham	Tinham de companhia distribuidora	Tinham de outra fonte	Não tinham	
Norte	11394213	156231	71511	2377021	712442	1063923	15775341
Nordeste	38297994	203903	182083	12948567	242525	1013842	52888914
Sudeste	73647102	639797	80327	5382091	57372	115472	79922161
Sul	23031085	76387	42593	4022044	23233	45745	27241087
Centro-Oeste	12355566	47938	19780	1381397	44060	113967	13962708
<b>Brasil</b>	<b>158725960</b>	<b>1124256</b>	<b>396294</b>	<b>26111120</b>	<b>1079632</b>	<b>2352949</b>	<b>189790211</b>

Fonte: IBGE, 2010 (via SIDRA)

**Figura 9.2 – Moradores em domicílios particulares permanentes sem acesso a energia elétrica – Brasil – 2010**



Fonte: IBGE, 2010 (via SIDRA)

**Tabela 9.6 – Número de estabelecimentos agropecuários, com agricultura familiar e não familiar, por local de uso da energia elétrica – Brasil – 2006**

Região	Número de estabelecimentos agropecuários								Total
	Agricultura não familiar				Agricultura familiar – Lei 11.326				
	Só na residência	Só na atividade agrícola	Nos dois	Não utiliza	Só na residência	Só na atividade agrícola	Nos dois	Não utiliza	
<b>Norte</b>	28828	506	6339	27439	161049	1214	11231	239172	475778
<b>Nordeste</b>	132110	5902	31184	97733	1289232	15298	65924	816677	2454060
<b>Sudeste</b>	84160	8136	100473	29573	400920	14281	154388	130166	922097
<b>Sul</b>	62938	4516	63023	26033	376100	8886	330509	134198	1006203
<b>Centro-Oeste</b>	47972	1197	35533	15774	120743	1401	31674	63204	317498
<b>Brasil</b>	<b>356008</b>	<b>20257</b>	<b>236552</b>	<b>196552</b>	<b>2348044</b>	<b>41080</b>	<b>593726</b>	<b>1383417</b>	<b>5175636</b>

Fonte: IBGE, 2006 (via SIDRA)

Ainda de acordo com estes dados, dos estabelecimentos do Nordeste classificados como agricultura familiar que tinham acesso à energia elétrica 94,1% usavam a energia apenas na residência, 1,1% somente na atividade agropecuária e 4,8% em ambos. Confrontando com a mesma estatística para agricultura não-familiar em que se tem respectivamente 78,1%, 3,5% e 18,4%, percebe-se a diferença dos perfis, em que o agricultor familiar utiliza-se de métodos mais rudimentares na atividade rural, não utilizando de energia elétrica, do que o agricultor não familiar que tem acesso mais favorável a energia elétrica.

Ainda de acordo com dados do Censo Agropecuário do ano de 2006, conforme Tabela 9.7, tem-se a estimativa de que a energia elétrica utilizada nos estabelecimentos do Nordeste alcançava 98,0% externa e 2,0% gerada no próprio estabelecimento. No Nordeste a fonte de energia mais utilizada era a energia solar sendo aproveitada em 78,3% dos estabelecimentos com geração no próprio estabelecimento, no Sul e Sudeste tem-se a energia hidráulica sendo aproveitada em 81,2% e 61,1%, respectivamente, e no Norte e Centro-oeste a energia por queima de combustíveis como destaque foi de 74,5% e 60,7%, respectivamente.

**Tabela 9.7 – Número de estabelecimentos agropecuários por tipo de fonte de energia elétrica usada – Brasil – 2006**

Região	Tipo de fonte de energia elétrica						Total	
	Externa	Gerada no estabelecimento				Não utiliza		
		Por energia solar	Pelo vento (eólica)	Por energia hidráulica	Por queima de combustíveis			Outra forma
<b>Norte</b>	181010	5484	35	872	20972	1938	266611	475778
<b>Nordeste</b>	1509191	23839	165	2185	4371	2305	914410	2454060
<b>Sudeste</b>	759134	991	36	1970	958	1079	159739	922097
<b>Sul</b>	844992	308	28	796	464	538	160231	1006203
<b>Centro-Oeste</b>	232084	1596	9	1249	3904	461	78978	317498
<b>Brasil</b>	<b>3526411</b>	<b>32218</b>	<b>273</b>	<b>7072</b>	<b>30669</b>	<b>6321</b>	<b>1579969</b>	<b>5175636</b>

Fonte: IBGE, 2006 (via SIDRA)

Com o conhecimento de que o Nordeste tem uma grande produção agrícola no Brasil, a qual gera uma grande quantidade de resíduos, a energia da biomassa poderia ser melhor difundida e mais aproveitada, principalmente para geração de energia elétrica nestes estabelecimentos, em que a destinação adequada destes resíduos também é um fator de preocupação.

## **5 Biomassa a partir de resíduos agroindustriais em comunidades rurais do Nordeste**

A produção agrícola no Nordeste é caracterizada por um grande número de pequenos produtores rurais com o objetivo de assegurar a subsistência por meio das atividades no campo. Segundo dados do Censo Agropecuário do ano de 2006 realizado pelo IBGE, os produtos que são cultivados em um maior número de estabelecimentos de agricultura familiar do Nordeste são: milho, feijão fradinho e mandioca, conforme indicado na Tabela 9.8. Outros produtos também têm destaque como feijão de cor, arroz em casca e feijão preto.

**Tabela 9.8 – Número de estabelecimentos agropecuários, quantidade produzida, por agricultura familiar e não familiar e tipo de produção vegetal – Região Nordeste do Brasil – 2006**

Tipo de produção vegetal	Número de estabelecimentos agropecuários (Unidades)		Quantidade produzida (Toneladas)	
	<u>Agricultura familiar – Lei 11.326</u>	<u>Agricultura não familiar</u>	<u>Agricultura familiar – Lei 11.326</u>	<u>Agricultura não familiar</u>
Milho em grão	1.049.259	106.947	3.978.083	1.507.132
Feijão fradinho	680.083	71.283	863.253	101.626
Mandioca	363.859	32.935	3.354.723	477.113
Feijão de cor	246.544	24.872	430.317	73.084
Arroz em casca	241.939	20.945	1.421.903	253.603
Feijão preto	39.895	3.324	64.544	8.373
Café	28.007	4.720	28.648	88.949
Café canephora (em grão)	5.620	1.223	7.201	31.260
Soja em grão	194	1.123	35.157	3.679.649
Trigo em grão	19	14	59	322

Fonte: IBGE, 2006 (via SIDRA)

A Tabela 9.9 apresenta de forma mais completa os produtos das lavouras temporárias e permanentes do Nordeste conforme dados coletados pelo IBGE na pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) em 2016. Verifica-se que a mandioca e o milho apresentaram uma magnitude considerável de quantidade produzida em 2016, representando uma geração de, respectivamente 4,80 e 3,16 milhões de toneladas de produto no Nordeste, ficando atrás apenas da produção de cana-de-açúcar e soja, que não são cultivos tradicionais da agricultura familiar. Dessa forma, consideram-se estes produtos de boa potencialidade para utilização de resíduos para produção de energia distribuída na zona rural do Nordeste.

A depender do produto cultivado, as produções dessas lavouras geram uma diversidade de resíduos aos quais deve-se fazer uma destinação adequada. A Tabela 9.10 apresenta os resíduos gerados por alguns produtos agroindustriais, tanto os resíduos gerados no campo com o cultivo e a colheita, como também os resíduos gerados a partir da transformação em um produto de maior valor agregado.

**Tabela 9.9 – Quantidade produzida das lavouras temporárias e permanentes – Região Nordeste do Brasil – 2016**

Produto de lavouras temporárias	Quantidade produzida (Toneladas)	Participação na produção nacional (%)	Produto de lavouras permanentes	Quantidade produzida (Toneladas)	Participação na produção nacional (%)
<b>Cana-de-açúcar</b>	55.698.720	7,25%	<b>Banana (cacho)</b>	2.285.796	33,79%
<b>Soja (em grão)</b>	5.145.197	5,34%	<b>Laranja</b>	1.744.673	10,11%
<b>Mandioca</b>	4.806.999	22,80%	<b>Mamão</b>	1.016.252	71,33%
<b>Milho (em grão)</b>	3.161.408	4,93%	<b>Manga</b>	710.001	70,85%
<b>Algodão herbáceo (em caroço)</b>	954.098	27,54%	<b>Coco-da-baía</b>	677.634	76,74%
<b>Abacaxi</b>	580.905	32,34%	<b>Maracujá</b>	489.898	69,64%
<b>Melão</b>	570.838	95,71%	<b>Uva</b>	323.955	32,91%
<b>Melancia</b>	545.194	26,08%	<b>Goiaba</b>	191.078	46,05%
<b>Tomate</b>	538.566	12,92%	<b>Sisal ou agave (fibra)</b>	180.948	100,00%
<b>Cebola</b>	324.488	19,58%	<b>Limão</b>	169.123	13,40%
<b>Batata-inglesa</b>	318.681	8,27%	<b>Dendê (cacho de coco)</b>	157.845	9,58%
<b>Feijão (em grão)</b>	302.704	11,57%	<b>Café (em grão)</b>	130.365	4,32%
<b>Arroz (em casca)</b>	271.226	2,55%	<b>Cacau (em amêndoa)</b>	115.756	54,13%
<b>Batata-doce</b>	170.601	25,48%	<b>Castanha de caju</b>	72.999	97,92%
<b>Sorgo (em grão)</b>	91.034	7,89%	<b>Borracha (látex coagulado)</b>	44.675	14,15%
<b>Mamona (baga)</b>	23.623	95,95%	<b>Tangerina</b>	34.247	3,43%
<b>Trigo (em grão)</b>	19.800	0,29%	<b>Palmito</b>	27.259	23,20%
<b>Amendoim (em casca)</b>	9.782	1,73%	<b>Pimenta-do-reino</b>	5.590	10,27%
<b>Fumo (em folha)</b>	8.123	1,20%	<b>Abacate</b>	5.273	2,70%
<b>Alho</b>	5.710	4,31%	<b>Guaraná (semente)</b>	2.748	73,75%
<b>Fava (em grão)</b>	3.609	99,23%	<b>Urucum (semente)</b>	2.746	21,42%

Nota: O dado disponibilizado pelo IBGE da quantidade produzida de coco-da-baía é expresso em mil frutos e o valor foi convertido utilizando estimativa da CENBIO (2012) que considera uma média de 500g por fruto.

Fonte: IBGE, 2016 (via SIDRA)

**Tabela 9.10 – Resíduos gerados a partir de produtos agroindustriais**

<b>Produto</b>	<b>Resíduo do cultivo e colheita</b>	<b>Resíduo do beneficiamento e industrialização</b>
<b>Cana-de-açúcar</b>	Palhada (palha e ponteira)	Álcool: bagaço; Açúcar: torta de filtro, vinhaça
<b>Mandioca</b>	Folhas, caule, cepa	Casca, crueira, bagaço, manipueira
<b>Milho</b>	Palhada (folhas e caule)	Sabugo
<b>Feijão</b>	Palhada (talos) e vagem	-
<b>Arroz</b>	Hastes e folhas	Casca
<b>Soja</b>	Palhada (hastes, folhas e vagens)	-
<b>Banana</b>	Pseudocaule, folhas	Casca, engaço
<b>Laranja</b>	-	Casca, bagaço
<b>Coco-da-baía</b>	Seco: engaço, casca (mesocarpo); Verde: engaço	Seco: casca (endocarpo); Verde: -
<b>Algodão herbáceo</b>	Palhada (folhas e caule)	Casca e caroço

Fonte: SOUZA *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2012; SCHNEIDER *et al.*, 2012; ARAÚJO *et al.*, 2014; EPE, 2014

Alguns resíduos das produções já possuem aplicabilidade comum no campo, minimizando impactos da geração desses resíduos, sendo que algumas lavouras ainda têm a necessidade de utilizar parte do resíduo para cobrir e proteger o solo, mantendo a matéria orgânica e os nutrientes no campo (DIAS *et al.*, 2012). Entretanto, parte destes resíduos não utilizados pode e deve ser avaliada para a geração de energia. A Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB) realizou uma estimativa da geração de resíduos agrícolas, conforme indicado na Tabela 9.11, salientando que neste fator residual quantitativo de geração em relação à quantidade de produto foi considerado 30% dos resíduos no local do cultivo justamente devido a necessidades locais e de costume em relação a manutenção de parte dos resíduos para a qualidade do solo e 10% de perdas.

**Tabela 9.11 – Fator de geração de resíduos a partir de produtos agroindustriais**

<b>Produto agrícola de lavoura temporária</b>	<b>Resíduo</b>	<b>FR</b>	<b>Produto agrícola de lavoura permanente</b>	<b>Resíduo</b>	<b>FR</b>
<b>Cana-de-Açúcar</b>	Vinhaça	0,800	<b>Banana</b>	Pseudocaule	2,500
<b>Cana-de-Açúcar</b>	Torta de Filtro	0,400	<b>Banana</b>	Resíduos	1,500
<b>Cana-de-Açúcar</b>	Bagaço	0,280	<b>Banana</b>	Engaço	0,120
<b>Cana-de-Açúcar</b>	Palha e Colmo	0,240	<b>Coco-da-baía</b>	Resíduos	0,600
<b>Soja</b>	Palha e Resíduos	1,400	<b>Mamão</b>	Resíduos	0,390
<b>Milho</b>	Palha, Sabugo e Resíduos	1,420	<b>Manga</b>	Resíduos	0,390
<b>Mandioca</b>	Resíduos	0,500	<b>Sisal</b>	Refugo e Bucha	1,330
<b>Mandioca</b>	Rama	0,186	<b>Laranja</b>	Farelo de bagaço	0,110
<b>Algodão herbáceo</b>	Rama	2,450	<b>Maracujá</b>	Resíduos	0,390
<b>Algodão herbáceo</b>	Casca e Carçoço	0,500	<b>Goiaba</b>	Resíduos	0,390
<b>Feijão</b>	Palha e Resíduos	3,670	<b>Uva</b>	Semente e Casca	0,230
<b>Arroz</b>	Palha	1,310	<b>Castanha de caju</b>	Resíduos	0,730
<b>Abacaxi</b>	Farelo	0,600	<b>Cacau</b>	Casca e Resíduos	0,380
<b>Arroz</b>	Casca	0,180	<b>Café</b>	Casca e Resíduos	0,280
<b>Sorgo</b>	Resíduos	0,500	<b>Uva</b>	Engaço	0,100
<b>Trigo</b>	Palha e Resíduos	1,400	<b>Abacate</b>	Resíduos	0,390
<b>Amendoim</b>	Rama e Resíduos	1,070	-	-	-

Legenda: FR: Fator residual quantitativo (massa de resíduo/massa de produto)

Fonte: ABIB, 2011, 2013

Considerando uma produção de 3,16 milhões de toneladas de grãos de milho, o Nordeste obteve uma geração de 4,49 milhões de toneladas de resíduos conforme cálculo feito com os dados disponibilizados pela ABIB (2013). Para a produção de 4,8 milhões de toneladas de mandioca obtém-se uma geração de 0,89 milhões de toneladas de resíduos da rama e 2,40 resíduos totais que incluem resíduos do beneficiamento. A Tabela 9.12 apresenta a estimativa do quantitativo para demais produtos das lavouras temporárias e permanentes da região Nordeste com base nos dados da PAM 2016.

**Tabela 9.12 – Estimativa de resíduos gerados a partir de produtos agroindustriais – Região Nordeste do Brasil – 2016**

Produto agrícola de lavoura temporária	Resíduo	Quant. (10 <sup>6</sup> t)	Produto agrícola de lavoura permanente	Resíduo	Quant. (10 <sup>6</sup> t)
Cana-de-Açúcar	Vinhaça	44,56	Banana	Pseudocaule	5,71
Cana-de-Açúcar	Torta de Filtro	22,28	Banana	Resíduos	3,43
Cana-de-Açúcar	Bagaço	15,60	Banana	Engaço	0,27
Cana-de-Açúcar	Palha e Colmo	13,37	Coco-da-baía	Resíduos	0,41
Soja	Palha e Resíduos	7,20	Mamão	Resíduos	0,40
Milho	Palha, Sabugo e Resíduos	4,49	Manga	Resíduos	0,28
Mandioca	Resíduos	2,40	Sisal	Refugo e Bucha	0,24
Mandioca	Rama	0,89	Laranja	Farelo de bagaço	0,19
Algodão herbáceo	Rama	2,34	Maracujá	Resíduos	0,19
Algodão herbáceo	Casca e Carçoço	0,48	Goiaba	Resíduos	0,07
Feijão	Palha e Resíduos	1,11	Uva	Semente e Casca	0,07
Arroz	Palha	0,36	Castanha de caju	Resíduos	0,05
Abacaxi	Farelo	0,35	Cacau	Casca e Resíduos	0,04
Arroz	Casca	0,05	Café	Casca e Resíduos	0,04
Sorgo	Resíduos	0,05	Uva	Engaço	0,03
Trigo	Palha e Resíduos	0,03	Abacate	Resíduos	0,002
Amendoim	Rama e Resíduos	0,01	-	-	-

Legenda: Quant.: Quantidade de resíduos gerada (milhões de toneladas)

Fonte: ABIB, 2011, 2013

Em relação às lavouras permanentes, apresentaram-se como destaques na geração de resíduos a produção agrícola de banana e coco-da-baía. É importante ressaltar que o quantitativo de resíduo é relevante, porém para a avaliação do potencial de geração de energia deve-se observar ainda as características de composição química desses resíduos, bem como o processo de conversão da biomassa que será empregado.

## 6 Biomassa na microgeração e minigeração de energia

Devido à diversidade das biomassas vale salientar a elevada variação de alternativas para a sua transformação, e a eficiência dos processos depende da sua composição. No sistema de geração de energia elétrica a partir da biomassa, primeiramente ocorre a conversão

da biomassa em um produto intermediário. A energia das ligações químicas do composto gerado é liberada por combustão em uma máquina motriz produzindo energia cinética que aciona um gerador para conversão em energia elétrica. Os processos de conversão da biomassa para esta finalidade que se destacam são combustão em caldeiras, gaseificação e biodigestão, e as máquinas motrizes empregadas podem ser motor de combustão interna (ciclos Otto e Diesel), turbina a vapor e ou turbina a gás. Vale ressaltar que a biomassa pode ser aproveitada de outras formas, não somente para a produção de energia elétrica, como, por exemplo, para geração de calor pela queima direta e produção de biocombustíveis.

A utilização de caldeiras para produção de energia elétrica se baseia na combustão da biomassa em um sistema em ciclos a vapor, envolvendo a co-geração de calor e energia elétrica (CORTEZ *et al.*, 2008). De acordo com Cortez et al (2008), esse tipo de sistema tem como característica baixa eficiência e capacidade de geração na faixa de 25 a 50 MW. Esta capacidade é considerada de baixa, porém ainda é maior que o regulamentado para microgeração ou minigeração, dessa forma, a gaseificação e a biodigestão são as alternativas aplicáveis para a geração distribuída de energia.

A gaseificação é um processo termoquímico de conversão da biomassa, em que a biomassa é convertida em um gás de síntese, este processo ocorre em um reator que pode ser um gaseificador de leito fixo ou leito fluidizado (BASU, 2010). A geração de energia elétrica a partir da gaseificação de biomassa, envolve a utilização do gás de síntese gerado em um motor de combustão interna, tendo uma menor capacidade, turbina a gás, tendo uma maior capacidade ou outras tecnologias como motor Stirling ou células combustível (CORTEZ *et al.*, 2008; LORA *et al.*, 2012).

A biodigestão é o processo de digestão anaeróbica da biomassa gerando um biogás rico em metano e gás carbônico, em um reator que fornece as condições necessárias para a decomposição da matéria orgânica por meio de reações químicas e microbiológicas chamado biodigestor (DEMIRBAS, 2009). Uma biomassa amplamente utilizada em biodigestores é proveniente de dejetos de animais. O biogás obtido,

por meio da digestão anaeróbia da matéria gerada por animais, depende de muitas variáveis, como quantidade produzida de dejetos, composição química, temperatura, pH, teor de água e a própria eficiência do biodigestor. A Tabela 9.13 apresenta a relação da quantificação do tipo de resíduo gerado com a quantidade de biogás passível de ser gerada.

**Tabela 9.13 – Produção de biogás de acordo com o resíduo**

Animal	Resíduo	Quantidade (kg/dia/animal)	Matéria Seca (kg/dia/animal)	Biogás (m <sup>3</sup> /dia/animal)		Energia (kWh/ano/animal)
Gado	Líquido	51,00	5,40	1,60	0,30	3400,00
	Sólido	32,00	5,60	1,60	0,29	3400,00
Suíno	Líquido	16,70	1,30	0,46	0,35	970,00
	Sólido	9,90	2,90	0,46	0,16	970,00
Aves	Sólido	0,66	0,05	0,02	0,36	36,00

Fonte: VUKOBRATOVIC *et al.*, 2009.

Ao analisar o potencial da geração de biogás em biodigestores anaeróbios deve-se levar em conta a estimativa de produção de metano, gás este responsável pelas principais características do biogás, o qual se encontra entre 50 e 80% e de acordo com a concentração do gás metano presente o poder calorífico pode variar entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup> (COLDEBELLA, 2006).

## 7 Geração de energia elétrica a partir da biomassa em comunidades rurais do Nordeste

Claramente os mecanismos de geração de energia dita renováveis têm um custo superior das fontes tradicionais, isto porque envolve novas tecnologias as quais necessitam ainda de um tempo para diluírem o investimento de pesquisa e desenvolvimento a elas incorporada, além de algumas restrições de barreiras regulatórias no âmbito da administração pública, todavia, as energias alternativas têm em si atreladas peculiaridades como o desenvolvimento das áreas econômica e social. Ao analisar a cadeia de investimentos que permeia a geração de energia que utiliza a biomassa como fonte combustível é notória a viabilidade econômica devido à incorporação de receitas

oriundas da venda da energia elétrica, além do consumo interno e da comercialização dos créditos de carbono.

Vale ressaltar que embora a geração de eletricidade com fins de atender de forma parcial ou total as necessidades de consumo do próprio responsável pela geração já é uma realidade, em muitos latifúndios pode haver casos de produção excedente a própria demanda da propriedade rural sendo disponibilizado ao latifundiário a opção de ao implementar o sistema de geração de energia em sua propriedade ser possível a interligação à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, podendo desta forma converter sua energia produzida em “crédito” ou fazer uso direto da energia produzida. Ambas as opções têm viabilidade a depender de alguns fatores que se encontra a propriedade rural, como o caso da existência de rede de distribuição elétrica nas proximidades da propriedade, realidade esta ainda enfrentada por muitos latifúndios das regiões Norte e Nordeste.

O uso da biomassa vem a colaborar com a independência de muitos latifúndios com relação ao fornecimento de energia elétrica, principalmente os mais afastados dos grandes centros de distribuição. Vale ainda ressaltar que o uso da biomassa para mini ou microgeração de energia elétrica tem impacto positivo quanto à mitigação do efeito estufa, já que desta forma todo o metano em potencial a ser gerado através da biomassa é utilizado na combustão interna das máquinas motrizes, as quais fazem parte do sistema de transformação da energia cinética proveniente da combustão em energia elétrica.

Há casos onde os pequenos produtores rurais do Nordeste por apresentarem como característica economia produção de subsistência, onde o que é produzido trata-se apenas do necessário para o consumo imediato com o objetivo da autossuficiência tem como consequência baixa produtividade de biomassa o que torna a instalação de um biodigestor inviável ou o retorno do investimento apresente um prazo muito longo do esperado. Para situações como esta os latifundiários podem optar pela “geração compartilhada”, a qual possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem

a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

## 8 Considerações finais

Avaliando o potencial de aproveitamento da biomassa residual da agroindústria em comunidades rurais para geração de energia distribuída, destaca-se no Nordeste os resíduos provenientes da mandioca e do milho. Salienta-se a necessidade de implementações reais da aplicação e maior incentivo ao uso de resíduos agrícolas ou agroindustriais para a geração de energia, podendo ser aproveitados através das tecnologias de gaseificação ou biodigestão. Esta é uma solução que possibilita a geração de benefícios tanto para os pequenos e grandes agricultores, para o agronegócio e também para a sociedade em geral.

## Referências bibliográficas

- ABIB – Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. **Inventário Residual Brasil**. 2011.
- ABIB – Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. **Atlas Brasileiro Biomassa e Bioenergia**. 2013.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília, 2008, 236 p.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 786, de 17 de outubro de 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução. Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. 2017b. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>>
- ARAÚJO, N. C.; GUIMARÃES, P. L. F.; OLIVEIRA, S. J. C.; LIMA, V. L. A.; BANDEIRA, F. A.; ARAÚJO, F. A. C. Quantificação da geração de resíduos em uma casa de farinha no Estado da Paraíba. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**. v.13, n.5, p.3793-3799. 2014. DOI: 10.5902/2236130814984
- BASU, P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Elsevier, 2010. ISBN 978-0-12-374988-8.
- BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil Diário Oficial da União nº 81, Seção 1 – Edição Extra, de 29/04/2002, p.2. Brasília, 2002. Acesso em: out de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm)>.

- BRASIL. Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" e dá outras providências. Diário Oficial da União nº 220, Seção 1, de 12/11/2003, p.130. Brasília, 2003. Acesso em: out de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2003/D4873.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4873.htm)>.
- BRASIL. Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS", para o período de 2011 a 2014, e dá outras providências. Diário Oficial da União nº 131, Seção 1, de 11/07/2011, p.8. Brasília, 2011. Acesso em: out de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/decreto/d7520.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7520.htm)>.
- BRASIL. Decreto nº 8.387, de 30 de dezembro de 2014. Altera o Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS". Diário Oficial da União nº 253, Seção 1, de 31/12/2014, p.66. Brasília, 2014. Acesso em: out de 2017. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8387.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8387.htm)>.
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Atlas de Bioenergia do Brasil**. 2012. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/atlas-de-biomassa>>
- CHAVES, L. I.; SILVA, M. J.; SOUZA, S. N. M.; SECCO, D., ROSA, H. A., NOGUEIRA, C. E. C., FRIGO, E. P. Small-scale power generation analysis: Downdraft gasifier coupled to engine generator set. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, v.77, p.174-181.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.) *Biomassa para energia*. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008. ISBN 978-85-268-0783-9.
- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J.; KOHELER, A. C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovino cultura de leite. *AGRENER*, 2006.
- DEMIRBAS, Ayhan. *Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs*. Springer, 2009. DOI 10.1007/978-1-84882-011-1
- DIAS, J. M. C. de S.; SANTOS, D. T. dos; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e peletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/952626/producao-de-briquetes-e-peletes-a-partir-de-residuos-agricolas-agroindustriais-e-florestais>>
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Inventário Energético de Resíduos Rurais**. Série Recursos Energéticos. 2014. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Estudos\\_27.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Estudos_27.aspx)>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006 – Segunda apuração**. 2006. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>>
- LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ÁNGEL, J. D. M.; LEITE, M. A. H.; ROCHA, M. H.; SALES, C. A. V. B.; MENDOZA, M. A. G.; CORAL, D. S. O. **Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis**. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (Org.). *Biocombustíveis*. Editora Integrada: Rio de Janeiro, 2012, v. 1, 1200p.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Plano anual da operação energética dos sistemas isolados para 2018**. Rio de Janeiro, 2017a. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes>>
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **SINDAT – Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN**. 2017b. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/mapas>>

- NOGUEIRA, L. A. H., LORA, E. E. **Wood Energy: Principles and Applications**. Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica Distribuída – NEST, do Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. 2002. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <[http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/downloads\\_pt.html](http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/downloads_pt.html)>
- SCHNEIDER, V. E.; PERESIN, D.; TRENTIN, A. C.; BORTOLIN, T. A.; SAMBUICHI, R. H. R. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2012. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15493](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15493)>
- SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.4, p.438–443, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010000400014
- VUKOBRATOVIC M, SLJIVAC D, NIKOLOVSKI S. Energy Potential and so Far Course of Action of Using Biomass and Biogas in Croatia, Faculty of Electrical Engineering in Osijek, Croácia, 20° International Conference on Electricity Distribution; 2009

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 10

# GASEIFICAÇÃO: OPORTUNIDADES PARA A CONVERSÃO DE BIOMASSA

---

Mikele Cândida Sousa de Sant'Anna<sup>1</sup>; Hilton Costa Louzeiro<sup>1</sup>;  
Nataly Albuquerque dos Santos<sup>2</sup>; Carla Crislan de Souza de Bery<sup>3</sup>;  
Gabriel Francisco da Silva<sup>3</sup>; Sergio Lucena<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Maranhão*

<sup>2</sup>*Universidade Federal da Paraíba*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Sergipe*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pernambuco*

## 1 Introdução

As preocupações com o aquecimento global resultam em esforços para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e os gases do efeito de estufa (Heidenreich e Foscolo, 2014). A utilização da energia renovável vem crescendo fortemente nos últimos anos devido as intensas discussões a respeito da “*Estratégia sobre as alterações climáticas para 2020 e para além*”, nomeadamente pelo compromisso de alcançar até 2020 os objetivos 20-20-20, de redução de 20 % das emissões de gases de efeito estufa, aumento de 20 % da participação das energias renováveis e aumento de 20 % na eficiência energética em relação a 1990 (VILLETTA *et al.*, 2017). O sistema energético mundial precisa ser adaptado para um sistema mais sustentável, baseado em uma combinação diversificada de fontes de energia, abordando os desafios da segurança energética e as mudanças climáticas (BOCCI *et al.*, 2014). O que abre caminho para combustíveis renováveis, como os produzidos de biomassa.

A gasificação é a tecnologia chave para o uso da biomassa, oferece alta flexibilidade na utilização de diferentes tipos de matérias-primas. Os diferentes tipos de biomassa podem ser convertidos por gaseificação em gás de síntese compreendendo principalmente hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e metano. A partir deste gás de síntese, diferentes tipos de energia ou transportadores de energia (calor, energia, biocombustíveis, hidrogênio, biometano) podem ser elaborados. A síntese de Fischer e Tropsch (FT) pode converter o gás de síntese em diesel, éter dimetílico, metanol, metano,

entre outros compostos (AHRENFELDT *et al.*, 2013). Segundo Heidenreich e Foscolo (2014) a disponibilidade da biomassa em todo mundo é uma grande vantagem.

A biomassa lignocelulósica é um recurso natural renovável de produção energética e que pode ser processado para fornecer formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para o uso final. Em termos energéticos é toda e qualquer forma de energia associada a formas de energia química acumulada mediante processos fotossintéticos, tem sido muito investigada, especialmente pelo seu potencial na produção de biocombustíveis que equivalem a frações do volume de petróleo extraído na atualidade (BNDES, 2008; EICHLER *et al.*, 2015).

As biomassas são particularmente atraentes pela facilidade de armazenamento, flexibilidade e baixo preço, pois podem ser considerados como um desperdício cuja eliminação pode até implicar custos não negligenciáveis. Os diferentes tipos de biomassa podem ser classificados como: resíduos (resíduos municipais, lamas de esgoto, estrume); resíduos de processamento (resíduos de madeira, licor negro, bagaço, casca de arroz, resíduos de processamento de alimentos); matérias-primas coletadas localmente (resíduos agrícolas, resíduos florestais, culturas energéticas); matéria-prima comercializada internacionalmente (madeira redonda, aparas de madeira, pellets de biomassa, biometano) (VILLETТА *et al.*, 2017).

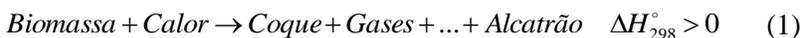
Por muitos anos a biomassa lignocelulósica tem sido usada na geração de energia pelo processo de combustão, mas com o recente avanço tecnológico e com as novas possibilidades de uso da biomassa, houve a necessidade do surgimento da biorrefinaria (SANTOS, 2013; GALEMBECK *et al.*, 2009; EICHLER *et al.*, 2015). No Brasil, para fins de produção de energia, a biomassa já ocupa um lugar de destaque, com 25,1 % da participação da oferta interna de energia em 2016 (somando a biomassa de cana de açúcar, a lenha e o carvão vegetal). Um fato que vale a pena se notar é a representação energética do petróleo e seus derivados que foi de 37,3 % da oferta interna de energia (BRASIL, 2016).

## 2 Gaseificação

Gaseificação é um processo de conversão térmica dos componentes carboníferos do material em produtos gasosos, como gás de síntese (SPEIGHT e LUQUE, 2015). Para Perry (2008), a gaseificação é descrita como um processo que envolve a combustão parcial de combustíveis carbonáceos ou hidrocarbonetos para gerar um gás combustível rico em monóxido de carbono e hidrogênio. A combustão completa apresenta como produtos os gases: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>, a gaseificação é a combustão incompleta, tendo como produtos CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, além é claro, de certa quantidade de alcatrão, se o combustível for biomassa (uma vez que a gaseificação de carvão mineral não produz alcatrão ou produz quantidades ínfimas). Para Farzaneh *et al.* (2015) o gás de síntese pode ser usado como combustível, gás natural sintético, hidrogênio ou matéria-prima para outros produtos químicos. Segundo Puig-Arnavat *et al.* (2010) a gaseificação é considerada uma das formas mais eficientes de converter biomassa em energia e está se tornando uma das melhores alternativas para a reutilização de resíduos sólidos.

A composição da mistura gasosa é afetada pelas condições de operação do gaseificador como a temperatura e a pressão, pelas características do combustível como a umidade, o tipo, a composição e o teor de oxigênio no agente gaseificador. No caso particular de gaseificadores de leito fluidizado, a composição pode ser alterada pela dinâmica de fluidização no leito (CORTEZ e LORA, 1997; ANDRADE, 2007, SANT'ANNA *et al.*, 2017). Dependendo do processo, essas etapas ocorrem em diferentes regiões do gaseificador, ou em todo seu volume de maneira simultânea. As reações químicas mais importantes de cada uma dessas etapas são (MURAKAMI *et al.*, 2007; ROSAL, 2008; SANT'ANNA, 2015):

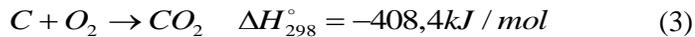
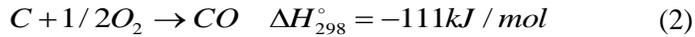
**Etapas I:** Pirólise ou decomposição térmica que se desenvolve em temperaturas próximas a 600 °C;



Segundo Puig-Arnavat *et al.* (2010) nesta etapa ocorre a decomposição térmica da biomassa na ausência de oxigênio ou

ar. Neste processo, o material volátil na biomassa é reduzido. Isso resulta na liberação de hidrocarbonetos gasosos da biomassa, a biomassa é reduzida ao carvão sólido, denominado *Char*.

**Etapa II:** Oxidação de parte do carbono fixo do combustível, etapa que constitui a fonte de energia térmica para os processos de volatilização e gaseificação;

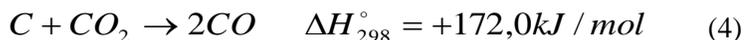


Esta é uma reação entre a biomassa carbonizada sólida e o oxigênio presente no agente de gaseificação, resultando na formação de CO<sub>2</sub>. O hidrogênio presente na biomassa também é oxidado para gerar água. Uma grande quantidade de calor é liberada com a oxidação de carbono e hidrogênio. Se o oxigênio estiver presente em quantidades inferiores a estequiométrica, pode ocorrer oxidação parcial do carbono, resultando na geração de monóxido de carbono (PUIG-ARNAVAT *et al.*, 2010).

**Etapa III:** Gaseificação propriamente dita, incluem reações heterogêneas entre os gases e o coque residual, assim como reações homogêneas entre os produtos já formados;

– Reações heterogêneas

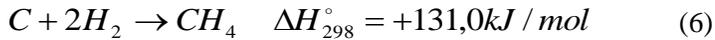
A etapa de redução (gaseificação) é composta de uma série de outras reações endotérmicas que irão ditar a composição final do gás produzido. Em geral são de interesse a maior formação de H<sub>2</sub> e CO na composição final do gás de síntese. As reações de gaseificação, ou redução, são: Reação de Boudouard, Reação de Shift, reação de metanização e reação água-gás. A reação de redução Boudouard (Eq. 4) ocorre quando o dióxido de carbono presente no gaseificador reage com o *Char* (representado por carbono), para formar monóxido de carbono (BASU, 2006; EICHLER *et al.*, 2015).



A reação Shift (Eq. 5) é importante e desejável para a composição final do gás de síntese, já que reduz vapor de água com monóxido de carbono para produzir gás de hidrogênio, que tem maiores valores caloríficos (BASU, 2006; EICHLER *et al.*, 2015).



Metano também pode ser formado pela reação de metanização (Eq. 6), que reage o carbono presente no combustível com gás hidrogênio (BASU, 2006; EICHLER *et al.*, 2015).

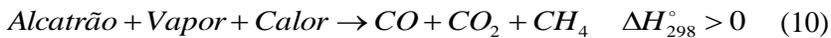


– Reações homogêneas

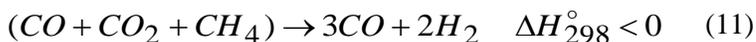
A reação água-gás (Eq. 7) é a oxidação parcial do carbono pelo vapor de água, que pode vir de diferentes fontes no reator: da evaporação na etapa de secagem, associado ao ar de entrada, e também na pirólise (BASU, 2006; EICHLER *et al.*, 2015).



**Etapa IV:** Craqueamento do alcatrão, processo de degradação térmica das moléculas dos compostos que formam o alcatrão com a obtenção de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e outros gases como produtos;



**Etapa V:** Oxidação parcial dos produtos da pirólise.



O gás ainda passa por pré-tratamentos: retirada de inertes como nitrogênio, no caso de gaseificação com ar, remoção de excesso de dióxido de carbono (no caso de produção de biometanol) e limpeza do gás (Johansson, 2013). Para não ocorrer diluição do gás de síntese com

nitrogênio, usa-se oxigênio e vapor de água ao invés de ar para gaseificação, o que é conveniente no caso de conversão do gás de síntese em produtos químicos (por exemplo: biometanol) (SCHUSTER *et al.*, 2001; EICHLER *et al.*, 2015).

Vapor, o ar ou o oxigênio podem ser fornecidos à reação como agente oxidante, o gás produzido pode ser padronizado em sua qualidade e é mais fácil e mais versátil de usar do que a biomassa original. Portanto, a gaseificação agrega valor à matéria-prima de baixo custo ao convertê-la em combustíveis e produtos comercializáveis (PUIG-ARNAVAT *et al.*, 2010). A composição do gás obtido a partir de um gaseificador depende de vários parâmetros, como a composição do combustível, a pressão de operação, a temperatura, o teor de umidade dos combustíveis, o design do gaseificador, por isso é muito difícil prever a composição exata do gás a partir de um gaseificador (BASU, 2006; PUIG-ARNAVAT *et al.*, 2010).

Um melhor entendimento da estrutura da biomassa e de seus constituintes é de fundamental importância para a determinação de parâmetros para a máxima obtenção de energia a partir da biomassa. Os principais componentes químicos da biomassa são a celulose, hemiceluloses e lignina, além de pequena quantidade de cinzas, proteínas e amido. A concentração de cada um desses componentes depende do tipo de biomassa, tipo de tecido, da idade da planta e das condições de crescimento (SANTOS *et al.*, 2014). A composição química e física da biomassa afeta diretamente na composição final do gás de síntese (BASU, 2006; SANTOS *et al.*, 2013). Análises de caracterização física (granulométrica e densidade) e química (elementar, imediata, poder calorífico e da composição química) da biomassa são fundamentais para realizar uma previsão da composição final do gás de síntese, por exemplo: a composição química elementar se refere às frações em peso dos elementos químicos (C, H, N, S e O) constituintes da biomassa, já a composição imediata da biomassa se refere ao conteúdo percentual do carbono fixo, materiais voláteis, umidade e percentual residual de cinzas (SANTOS, 2013). Ambas análises são essenciais para os processos de combustão e para

determinar o potencial energético da biomassa lignocelulósica (BASU, 2006; SANTOS *et al.*, 2013; EICHLER *et al.*, 2015).

### 3 Rotas tecnológicas

A composição do gás de síntese depende do tipo de reator utilizado e do agente de gaseificação. A situação ideal é que ocorra a completa conversão dos carbonos, dos alcatrões e dos hidrocarbonetos em gases combustíveis, porém diversos fatores impedem esta situação, alguns relativos às próprias reações termoquímicas da gaseificação e outros, relativos aos detalhes do projeto do gaseificador (ROSAL, 2008).

Segundo Lima Neto (2007) o gaseificador é um reator químico alimentado com combustível sólido ou líquido e uma quantidade controlada de agente de gaseificação. Parte do combustível entra em combustão como em uma fornalha qualquer e a característica principal da gaseificação é o controle do fornecimento do agente oxidante, de modo a evitar que a combustão se estenda a toda a carga. Pela queima de parte da carga libera-se a energia que é utilizada na degradação química e gaseificação do resto do material. Uma instalação de gaseificação é constituída pelos seguintes sistemas e equipamentos: pré-processamento (estoque, transporte e diminuição da biomassa ao tamanho adequado); gaseificador (dotado de seção de alimentação apropriada para não haver vazamento de gás); tratamento do gás de síntese, com limpeza e, se necessário, resfriamento; sistema de controle e tratamento dos resíduos, com disposição adequada.

As partes principais do gaseificador consistem em: pré-tratamento da biomassa (aquecimento e trituração); sistema de alimentação; caixa de ar (entrada de ar); forno de aquecimento do gás de iniciação (neste caso oxigênio ou vapor de água); corpo principal do reator; leito; free board (local de subida do gás); ciclone (retirada de possível material do leito e cinzas); sistema de limpeza do gás; e demais sistemas de troca de calor e monitoramento (sondas de temperatura, pressão e coleta de amostras). O projeto de um gaseificador envolve uma grande quantidade de cálculos, variando desde o tamanho do reator, capacidade de processamento até os cálculos de fluidização do

leito (KUNII e LEVENSPIEL, 1991). Normalmente, a operação de um reator de gaseificação de biomassa ocorre em temperaturas de saída de gás de 800-1000 °C e pressão de operação entre 10-30 bar (para gaseificação de baixa pressão), com entrada de gás para fluidização pré-aquecido à cerca de 200 °C (BASU, 2006; EICHLERA *et al.*, 2015).

Os gaseificadores podem ser classificados de acordo com diversas características, a saber (LORA *et al.*, 2008):

- Poder Calorífico do Gás Produzido: baixo poder calorífico, até 5 MJ.Nm<sup>-3</sup>, médio Poder Calorífico, de 5 a 10 MJ.Nm<sup>-3</sup> e alto Poder Calorífico, de 10 a 40 MJ.Nm<sup>-3</sup>;
- Tipo de Agente Gaseificador: ar, vapor d'água, oxigênio, hidrogênio (hidrogaseificação);
- Movimento Relativo das Massas: contrafluxo (contracorrente), fluxo direto (concorrente), leito fluidizado (borbulhante, circulante);
- Pressão de Trabalho: baixa pressão (atmosférica), pressurizados (até 6 MPa);
- Natureza da Biomassa: resíduos agrícolas, resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos (lixo), biomassa *in natura*, biomassa pelletizada e biomassa pulverizada.

Os projetos de gaseificadores foram estudados (há mais de um século), o que resultou na disponibilidade de vários projetos em diferentes escalas. Eles podem ser classificados de várias maneiras (RAUCH, 2003). Uma revisão dos fabricantes de gaseificadores na Europa, nos Estados Unidos e no Canadá (Knoef, 2000) identificou 50 fabricantes que oferecem plantas de gaseificação comerciais, das quais 75 % eram do tipo downdraft de leito fixo, 20 % eram sistemas de leito fluidizado, 2,5 % eram do tipo ascendente e 2,5 % foram de vários outros projetos (PUIG-ARNAVAT *et al.*, 2010).

Embora a gaseificação seja conhecida há muito tempo, seu controle exige esforços de pesquisadores e fabricantes. Atualmente, novas perspectivas são imagináveis graças ao uso de ferramentas computacionais que podem revelar-se particularmente úteis para melhorar a eficiência da gaseificação e aumentar a qualidade do gás

produzido. Nos últimos anos, alguns modelos numéricos foram propostos para caracterizar e prever o complexo processo de gaseificação, onde a secagem, a pirólise, a gaseificação e a combustão ocorrem simultaneamente (VILLETTA *et al.*, 2017).

Para alcançar a composição mais energética possível do gás produzido, usa-se um gaseificador de leito fluidizado, que apresenta maior eficiência no processo de transferência de calor, maximizando a produção de gás de síntese e apresentando vantagens para o tempo de residência do combustível no reator (YANG *et al.*, 2003). Podem-se usar catalisadores como material do leito (alumina) para atingir melhores resultados de conversão de gás (ROSHMI e MURTHY, 2004; EICHLERA *et al.*, 2015).

## 4 Principais utilizações

A gaseificação de biomassa está sendo utilizada para produzir bioenergia, bioprodutos, calor, vapor e eletricidade. Estudos estão em andamento para desenvolver tecnologias de gasificação de biomassa para produzir hidrogênio e produtos químicos orgânicos de forma econômica. Segundo Dennis *et al.* (2005) e Eichler *et al.* (2015) o gás de síntese é o produto final da reação de gaseificação (basicamente formado por  $H_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  e  $CO_2$ ), podendo conter outros gases, que não são desejáveis (como gases de enxofre e nitrogênio). O gás de síntese pode ser usado em combustão direta ou pode ser usado como matéria-prima para produção de outros compostos através da reação de Fischer-Tropsch. De acordo com Oboirien e Northa (2017) a gaseificação pode até ser utilizada para a conversão de pneus em gás hidrogênio, carbono ativado e nanotubos de carbono. Inúmeras possibilidades de conversão de materiais em diferentes produtos.

### 4.1 Gaseificação dos resíduos do biodigestor

Segundo Chen *et al.* (2017) a gaseificação do subproduto do processo de digestão anaeróbica de biomassa em produtos gasosos vem sendo avaliada como uma rota promissora. No processo típico de digestão anaeróbica, a eficiência da conversão de energia é de cerca de 33-50%. Em outras palavras, mais da metade da energia permanece no

digestor, tornando-se uma matéria-prima promissora para a produção de biocombustíveis (HOSSAIN *et al.*, 2016). O subproduto do biodigestor é composto por fração líquida (rica em nitrogênio) e sólida (rica em lignina) (Fabbri e Torri, 2016) e esta última pode ser convertida em calor, gás e bio-óleo por tecnologias de conversão termoquímica.

A produção de gás através da gaseificação de bio-óleo atuaria como uma ponte entre o biocombustível e os combustíveis para transporte, podendo ser produzido através da utilização de vapor-ar como agente gaseificante. Resultados mostraram que o gás produzido com  $H_2/CO$  pode ser utilizado em processos de hidrogenação de  $CO$ , tais como a síntese Fischer-Tropsch. Além disso, o gás produzido também é adequado para a geração de eletricidade (ZHENG, 2017).

#### **4.1.1 O produto da gaseificação pode ser utilizado na síntese de Fisher Tropsch**

Processos como síntese de Fischer-Tropsch permitem transformar biomassa processada (gaseificada) em biocombustíveis que podem ser substitutos dos derivados de petróleo, diminuindo a porcentagem de oferta interna de energia deste setor e aumentando a oferta interna de renováveis. Apesar de ainda não ser economicamente viáveis como petroquímicos (que as tecnologias se encontram consolidadas), os biocombustíveis e produtos químicos derivados da biomassa contêm um potencial muito grande de produção, por virem de fontes renováveis. É esperado um grande aumento do setor de biorrefinaria nos próximos anos, principalmente em indústrias que substituem a utilização de combustíveis fósseis por alternativas renováveis (CAPUTO *et al.*, 2005; DENNIS *et al.*, 2005; EICHLER, 2015).

O processo Fischer-Tropsch (F-T) é capaz de produzir combustíveis de hidrocarbonetos líquidos a partir do gás de síntese. Os combustíveis F-T são normalmente isentos de enxofre e contêm poucos aromáticos em comparação com gasolina e diesel, o que leva a menores emissões quando utilizados em motores a jato (BAUEN *et al.*, 2009). Alguns estudos recentes apontam que o uso da tecnologia F-T para converter biomassa em combustíveis sintéticos pode fornecer uma

promissora alternativa neutra em carbono ao diesel, querosene e gasolina convencionais (HU e LU, 2012; DRY, 1996; KREUTZ *et al.*, 2008). A síntese de F-T é um conjunto de processos catalíticos para a conversão do gás de síntese em hidrocarbonetos líquidos. O processo pode ser realizado em alta e em baixa temperatura, na faixa de 300-350 °C são utilizados catalisadores à base de ferro, sendo obtidos produtos de baixa massa molecular (gasolina e olefinas lineares), o processo em baixa temperatura opera entre 200-240 °C com catalisadores de ferro ou cobalto e são produzidas ceras lineares que apresentam maior massa molecular do que as produzidas no processo em alta temperatura. Além de alcanos e alcenos, são formados compostos oxigenados como álcoois, aldeídos, ácidos carboxílicos, aromáticos e cetonas. Os processos convencionais de refino, tais como hidrocraqueamento, isomerização, hidrogenação e fracionamento, podem ser aplicados para os produtos da síntese F-T, na elaboração de combustíveis de alta qualidade, pouco aromáticos e com baixíssimo teor de enxofre (NATIONAL ADVANCED BIOFUELS CONSORTIUM, 2011; WANG e TAO, 2016).

## **4.2 Produção do biometanol via gaseificação de biomassa lignocelulósica**

O biometanol é um importante solvente industrial, utilizado em larga escala em diferentes setores industriais (HAMELINCK *et al.*, 2002; OLAH, 2005; RENÓ *et al.*, 2011). O biometanol pode ser produzido por meio de um processo que utiliza o gás de síntese obtido na gaseificação de biomassa. Segundo Hamelinck *et al.* (2002) os processos envolvem as seguintes etapas: pré-tratamento da biomassa lignocelulósica; gaseificação; limpeza do gás de síntese; reforma de hidrocarbonetos; ajuste da razão H<sub>2</sub>/CO (*shift*); e síntese de biometanol (HAMELINCK *et al.*, 2002). Apesar de já conhecidos os processos de produção de metanol por gaseificação de carvão ou gás natural, os processos de gaseificação de biomassa são relativamente novos e a tecnologia ainda está em desenvolvimento (ZHANG, 2010). O biometanol pode ser feito de duas maneiras: síntese em fase gasosa ou síntese em fase líquida. Nos reatores de fase gasosa o calor é trocado entre o catalisador em fase sólida e os reagentes e produtos em fase

gasosa, sendo que nos reatores de fase líquida a troca de calor entre reagentes, catalisadores e produtos é realizada em suspensão no líquido, processo com maior eficiência de troca de calor (GOLDEMBERG, 2007; EICHLER *et al.*, 2015).

### 4.3 Geração de energia elétrica

A gaseificação como técnica de geração de energia elétrica, a partir da degradação da biomassa, recentemente tem sido tema trabalhos de pesquisa, cujo objetivo consiste na ampliação de sua aplicação:

Ribeiro (2007) realizou um estudo da gaseificação de biomassa em plantas de leito fixo com tecnologia "downdraft" estratificado, onde a qualidade energética do gás produzido foi estimada em um conjunto moto gerador e um sistema de dissipação de energia, cujo desempenho foram expostos em curvas do sistema de geração obtidas variando-se a carga no motor de combustão interna em regime de rotação constante. Foram obtidas curvas de pressão dinâmica no cilindro do motor para avaliar o nível de substituição do combustível fóssil por gás oriundo de biomassa, foram obtidos resultados satisfatórios referentes aos níveis de emissões.

Figueiredo (2012) realizou testes alimentando um motor de combustão interna, adaptado a ciclo Otto, com gás natural veicular e gás de síntese proveniente de um gaseificador de biomassa concorrente, alimentado com lenha de eucalipto, com o objetivo de avaliar a viabilidade de gerar energia elétrica em localidades onde a rede de transmissão convencional não é acessível. A composição média do gás de síntese obtido foi de 16,9 % de H<sub>2</sub>, 20 % de CO, 10,9 % de CO<sub>2</sub>, 2 % de CH<sub>4</sub> e 50,1 % de N<sub>2</sub>. O gerador foi avaliado mantendo tensão media fixa em 222 V, aplicando-se cargas trifásicas e resistivas de 0, 7, 13, 20,1 e 26,4 kW e correntes de 0, 18,5, 33, 51,84 e 67 A.

Rumão (2013) gerou eletricidade usando um gaseificador de biomassa alimentado com rejeitos de madeira, equipado com um sistema de lavagem do gás e um grupo gerador de 36 kVA adaptado para funcionar com gás pobre. Entretanto, foram encontrados

problemas de ordem técnica, como a geração de baixa potência e paradas bruscas do motor, decorrente da presença de água de lavagem do gás. Em decorrência disso, foram realizadas drásticas modificações no projeto original, que possibilitaram a produção de gás suficiente para gerar 26 kWe, em diferentes ângulos de ignição, 22°, 20°, 16° e 9°.

Hoffman (2016) estudou a viabilidade da hibridização de energia heliotérmica e biomassa oriunda da gaseificação, com a possibilidade de armazenamento de gás de síntese e hibridização em uma mesma planta. Foram realizadas simulações com três conceitos de plantas: a primeira em série, onde a planta CSP opera em série com o trocador de calor do ciclo combinado, em paralelo, onde a planta CSP opera paralelamente com o trocador do ciclo combinado e extração, onde vapor de uma unidade CSP é utilizado para suprir o gaseificador. Para as simulações foram utilizadas as ferramentas: *Hysys* e *System Advisor Model* (SAM).

#### **4.4 Gaseificação na produção de hidrogênio**

O processo de produção de hidrogênio a partir de matéria prima alternativa tem ganhado significativa importância nos dias atuais, a gaseificação constitui um processo promissor para produção de hidrogênio utilizando biomassa residual. Rodrigues (2012) estudou a gaseificação integrada ao ciclo combinado (IGCC) o que permitiu gerar vapor d'água, eletricidade e hidrogênio. Construindo um sistema mais eficiente, do ponto de vista energético e menos impactante ao meio ambiente. Foram utilizadas matérias-primas residuais, como óleos combustíveis pesados, coque. Entretanto o custo de implantação foi elevado, tornando o sistema menos competitivo quando comparado ao convencional. Por outro lado, tratou-se de uma tecnologia inovadora, que poderá se tornar uma alternativa de acordo com as mudanças no cenário econômico.

### **5 Considerações finais**

As preocupações com o aquecimento global resultaram em esforços para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e os gases do efeito de estufa. A gaseificação de biomassa está sendo utilizada para produzir

bioenergia (calor, vapor e eletricidade) e bioprodutos. Estudos estão em andamento para desenvolver tecnologias de gaseificação, visando a produção econômica de hidrogênio e produtos químicos orgânicos. Apesar de ainda não ser economicamente viável como a petroquímica (que as tecnologias se encontram consolidadas), os biocombustíveis e produtos químicos derivados da biomassa contêm um potencial muito grande de produção. É esperado um grande aumento do setor de biorrefinaria nos próximos anos, principalmente em indústrias que substituem a utilização de combustíveis fósseis por alternativas renováveis. Processos como o de Fischer Tropsch são capazes de produzir combustíveis de hidrocarbonetos líquidos, álcoois, aldeídos, ácidos carboxílicos, aromáticos e cetonas a partir do gás de síntese. Os processos convencionais de refino podem ser aplicados para os produtos da síntese F-T, na elaboração de combustíveis de alta qualidade. A elevada disponibilidade de biomassa, os diferentes tipos de matérias-primas e produtos que podem ser elaborados, as contribuições com as questões ambientais e climáticas, fazem da gaseificação uma tecnologia promissora nas biorrefinarias.

## **Agradecimentos**

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) pelo fomento do Projeto Otimização de um sistema de gaseificação para a geração de gases a partir de resíduos gasosos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento do projeto Desenvolvimento de tecnologias otimizadas para a geração de energia a partir da gaseificação, através da Chamada MCTI/CNPq N° 75/2013 - Seleção Pública de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias de Conversão de Combustíveis com Foco em Combustíveis Sólidos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe pela concessão de uma bolsa do PROGRAMA NACIONAL DE PÓS-DOCTORADO (PNPD),

financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## Referências bibliográficas

- ANDRADE, R. B. Gaseificação de Biomassa: uma análise teórica e experimental. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG, 2007.
- AHRENFELDT, J.; THOMSEN, T. P.; HENRIKSEN, U. and CLAUSEN, L. R. Biomass gasification cogeneration e a review of state of the art technology and near future perspectives. *Appl Therm Engineering*, v. 50, n. 14, p. 07-17, 2013.
- BANCO NACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO SOCIAL E ECONÔMICO; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES e CGEE, p. 316, 2008.
- BASU, P. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. CRC Press, cap. 3-8, 2006.
- BAUEN A; HOWES, J; BERTUCCIOLI, L and CHUDZIAK, C. Review of the potential for biofuels in aviation. *E4tech*, 2009.
- BOCCI, E.; SISINNI, M.; MONETI, M.; VECCHIONE, L.; DI CARLO, A. and VILLARINI, M. State of art of small scale biomass gasification power systems: a review of the different typologies. *Energy Procedia*, v. 45, p. 247-256, 2014.
- BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T. FRIGO, K. D. A.; CUNHA, F. S.; LINS, M. A.; FRIGO, E. P. Bioquerosene: panorama da produção e utilização no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. 3: 97-106. 2014.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, 2016.
- CHEN, G.; XIANG, G.; ZHANJUN, C.; BEIBEI, Y.; ZENG, D.; WENCHAO, MA. Air gasification of biogas-derived digestate in a downdraft fixed bed gasifier. *Waste Management*, v. 69, p. 162-169, 2017.
- CAPUTO, A. C.; PALUMBO, M; PELAGAGGE, P. M. and SCACCHIA, F. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. *Biomass Bioenergy*, v. 28, p. 35-51, 2005.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. Tecnologias de conversão energética da biomassa, Universidade do Amazonas/Efei, Manaus, 1997.
- DATAR, R.P.; SHENKMAN, R.M.; CATENI, B.G.; HUHNKE, R.L. LEWIS, R.S. Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol. *Biotechnology and Bioengineering*. 86: 587-594. 2004.
- DENNIS J. S.; LAMBERT R. S.; MILNE, A. J.; SCOTT, S. A. and HAYHURST A. N. The kinetics of combustion of chars derived from sewage sludge. *Fuel*, v. 84, p. 117-26, 2005.
- DRY, M. E. Practical and theoretical aspects of the catalytic Fischer-Tropsch process. *Applied Catalysis A: General*, v. 138, p. 319-44, 1996.
- EICHLER, P.; SANTOS, F.; TOLEDO, M.; ZERBIN, P.; SCHMITZ, G.; ALVES, C.; RIES, L. e GOMES, F. produção do biometanol via gaseificação de biomassa lignocelulósica. *Quimica Nova*, v. 38, n. 6, p. 828-835, 2015.
- FABBRI, D. and TORRI, C. Linking pyrolysis and anaerobic digestion (Py-AD) for the conversion of lignocellulosic biomass. *Curr. Opin. Biotechnol.* v. 38, p. 167-173, 2016.
- FARZANEH, M.; ALMSTEDT, A. E.; JOHNSSON, F.; PALLARÈS, D.; SASIC, S. The crucial role of frictional stress models for simulation of bubbling fluidized beds. *Powder Technology*, v. 270, p. 68-82, 2015, doi:10.1016/j.powtec.2014.09.050.
- FIGUEIREDO, F. L. Avaliação de uma unidade autônoma de produção de energia elétrica composta por sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

- GALEMBECK, F.; BARBOSA, C. A. S. e SOUSA, R. A. Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 571-581, 2009.
- GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science*. v.315 (5813): 808-10, 2007.
- HAMELINCK, C. N. and FAAIJ, A. P. C. Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass. *Journal of Power Sources*, v. 111, p. 1-22, 2002.
- HEIDENREICH, S. FOSCOLO, P. U. New concepts in biomass gasification. *Progress in Energy and Combustion Science*. v. 46, p. 72-95, 2015.
- HOFMANN, B. S. Hibridização de energia heliotérmica com gaseificação de biomassa para geração de energia elétrica (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- HOSSAIN, A.K.; SERRANO, C.; BRAMMER, J.B.; OMRAN, A.; AHMED, F.; SMITH, D.I.; DAVIES, P. A. Combustion of fuel blends containing digestate pyrolysis oil in a multicylinder compression ignition engine. *Fuel*, v.171, p.18–28, 2016.
- HU, J.; YU, F. and LU, Y. Application of Fischer–Tropsch synthesis in biomass to liquid conversion. *Catalysts*, v. 2, p. 303-326, 2012.
- KNOEF, H. A. M. Inventory of biomass gasifier manufacturers and installations. Final Report to European Commission, Contract DIS/1734/98-NL, Biomass Technology Group BV, University of Twente, Enschede; 2000.
- KREUTZ, T. G.; LARSON, E. D.; LIU, G and WILLIAMS, R. H. Fischer–Tropsch Fuels from Coal and Biomass. In: Proceedings of the 25 th annual international Pittsburgh coal conference. Pittsburgh, Pennsylvania, 2008.
- KUNII, D. and LEVENSPIEL, O. *Fluidization Engineering*, 2<sup>a</sup> ed., Butterworth- Heinemann: Oxford, 1991.
- LIMA NETO, S. C. Análise híbrida do escoamento turbulento em canais via modelos de turbulência de uma equação de transporte, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2007.
- LORA, E. E.; ANDRADE, R. V.; SANCHEZ, C. G.; GÓMEZ, E. O.; SALES, C. A. Gaseificação. In: Biomassa para energia, Unicamp, Campinas/SP, p. 241-332, 2008.
- OBOIRIEN, B.O. and NORTH, B.C. A review of waste tyre gasification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v.5, p. 5169–5178, 2017.
- OLAH, G. A. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 44, p. 2636–2639, 2005.
- MURAKAMI, T.; XU, G.; SUDA, T.; MATSUZAWA, Y., TANI, H.; FUJIMORI, T. Some process fundamentals of biomass gasification in dual fluidized bed, *Fuel*, v. 86, p. 244-255, 2007.
- NATIONAL ADVANCED BIOFUELS CONSORTIUM. Catalysis of lignocellulosic sugars process strategy; 2011.
- PERRY, J. *Chemical Engineering Handbook*. 8. ed, McGraw-hill, New York, 2008.
- PUIG-ARNAVAT, M.; BRUNO, J. C. and CORONAS, A. Review and analysis of biomass gasification models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 2841–2851, 2010.
- RAUCH, R. Biomass gasification to produce synthesis gas for fuels and chemicals, report made for IEA Bioenergy Agreement, Task 33: Thermal Gasification of Biomass, 2003.
- RENÓ, M. L. G.; EDUARDO, S. L. E.; PALACIO, J. C. E. and VENTURINI, O. J. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy*, v. 36, p. 3716-3726, 2011.
- RIBEIRO, R. S. Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas. (Dissertação de Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

- RODRIGUES, C. A. Gaseificação integrada ao ciclo combinado como alternativa para a produção de eletricidade e hidrogênio em refinarias de petróleo. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- ROSHMI, A.; MURTHY, J. and HAJALIGOL, M. Modeling of smoldering process in porous biomass fuel rod. *Fuel*, v. 83, p. 27–36, 2004.
- ROSAL, A. G. C. Modelagem e simulação de um gaseificador de biomassa em leito fluidizado borbulhante para produção de energia (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2008.
- RUMÃO, A. S. Geração de potência e energia elétrica a partir da gaseificação de rejeitos de biomassa (Tese de Doutorado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- SANT'ANNA, M. C. S. Simulação hidrodinâmica de um gaseificador de leito fluidizado borbulhante (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- SANT'ANNA, M. C. S.; SANTOS CRUZ, W. R.; SILVA, G. F.; MEDRONHO, R. A.; LUCENA, S. Analyzing the fluidization of a gas-sand-biomass mixture using CFD techniques. *Powder Technology*, v. 316, p.367 - 372, 2017.
- SANTOS, F. A.; DE QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; MANFREDI, M.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CALDAS, C. S. and SOARES, F. E. F. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. *Química Nova*, v. 37, n. 1, p. 56-62, 2014.
- SANTOS, F. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLODETTE, J. and DE QUEIROZ, J. H. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Editora UFV: Viçosa, 2013, cap. 4
- SCHUSTER, G.; LOFFLER, G.; WEIGL, K. and HOFBAUER, H. Biomass steam gasification--an extensive parametric modeling study. *Bioresour Technol*, v. 77, p. 71-9, 2001.
- SPEIGHT, J. G. e LUQUE, R. Gasification for Synthetic Fuel Production. Elsevier Inc., 2015.
- VILLETTA, M. L.; COSTA, M. e MASSAROTTI, N. Modelagem de abordagens para a gaseificação da biomassa: uma revisão com ênfase no método. *Revisões de Energia Renováveis e Sustentáveis*, v. 79, 2017.
- WANG, W. C. and TAO, L. Corrigendum to Bio-jet fuel conversion technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, p. 1556, 2017.
- YANG, Y. B.; YAMAUCHI, H.; NASSERZADEH, V. and SWITENBANK, J. Effect of fuel devolatilization on the combustion of wood chips and incineration of simulated municipal wastes in packed bed. *Fuel*, v. 82, p. 05–21, 2003.
- ZHANG, W. Automotive fuels from biomass via gasification. *Fuel Processing Technology*, v. 91, p. 866-876, 2010.
- ZHENG, J-L; ZHU Y-H; ZHU, M-Q; WU, H-T and SUN, R-C. Bio-oil gasification using air - Steam as gasifying agents in an entrained flow gasifier, *Energy*, v. 142, p. 426-435, 2017.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# CAPÍTULO 11

## PERSPECTIVAS DE FONTES ALTERNATIVAS PARA O BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

---

Fábio de Melo Resende

*Núcleo de Graduação de Agroindústria, Campus do Sertão,  
Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

O crescente aumento da demanda energética nas matrizes energéticas mundiais e a preocupação com as questões ambientais tem estimulado a comunidade científica estudar fontes alternativas de energia. Partindo de culturas alternativas com o intuito de se obter diversos tipos de combustíveis (sólidos, líquidos e gasosos) de caráter renovável, entre os quais o álcool de segunda geração (ETANOL 2G), ou simplesmente E2G é um dos mais importantes, devido a sua baixa toxicidade e facilidade no transporte, podendo substituir parcialmente a demanda por consumo de gasolina no país (VERARDI *et al.*, 2015).

O contexto atual de crise energética, associado a degradação ambiental tem contribuído para o aumento substancial da oferta de energia provenientes de fontes alternativa e/ou renováveis (SANTOS e MEDEIROS, 2013).

A crescente demanda por etanol no mercado brasileiro sustenta-se em algumas realidades de mercado: a) O incremento no consumo de etanol hidratado como consequência da inserção dos veículos *flex-fuel* no mercado interno; b) Recente aumento no teor da mistura do etanol à gasolina e; c) Expansão das exportações de etanol brasileiro para outros países (SOUZA FILHO, 2014).

Visando suprir a crescente demanda por esse biocombustível, torna-se necessário a busca por novas fontes de matérias-primas renováveis e tecnologias alternativas. Nessa perspectiva pesquisas com etanol de segunda geração demonstram uma possibilidade atraente de maximizar a produção e rendimentos sem a necessidade de ampliar a área agricultável. Os materiais lignocelulósicos emergiram como

candidatos em potencial para a produção de biocombustíveis, principalmente, o etanol (CAMARGO, 2012).

## 2 Desenvolvimento

Dentre as diversas culturas aplicadas à produção do bioetanol ou E2G, a palma forrageira (*OpuntiaFicus Indica*) (Figura 1.1), vem atraindo a atenção da comunidade científica devido a sua ampla disponibilidade, ausência de entressafra, requer baixo investimento em tecnologia, por ser resistente a longos períodos de estiagem e de fácil plantio (TORRES NETO, 2010). Cultura bem adaptada às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro com predominância de cultivo nos Estados de Pernambuco, Sergipe e Alagoas (CARVALHO, 2014).

Outra biomassa lignocelulósica de grande potencial para o Semiárido Nordestino é a *Agave Sisalana Perrine* (Figura 11.2) conhecida popularmente sob o nome de Agave ou Sisal, essa planta no meio científico é chamada Agave Sisalana Perrine. Integrante do gênero agave da família *Amaryllidaceae* pode ser cultivada em locais de baixa pluviosidade. Sendo uma planta semixerófila, adaptou-se com tranquilidade aos espaços áridos do território nordestino.

O sisal é uma planta de folhas rígidas, lisas, de cor verde brilhante, em forma de espada de 10 a 15 cm de largura por 1 a 2 metros de comprimento; na extremidade da folha encontra-se um espinho redondo, marrom de 20 a 25 cm de comprimento. Cada planta desenvolve de 10 a 40 folhas por ano. Essas folhas têm uma inclinação variada em relação ao eixo vertical da planta (PINTO, 1969. p. 17.).

A produção de etanol de 2ª geração a partir de materiais lignocelulósicos a exemplo do Sisal, e da palma forrageira e de outras biomassas lignocelulósicas é constituída pelas etapas de pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação. A primeira tem sido apresentada como alternativa para melhorar a digestibilidade da celulose, uma vez que ocorre a solubilização parcial e/ou degradação da hemicelulose e da lignina.

**Figura 11.1 – Plantação de *Opuntia ficus indica*- Microrregião de Sergipe**

Fonte: Autor, 2015

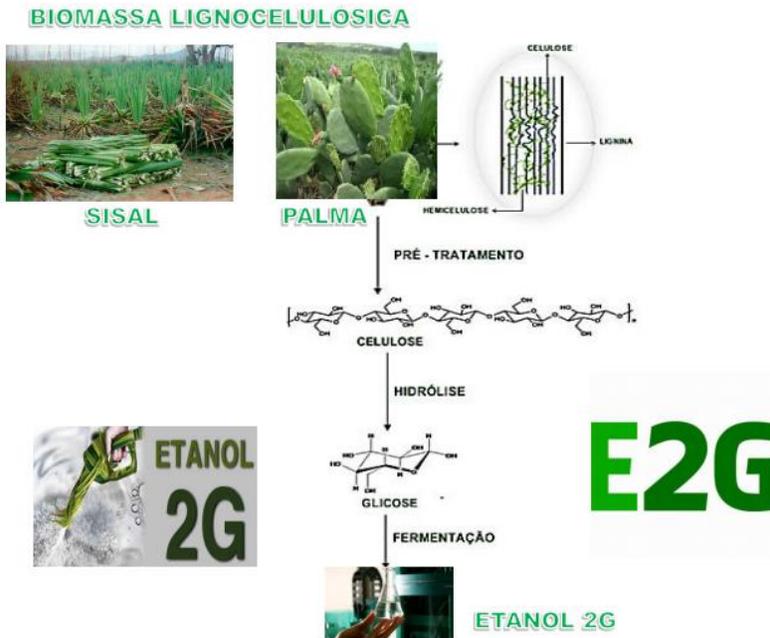
**Figura 11.2 – Plantação de Sisal**

Fonte: <http://www.ateffaba.org.br/?p=7738> - Acesso em 27/09/2015

Na hidrólise seja enzimática, ácida ou alcalina a principal meta é disponibilizar os açúcares fermentescíveis que são produzidos a partir da celulose e da hemicelulose presentes sob a forma de Glicose e Xiloserespectivamente. A fermentação e destilação seguem as mesmas características do processo tradicional de produção (CARDOSO

et al., 2014) com exceção da fermentação da fração dos açúcares C5 presentes na fração xilanolítica que não é passiva de ser fermentada pelo fungo leveduriforme *Saccharomyces cerevisiae*. A Figura 11.3 a seguir ilustra as etapas tecnológicas de obtenção do ETANOL 2G também conhecido como E2G.

**Figura 11.3 – Esquema das etapas de obtenção do E2G**



Fonte: Autor, 2015

A produção de etanol 2G a partir de biomassa lignocelulósica lança mão de pré-tratamentos químicos ou enzimáticos para a hidrólise da celulose e da hemicelulose, fornecendo carboidratos (hexoses e pentoses), que posteriormente podem ser convertidos a etanol por microrganismos fermentadores. Dentre os pré-tratamentos, que visam desorganizar o complexo lignocelulósico, o pré-tratamento ácido tem se mostrado uma alternativa interessante, pois além de desestruturar o complexo, provoca a hidrólise da hemicelulose, o que resulta em uma fração líquida contendo, no caso do bagaço de cana, majoritariamente a xilose. Após o pré-tratamento, o líquido contendo o hidrolisado hemicelulósico é separado de um resíduo sólido, composto

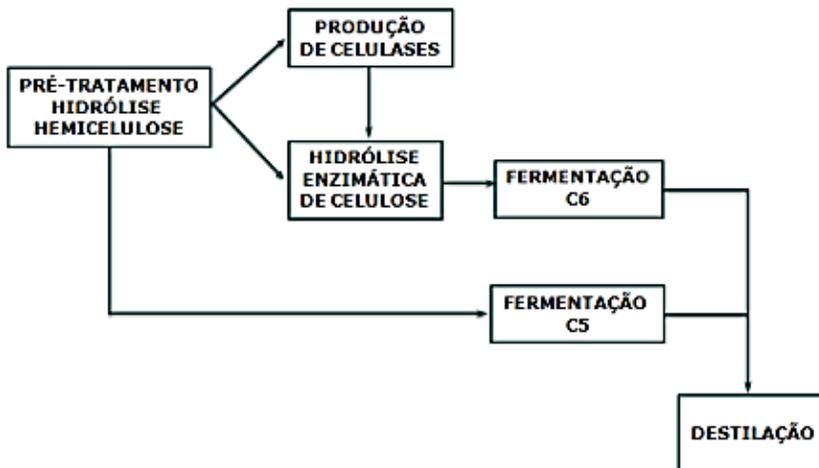
fundamentalmente de celulose e lignina, denominado de celulignina. A neutralização do pH, seguida de uma etapa de deslignificação do resíduo sólido gerado é necessária quando se vislumbra a hidrólise enzimática, a fim de se aumentar a acessibilidade da celulose ao ataque catalítico.

Após os pré-tratamentos (ácido e alcalino) dos materiais lignocelulósicos, que visam o fracionamento da hemicelulose e a deslignificação do resíduo sólido (celulignina), é possível hidrolisar a celulose através de concepções modernas, que incluem processos enzimáticos para a obtenção de glicose, que, por sua vez, poderá ser fermentada a etanol (LYND *et al.*, 2002).

Diferentes configurações de processos podem ser definidas com base nesses eventos e de acordo com a integração dos mesmos, que se seguem detalhadas.

Nesta concepção, como o próprio nome indica os materiais pré- tratados são hidrolisados enzimaticamente para obtenção da glicose, a qual é subsequentemente fermentada a etanol. Os eventos acontecem em unidades separadas fisicamente (Figura 11.4).

**Figura 11.4 – Diagrama do Processo de Hidrólise e Fermentação separadas (SHF)**



Fonte: PEREIRA JR *et al.*, (2008)

A grande vantagem desse processo é que o mesmo permite que tanto a hidrólise quanto a fermentação sejam conduzidas em condições ótimas para cada etapa. A temperatura ótima para as celulasas está entre 45 e 50°C e a temperatura ideal para a fermentação está entre 30 e 37°C (OLSSON *et al.*, 2006).

No entanto, cabe ressaltar que a maior desvantagem deste processo está relacionada à inibição das enzimas do complexo celulásico pelos seus produtos finais de hidrólise (glicose e celobiose); assim como a possibilidade de contaminação, pois o tempo envolvido na etapa de hidrólise é longo, e a solução de açúcares formada torna-se uma fonte disponível ao ataque de microrganismos indesejados. Além disso, as próprias enzimas podem ser uma fonte potencial de contaminação (TAHERZADEH & KARIMI, 2007).

Minimizar e mitigar o consumo de matérias-primas de origem fóssil, é um dos grandes desafios do Século XXI que vindo sendo apresentando a comunidade científica e mundial na atualidade. Os processos biotecnológicos aplicados no conceito de biorrefinaria oferecem subsídios para obtenção de diversos compostos de interesse industrial e sua implantação no Nordeste brasileiro surge como alternativa viável técnica e economicamente, para o uso de culturas alternativas a exemplo das biomassas lignocelulósicas como a Palma forrageira e a Agave sisalana dentre outras presentes no Nordeste brasileiro.

## Referências bibliográficas

- Camargo, D., Aproveitamento das Frações Hemicelulósicas e Celulósicas dos Resíduos do Processamento do Girassol para Produção de Bioetanol. Dissertação de Mestrado, Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.
- Cardoso, J. F., Silva, K. A., Godoy, P. H. M., Seolatto, A. A., Produção de Etanol a partir do Bagaço da Laranja. X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, vol 1, 2014.
- Carvalho, A. V. T., Modelagem do Rendimento da Palma Forrageira e a sua Aplicabilidade na Análise de Eficiência Produtiva e do Risco Climático no Estado da Bahia. Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA, 2014.
- Moreira, T. S. V., Vieira, S. P., Cerqueira, P. S., Nink, R. A. Produção Agrícola de Fontes Amiláceas na Microrregião de Paulo Afonso-BA: Perspectivas para a Produção de Bioetanol. VIII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação (Connepi). Salvador, Bahia, 2013.

- Santos, T. N. Avaliação da Biomassa de Sorgo Sacarino e Palma Forrageira para a Produção de Etanol em Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Tecnologia Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- Santos, T. N., Medeiros, N. V. S., Caracterização da Palma Forrageira Visando o seu Aproveitamento Energético: Quantificação e Análise de Extrativos. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 1, 2013.
- Souza Filho, P. F., Palma Forrageira (*OpuntiaFicus Indica*) como Matéria-prima para Etanol Celulósico e Enzimas Celulíticas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.
- Torres Neto, A. B., Estudo da Pré-hidrolise Ácida da Palma Forrageira (*OpuntiaFicus-Indica Mill*). Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, 2010.
- Verardi, A., De Bari, I., Ricca, E., Calabro, V. Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Current Status of Processes and Technologies and Future Perspectives. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/bioethanol/hydrolysis-of-lignocellulosic-biomass-current-status-of-processes-and-technologies-and-future-perspe>>. Acesso em: 10 jun.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



**PARTE 4**  
**TEMAS CORRELATOS**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 12

# ALTERNATIVAS DE ILUMINAÇÃO A PARTIR DA FRUGALIDADE DA LÂMPADA DE MOSER

---

Carlos Tadeu Santana Tatum; Letícia-Maria Macedo Tatum;  
Vania de Jesus; Suzana Leitão Russo

*Programa de Pós-graduação em Ciências da Propriedade Intelectual,  
Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

Reconhece-se que após a aplicação da lâmpada de Moser, criada a partir de garrafas de refrigerante PET, pôde-se observar que diversos países adotaram esse perfil tecnológico, baseado no princípio da refração óptica, segundo Gibby Zobel (2013) Tatum; Russo (2017)

Destaca-se ainda por meio de Gibby Zobel (2013) um ponto importante na inovação de Moser, o aproveitamento das energias renováveis, de modo que sua contribuição impactou em melhorias relevantes, tornando possível o alcance além fronteiras, atendendo as necessidades emergentes da Sociedade da base da pirâmide.

Portanto, conhecer as principais inovações inspiradas baseadas na frugalidade de Moser permitirá que se possa reconhecer seus impactos, evoluções e, principalmente, tendências mercadológicas que poderão decorrer a partir de uma invenção simplificada, flexível, acessível, frugal.

### **2 Inovação Frugal**

Radjou *et al.* (2012) e Prahalad; Hart (2002) apresentaram relações teóricas sobre a inovação e a pobreza, afirmando que: “ações inovadoras tendem a criar oportunidades para os pobres, oferecendo-lhes escolhas e incentivando a autoestima.” E, ainda: “A distribuição da riqueza e a capacidade de geração de renda no mundo podem ser capturadas sob a forma de uma pirâmide econômica.”

Reforçando-se o poder de capacidade da inovação frugal, foi que Hesseldahl *et al.* (2016) afirmou o papel da inovação frugal frente

ao poder de democratização, incluindo-se formação de novas tecnologias, tornando-a acessível para milhões de pessoas, sendo um remédio importante para alcançar vários dos objetivos globais da ONU.

### 3 A Lâmpada de Moser

Com uma garrafa de refrigerante PET cheia de água, um pouco de alvejante e uma pequena tampa revestida de fita adesiva preta, o mecânico Alfredo Moser criou uma forma rudimentar de iluminar sua escura oficina sem utilizar nenhum Watt de energia. Gerando uma inovação simples, que passou a revolucionar o mundo, conforme pôde ser verificado em Bahadur; Doczi (2016), Kuo (2017).

Para se ter uma melhor compreensão de como é o funcionamento dessa inovação frugal, pode-se observar em detalhes a Figura 12.1.

**Figura 12.1 – Funcionamento da lâmpada de Moser**



Fonte: Tatum; Russo (2017)

Após a ilustração, apresenta-se o perceptível funcionamento exclusivo da energia solar, fonte renovável que tem tido merecido destaque em cenário internacional, conforme aponta o item 2.3.

### 4 Energias Renováveis

A energia configura-se como um bem de consumo substancial para as sociedades modernas, sua importância está representada na agenda 2030 que é um plano de ação destinado ao desenvolvimento das pessoas, do planeta e que almeja a prosperidade global; além da consolidação da paz universal, a erradicação da pobreza em todas as

suas expressões e extensões, configurando-se como o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Na agenda da ONU foram traçados dezessete objetivos na temática do Desenvolvimento Sustentável e cento e sessenta e nove metas, definindo-se dentre seus objetivos globais: assegurar o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

O Brasil tem como características o apoio a fontes convencionais de energia justificando tal apoio devido à garantia de uma maior concorrência, porém a produção de energia elétrica via fonte solar já não é novidade em alguns países, conforme Takaoka; Campos (2013).

A transição tecnológica aparece como uma questão ao setor elétrico por meio das imposições para o incremento de aparelho inovador baseado em tecnologias sustentáveis. O setor elétrico é executor de uma considerável parcela da difusão de CO<sub>2</sub> no mundo, assumindo 32% das emissões totais de acordo com a “International Energy Agency (IEA). Urge a necessidade de profundas mudanças, pois, estima-se que essas emissões dobrarão entre 2007 e 2050 em todo o mundo, conforme Amaral *et al.* (2017).

As energias renováveis surgem nesse cenário como alternativas, uma vez que quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são compostos indiretos de energia solar. Somado a isso, quando se trata de energia renovável, pode-se citar vários benefícios que dela resultam, tendo-se como exemplo a energia solar; Miranda *et al.* (2017) , conceitua em seu estudo que “[...] o sol é considerado como uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia (2017).

Portanto, a possibilidade de uso da energia solar como fonte térmica, produção de potência mecânica e transformação direta em energia elétrica, por meio de materiais e insumos específicos, ou seja, o uso adequado de tecnologias sustentáveis, pode resultar no aquecimento solar passivo, que é a utilização da iluminação natural por

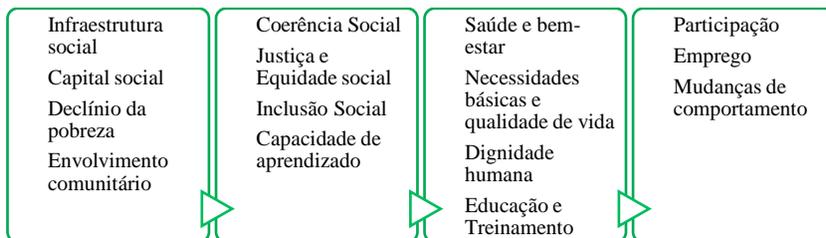
meio do aproveitamento da radiação solar nas edificações, segundo a Agência Nacional de energia Elétrica (2005).

## 5 Sustentabilidade

Segundo Brasil (1988), no artigo 225, caput tem-se: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

Khan (2016) aponta que a Inovação frugal apresenta um arcabouço de atributos, que ligados a temática da sustentabilidade, resulta no desenvolvimento sustentável. As temáticas para justificar esse desenvolvimento são separadas em quatro grupos, conforme pode ser visto na Figura 12.2:

**Figura 12.2 – Sustentabilidade**



Fonte: Khan (2016)

## 6 Metodologia

Buscando-se pelo meio bibliográfico atingir referências e autores que formalizam o conhecimento científico, tomou-se Kothari (2010) e Gil (2008) como referencial neste método, utilizando-se como meios: periódicos acadêmicos, sítios governamentais, institucionais, através de artigos acadêmicos e de imprensa com reconhecimento notório.

A pesquisa realiza uma abordagem com utilização de variáveis qualitativas, através de processo descritivo e comparativo das tecnologias alternativas encontradas nos trabalhos de Moser, gerando-

se uma reflexão aplicável às energias renováveis e à temática da sustentabilidade.

## **7 Resultados e discussão**

### **7.1 A evolução da lâmpada de Moser: iluminando a noite**

Observa-se por meio de Liter of Light (2013) que o aperfeiçoamento da lâmpada de Moser para iluminar a noite trouxe um forte impacto na sociedade. E para se entender a simplicidade de seu funcionamento, tem-se uma breve explicação:

[..] as lâmpadas são compostas de um circuito simples: uma bateria, quatro luzes LED, tubos de plástico, um pequeno painel solar e uma garrafa; os circuitos são projetados para que eles se liguem e desliguem automaticamente na presença ou na ausência de luz do dia; todos os componentes Nightlight são de código aberto e podem ser criados a partir do zero, até mesmo para o próprio circuito; três a cinco watts é tudo o que é necessário para acender uma aldeia inteira. “Nightlight - Liter of Light USA” (2016).

Verifica-se ainda que após a evolução dessa inovação para noite, uma outra foi logo observada, a aplicação desse modelo, com suportes tipo tubos plásticos, para serem utilizados como postes, e que logo foram tomadas como proposta no Brasil, pelos estudantes da Universidade de Brasília – UNB -, conforme Globo Comunicação e Participações S.A. (2015).

### **7.2 A expansão mundial da lâmpada de Moser**

Kuo (2017) e “*Nightlight - Liter of Light USA*” (2016) afirmam que o uso da tecnologia como empresa social foi lançado inicialmente nas Filipinas por Angelo Illac Diaz, através da Fundação My Shelter em 2011, possibilitando a expansão com toda mão de obra local, atingindo inicialmente 15 mil instalações de garrafas solares em 20 cidades.

Ainda em Kuo (2017), a iniciativa começou a inspirar atividades locais em todo o mundo, e, portanto, incentiva a participação

de oficinas com jovens, empresas e outros grupos que estão interessados em oferecer seu tempo para construir luzes em suas comunidades.

Segundo a organização *Climate Heroes* (2017), do Peru até as Filipinas, o invento já proporcionou ajuda ao povo quanto à pobreza energética na ordem de 382.000 filipinos e 690.000 pessoas em todo o mundo, evitando assim a necessidade de provedores de energia tradicionais e centralizados, como o carvão, a energia nuclear ou mesmo as hidrelétricas.

O fato é que a invenção desta lâmpada daria para aproveitar os 4/5 de garrafas PET's que são lançadas nos lixões brasileiros sem reciclagens, conforme os índices previstos pela Abipet (2012). Índices estes que representaram o quantitativo de até 840 quilotoneladas por ano deste polímero. Com base nisso, Tatum; Russo (2017) afirmaram que esse numerário traduziria uma capacidade de iluminar milhares de cidades com o uso da energia solar, conforme o princípio da lâmpada de Moser, quer sua aplicação fosse em ambientes privados ou públicos.

Para melhor ilustrar a evolução dos resultados, partindo-se da lâmpada original de Moser, tem-se um descritivo observado nas referências da Tabela 12.1.

Segundo Wikipedia Foundation (2017), registram-se 20 países que são beneficiados com a participação da ONG Litro de Luz, a qual apresenta uma estrutura de apoio aos desejosos que queiram fazer parte da iniciativa, dentre eles já estão utilizando a tecnologia: Argentina, Bangladesh, Brasil, China, Colômbia, República Dominicana, Egito, França, Índia, Quênia, Malásia, México, Nepal, Países Baixos, Paquistão, Panamá, Peru, Filipinas, Espanha, Suíça.

**Tabela 12.1 – Alternativas de frugalidade da lâmpada de Moser**

Inovação	Descrição/Período/Origem	País
	Lâmpada original de Moser, 2002, Uberaba/MG – Fonte: Brasil Globo Comunicação e Participações S.A. (2010); BBC do Brasil Ltda (2013); Imagem: BBC do Brasil Ltda (2013)	Brasil
	Melhoria da invenção original integrando diretamente a garrafa PET com telha pré-fabricada pelo próprio Alfredo Moser. Imagem/Fonte: Globo Comunicação e Participações S.A. (2012)	Brasil
	Iluminação pública noturna com uso da evolução da lâmpada de Moser. Imagem/Fonte: “Nightlight - Liter of Light USA” (2016)	Filipinas/ expectativa de assistir a mais de 1 milhão de pessoas
	Poste com garrafa PET. Estudo da Inovação para aplicação em espaço público no Brasil. Fonte: Globo Comunicação e Participações S.A. (2015)	Brasil
	Aplicação prática no Brasil, registrando-se o quantitativo de cerca de 14 mil brasileiros beneficiados. Fonte/Imagem: Gazeta do Povo (2016)	Brasil

Fonte: 1Globo Comunicação e Participações S.A. (2010); BBC do Brasil Ltda (2013); Imagem: BBC do Brasil Ltda (2013); 2Imagem/Fonte: Globo Comunicação e Participações S.A. (2012); 3“Nightlight - Liter of Light USA” (2016); 4Globo Comunicação e Participações S.A. (2015); Fonte/Imagem: Gazeta do Povo (2016).

## 8 Conclusões

O estímulo a inovações que possuam grande impacto global e que possam levar ao desenvolvimento sustentável em tempos onde deve-se respeitar o pacto entre gerações presentes e futuras, deveriam ter uma atenção especial por parte dos governantes, empresários e na estrutura acadêmica, uma vez que se trata de energia renovável e de amplo acesso a todos, como é o caso da evolução da lâmpada de Moser.

## Referências bibliográficas

- ABIPET. Indústria do PET no Brasil. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/indexAjax.html?method=baixarArquivo&id=392>>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Energia Solar. In: *Agência Nacional de Energia Elétrica* (Ed.); Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2nd ed., p.243, 2005. Brasília: ANEEL. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia\\_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 4/11/2017.
- AMARAL, G.; MARX, R.; SALERNO, M.; et al. *Investigação sobre a organização do trabalho para a inovação e transição tecnológica no setor elétrico brasileiro*. Gestão & Produção, v. 24, n. 2, p. 236–247, 2017. Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2017000200236&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2017000200236&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 4/11/2017.
- BAHADUR, A.; DOCZI, J. *Unlocking resilience through autonomous innovation*. , n. January, 2016.
- BBC DO BRASIL LTDA. *Brasileiro inventor de “luz engarrafada” tem ideia espalhada pelo mundo* - BBC Brasil. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/08/130813\\_lampada\\_garrafa\\_gm](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/08/130813_lampada_garrafa_gm)>. Acesso em: 27/10/2017.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 6/11/2017.
- CLIMATE HEROES. Illac Diaz, Light by the Liter - Climate Heroes. Disponível em: <<http://climateheroes.org/portfolio-item/illac-diaz-light-by-the-liter/>>. Acesso em: 30/10/2017.
- GAZETA DO POVO. Lâmpadas de garrafa PET e postes solares levam luz a locais isolados | Gazeta do Povo. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/lampadas-de-garrafa-pet-e-postes-solares-levam-luz-a-locais-isolados-9vaj6hrjjsasfj20rmhd4d4qg>>. Acesso em: 30/10/2017.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6th ed. São Paulo, 2008.
- GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. *Morador de Uberaba que criou a “lâmpada de garrafa pet” participa de exposição no RJ* - G1 Triângulo Mineiro - MGTV 1 Edição - Catálogo de Vídeos. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/mgtv-1edicao/videos/v/morador-de-uberaba-que-criou-a-lampada-de-garrafa-pet-participa-de-exposicao-no-rj/5835784/>>. Acesso em: 27/10/2017.
- GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. *Lâmpada de garrafa pet que ganhou o mundo é um dos destaques de 2012* - notícias em Triângulo Mineiro. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2012/12/lampada-de-garrafa-pet-que-ganhou-o-mundo-e-um-dos-destaques-de-2012.html>>. Acesso em: 27/10/2017.
- GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. *Grupo da UnB cria poste econômico com garrafas PET e lâmpadas de LED* - notícias em Distrito Federal. Disponível em:

- <<http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2015/06/grupo-da-unb-cria-poste-economico-com-garrafas-pet-e-lampadas-de-led.html>>. Acesso em: 14/7/2017.
- HESSELD AHL, P.; BALLAN, S.; WENDT, R. *High-Tech Low-Cost Solutions Perspectives for Nordic Companies High-Tech Low-Cost Solutions Perspectives for Nordic Companies High-Tech Low-Cost Solutions Perspectives for Nordic Companies*. Norway: Nordic Innovation Publication, 2016.
- KHAN, R. *How frugal innovation promotes social sustainability*. Sustainability (Switzerland), v. 8, n. 10, 2016.
- KOTHARI, C. R. *Research Methodology - Methods and Techniques*. New Delhi: New Age International (P) Ltd., 2010.
- KUO, A. *Harnessing frugal innovation to foster clean technologies*. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 19, n. 4, p. 1109–1120, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10098-016-1304-y>>. .
- LITER OF LIGHT. *Nightlight - LITER of Light*. Disponível em: <<http://www.literoflightusa.org/the-night-light-project/>>. Acesso em: 27/10/2017.
- MIRANDA, G. B.; BORNANCIN, R.; DULLIUS, A.; FERREIRA, I. *Análise de um sistema de iluminação pública com energia solar fotovoltaica*. Disponível em: <<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/viewFile/412/293>>. Acesso em: 4/11/2017.
- NAÇÕES UNIDAS. Agenda 2030 | ONU Brasil. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 3/11/2017.
- Nightlight - LITER of Light USA. Disponível em: <<http://www.literoflightusa.org/the-night-light-project/>>. Acesso em: 13/7/2017.
- PRAHALAD, C. K.; HART, S. L. *The fortune at the bottom of the pyramid*. 2002.
- RADJOU, N.; PRABHU, J.; AHUJA, S. *A inovação do improviso: Por que menos é mais na construção de riquezas e resultados*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- TAKAOKA, M.; CAMPOS, É. F. DE. *Eficiência Energética*. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2013. Disponível em: <[http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/cbcsnoticias\\_7ed.pdf](http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/cbcsnoticias_7ed.pdf)>. Acesso em: 3/11/2017.
- TATUM, C. T. S.; RUSSO, S. L. *Moser's Light and Conventional Lights Studies*. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Economics and Management Engineering International Science Index Economics and Management Engineering International Scholarly and Scientific Research & Innovation, v. 44, n. 412, 2017. Disponível em: <<http://waset.org/pdf/books/?id=77627&pageNumber=2776>>. Acesso em: 26/10/2017.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 13

# USO DA MORINGA OLEÍFERA LAM COMO ANTIOXIDANTE PARA BIODIESEL

---

Fernanda Rocha Morais França<sup>1</sup>; João Paulo Almeida Freitas<sup>2</sup>;  
Maria Susana Silva<sup>2</sup>; Gabriel Francisco da Silva<sup>2</sup>; João Inácio Solletti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Alagoas*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

Uma das principais questões associadas ao uso de biodiesel é manter o combustível em padrões especificados em períodos mais longos. O biodiesel é mais propenso à oxidação do que um diesel mineral, e começa a ficar rançoso em uma semana, ocorrendo a degradação completa após um período de 4 semanas. Os produtos finais desta oxidação alteram as propriedades físicas e químicas do combustível que resultam na formação de gomas insolúveis que podem prejudicar o motor. Uma solução para melhorar a estabilidade do biodiesel é a adição de antioxidantes adequados aos combustíveis. Neste contexto surgem os antioxidantes naturais e a *Moringa Oleifera* Lam pode ser um deles.

Desde a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira em 2005, é cada vez mais evidente seu papel para tornar o país autossuficiente energeticamente, tanto pelos benefícios ambientais comprovados (em relação ao combustível fóssil) quanto pela viabilidade de produção através das diversas fontes renováveis que servem de matéria prima. Sendo assim, diante do crescente aumento da produção de biodiesel, gera-se a expectativa de que o Brasil se torne um importante exportador deste combustível, gerando assim divisas e desenvolvimento econômico.

A susceptibilidade à oxidação é um aspecto relevante dentro do ciclo de existência do biodiesel uma vez que os triacilglicerídeos de ácidos graxos insaturados, tais como linoléico e linolênico, apresentam sítios reativos sensíveis à oxidação. Esses ésteres sob condições de calor, radiação UV, umidade, ar atmosférico e metais, mesmo que por

pouco tempo, são induzidos seqüencialmente a reações de formação de radicais livres, combinação desses radicais com oxigênio, formação e clivagem de peróxidos e posterior liberação de aldeídos, ácidos carboxílicos ou polímeros. Esses produtos causam corrosão nas peças do motor e formação de depósitos ocasionando obstrução nos filtros e sistema de injeção. Portanto quanto menos sujeito à oxidação melhor a qualidade do biodiesel no decorrer do seu ciclo útil. A estabilidade oxidativa do biodiesel é de fundamental importância para o controle de sua qualidade, principalmente no que diz respeito ao armazenamento, que é expresso como o período de tempo requerido para alcançar o ponto em que o grau de oxidação aumenta abruptamente.

Desta forma, a busca por aditivos que minimizem a oxidação está cada vez mais em foco possibilitando maior estabilidade oxidativa, permitindo que o produto possa ficar mais tempo estocado e minimizando os produtos de oxidação.

## **2 Antioxidantes Naturais**

A determinação da atividade antioxidante de produtos naturais teve início com Chipault *et al.* (1952) em especiarias. No entanto, o interesse efetivo pelos antioxidantes naturais teve início na década de 80 diante da comprovação de efeitos maléficos causados por doses elevadas de BHT, BHA e TBHQ quando adicionadas aos alimentos (DURÁN e PADILLA, 1993).

Antioxidantes naturais também podem ser adicionados ao biodiesel para o mesmo propósito que os antioxidantes sintéticos. Estes antioxidantes podem aumentar a estabilidade à oxidação com a vantagem de serem facilmente biodegradáveis, não tóxicos, embora eles não têm sido ainda amplamente utilizados.

## **3 Compostos Fenólicos Como Antioxidantes**

Os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução. Ribéreau-Gayon classificou estes compostos em três categorias: pouco distribuídos na natureza, polímeros e largamente distribuídos na natureza (ANGELO *et al.*, 2006).

Na família dos compostos largamente distribuídos na natureza estão os fenólicos encontrados geralmente em todo reino vegetal, mas às vezes podem estar localizados em uma só planta. Este grupo pode-se dividir em flavonoides (antocianinas, flavonóis e seus derivados) e ácidos fenólicos (ácidos benzóico, cinâmico e seus derivados) e cumarinas (ANGELO *et al.*, 2006).

Dentre as diversas classes de substâncias antioxidantes de ocorrência natural, os compostos fenólicos têm recebido muita atenção nos últimos anos, sobretudo por inibirem a peroxidação lipídica e a lipooxigenase *in vitro*.

A atividade antioxidante de compostos fenólicos deve-se principalmente às suas propriedades redutoras e estrutura química. Estas características desempenham um papel importante na neutralização ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo. Os intermediários formados pela ação de antioxidantes fenólicos são relativamente estáveis, devido à ressonância do anel aromático presente na estrutura destas substâncias.

#### **4 Moringa oleífera Lam**

A *Moringa oleífera* Lam é uma leguminosa perene e caducifólia que apresenta um tronco único de porte médio e possui uma copa aberta em forma de sombrinha (Figura 13.1). Seu crescimento é rápido, produzindo flores e frutos dentro de um ano de plantio, atingindo até 10 metros de altura. A sua proliferação é dada por meio de sementes, mudas ou estacas. A espécie é forte, não requerendo cuidados especiais (CYSNE, 2006; ALMEIDA, 2010).

No Brasil, foi inserida em 1950, através da região Nordeste, nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, onde é popularmente conhecida como quiabo de quina, lírio-branco ou moringa (CYSNE, 2006). Portanto, pode ser encontrada em várias regiões do país.

A planta apresenta uma diversidade de usos, sendo um importante gênero alimentício, pois além de ser considerada uma planta

altamente nutritiva, é possível aproveitar todas as suas partes, tais como: folhas, flores, frutos e frutos imaturos (MANZOOR *et al.*, 2007).

Diante disso as folhas da Moringa mostram-se uma potencial fonte de antioxidantes para biocombustíveis.

**Figura 13.1 – Árvore da espécie *Moringa oleífera* situada ao lado do Laboratório de Tecnologias Alternativas-LTA**



Fonte: AUTOR, 2015

Anwar *et al.*, (2007) estudaram o melhoramento da estabilidade oxidativa de óleos vegetais de soja (SBO) e girassol (SFO) através de blends com óleo de moringa. As misturas foram feitas nas proporções

de 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80% (w/w) tanto para MOO/SFO e MOO/SBO. A mistura MOO resultou em um aumento significativo do período de indução medido através do Rancimat. Percebeu-se que a cada adição de 20% do MMO aos óleos puros de SBO e SFO melhorou-se seu período de indução em 43,4 e 56,5% respectivamente. Um teste de capacidade de armazenamento (180 dias, em condições do ambiente) mostrou uma melhoria significativa na estabilidade oxidativa do substrato de óleos com o aumento da concentração de MOO. Os autores concluíram com base dos resultados atuais, que uma combinação do MOO com outros óleos pode resultar em uma maior estabilidade oxidativa.

A atividade antioxidante dos extratos folhas de *Moringa Oleifera Lam* foi previamente investigada utilizando diferentes ensaios (SANTOS *et al.*, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2011). Um extrato metanólico de folhas *Moringa Oleifera Lam* foi utilizado como um antioxidante para óleo de soja exposto à oxidação por processos acelerados e teve seus resultados comparados com o antioxidante BHA (ARABSHAHI *et al.*, 2011).

O potencial antioxidante de extratos etanólicos das folhas (EL), flores (EF), vagens da semente (EP) e sementes (ES) a partir de *Moringa oleifera Lam* foi avaliado por Nascimento, *et al.*, 2014 em óleo de peixe em concentrações de 100ppm. Os resultados mostraram que o extrato das folhas e flores exibiram um efeito protetor, com um aumento de cerca de 20 e 11% dos valores de OIT, respectivamente.

Em estudos realizados por Fernandes, *et al.*, 2015 foi investigada a influência de extratos etanólicos da folha da *Moringa Oleifera Lam* como aditivos para melhorar a estabilidade oxidativa de diferentes biodieseis, soja e residual. Os biodieseis foram aditivados com concentrações de 100, 500 e 1000 ppm e mostraram um aumento bastante significativo no PI das amostras de 2h para 10, 18 e 21h em biodiesel de soja nas concentrações de 100,500 e 1000ppm respectivamente, bem como de 2h para 4 e 12h em biodiesel de óleo residual nas concentrações de 500 e 1000ppm respectivamente, não havendo diferença na concentração de 100ppm.

Nascimento *et al.*, 2014 estudaram a adição de extratos das folhas, sementes e flores da *Moringa oleífera* Lam em óleo de Soja através do método Rancimat. O óleo de soja recebeu a adição de 100 ppm de cada extrato. Os resultados mostraram um efeito protetor da oxidação para os extratos da moringa com um destaque para as folhas, que obteve um valor de PI de 11,41h com um aumento no período de indução de 8,18%.

França *et al.*, 2017 investigou a ação antioxidante durante armazenamento de biodiesel comercial aditivado com extrato da folha da Moringa Oleífera Lam. As amostras foram armazenadas em recipientes fechados na ausência de luz durante 150 dias, variando a temperatura de 15 e 29 °C. Análises de estabilidade oxidativa foram realizados regularmente. Os resultados mostraram um aumento no período de indução (IP) em amostras de biodiesel contendo o extrato, indicando um efeito protetor, inibindo a iniciação da oxidação. No entanto, uma redução no potencial antioxidante foi observado após um mês de armazenamento. Observou-se também que a temperatura é uma variável importante para a manutenção das propriedades antioxidantes. Os resultados indicaram que o extrato da folha da Moringa é um potencial antioxidante natural para biodiesel, com baixa toxicidade que pode garantir um consumo mais seguro em comparação com antioxidantes sintéticos.

## 5 Conclusão

Diante do exposto, a *Moringa oleifera* Lam demonstra ser uma matéria prima adequada e com potencial ação antioxidante a fim de ser utilizado como aditivos na indústria e como demonstrou em muitos trabalhos, no setor de bio biocombustíveis.

## Referências bibliográficas

- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2006.
- ANWAR, F.; HUSSAIN, A. I.; IQBAL, S.; BHANGER, M. I. Enhancement of the Oxidative Stability of Some Vegetable Oils by Blending with Moringa oleifera Oil. Food Chemistry, v.103, n. 4, p. 1181-1191, 2007.
- ALMEIDA, I. L. S. Avaliação da capacidade de adsorção da torta de *Moringa oleifera* para BTEX em amostras aquosas. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, 2010.

- CYSNE, J. R. B. **Propagação in vitro de *Moringa oleifera* L.** 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, Brasil, 2006.
- CHIPAULT, J.R. *et al.* The antioxidant properties of natural spices. **Food Science**. v. 17, n. 1, p. 46-55, 1952.
- DURÁN, R.M.;PADILLA, B. Actividad antioxidante delos compuestos fenólicos. *Grasas y Aceites*, Sevilla, v.44, n.2, p.101-106, 1993.
- FERNANDES, D. M. *et al.*, *Moringa oleifera*: A potential source for production of biodiesel and antioxidant additives. *Fuel*, v. 146, p.75-80, 2015.
- FRANÇA, F. R. M.; MENEZES, D. S.; MOREIRA, J. J. S.; SILVA, G. F.; BRANDÃO, S. T. Potencial da *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) como fonte de antioxidante natural para biocombustível. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 10, 2014. Anais Eletrônicos do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014.
- FRANÇA, F. R. M., FREITAS, L. S., RAMOS, A. L. D., SILVA, G.S., BRANDÃO, S. T. Storage and oxidation stability of commercial biodiesel using *Moringa oleifera* Lam as an antioxidant additive. *Fuel* 2017;203:627–632.
- MANZOOR, M.; ANWAR, F.; IQBAL, T.; BHANGER, M. I. Physico-chemical characterization of *Moringa concanensis* seeds and seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 84, p. 413-419, 2007.
- NASCIMENTO et al, Ethanolic extracts of *Moringa oleifera* Lam:Evaluation of its potential as an antioxidant additive for fish oil. **J Therm Anal Calorim**. V. 117, p. 265-268, 2014.
- SANTOS AF, ARGOLO AC, PAIVA, PM, COELHO LC. Antioxidant activity of *Moringa oleifera* tissue extracts. *Phytother Res* 2012;26(9):1366–70.
- SANTOS, F. F. P. Avaliação de antioxidantes aplicados a produção de biodiesel. 2013. 154f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará – UFCE.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 14

# A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO ATÉ 2050

---

Maria Susana Silva<sup>1</sup>; Geórgia Tecla Oliveira de Melo Lopes<sup>1</sup>;  
Carla Corina dos Santos Porto<sup>1</sup>; Fernanda Rocha Morais França<sup>2</sup>;  
Acto de Lima Cunha<sup>1</sup>; João Paulo Lobo dos Santos<sup>1</sup>;  
Gabriel Francisco da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Sergipe

<sup>2</sup>Universidade Federal de Alagoas

### **1 Introdução**

A matriz energética de um país representa o conjunto de recursos disponibilizados por ele para prover a energia necessária ao seu desenvolvimento, sendo um instrumento de extrema importância para a análise de crescimento econômico nacional. Desse modo, fica clara a importância de um estudo aprofundado desses recursos, afim de assegurar a continuidade do fornecimento energético de uma nação, nascendo assim o plano nacional de energia de um país. A participação do gás natural na matriz brasileira vem ganhando um destaque cada vez maior, devido às inúmeras vantagens de sua utilização frente a de outros combustíveis. Com base nisso, o presente estudo faz uma análise detalhada da importância do gás natural na matriz energética prevista para o ano de 2050, visto que este possui um elevado potencial de desenvolvimento, podendo ser considerado uma excelente alternativa de recurso energético para o Brasil.

A energia pode ser proveniente de diversas fontes e é utilizada diariamente em várias atividades humanas. Essas fontes podem ser classificadas em renováveis e não-renováveis. Como exemplo de renováveis temos a solar, eólica, hídricas e de biomassa, já como não renováveis as principais serão os combustíveis fósseis e nucleares.

O mundo atual utiliza principalmente as fontes não renováveis no seu suprimento energético, em destaque os combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral. Estes combustíveis são os grandes responsáveis pela poluição do meio ambiente devido à elevada

taxa de emissão de gases do efeito estufa. Desse modo, as questões relacionadas à poluição ambiental ganharam destaque, sendo prioridade na comunidade mundial (VENTURA FILHO, 2009).

O crescimento econômico de um país é diretamente influenciado pela quantidade de energia disponível. E, como visto, as questões ambientais figuram papel importante nessa utilização energética. Assim, fica claro que não apenas a quantidade seria fator preponderante para o desenvolvimento econômico de um país, mas também a qualidade e a origem dessa energia disponível (TOLMASQUIM, 2007).

Desse modo, fica claro que a implantação de um planejamento energético consolidado é de fundamental importância para o crescimento de um país. É através desse planejamento que estudos são realizados afim de antecipar possíveis problemas, para que possam ser sugeridas soluções para tais empasses, visando obter um crescimento econômico associado a um aumento na preservação ambiental. Levando isso em consideração vem sendo previsto para os próximos 30 anos ampliação do crescimento energético brasileiro.

Segundo Tolmasquim (2012), o Brasil tem uma matriz energética admirável, sendo referência internacional nas mais diversas áreas de obtenção de energia, desde prospecção de petróleo em águas profundas até a grande renovabilidade de sua matriz energética. Em 2016, a participação de renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, figurando 43,5% do total ofertado internamente. Entretanto, a fonte energética mais presente continua sendo o petróleo, representando 36,5%, sendo seguido pela biomassa da cana (17,5%) e a hidráulica (12,6%). O GN ocupa o quarto lugar nessa cadeia, representando 12,3% do total de energia ofertada internamente em nossa matriz (BEN, 2017).

Um dos recursos que mais ganhou importância na matriz energética dos últimos vinte anos foi o gás natural. Isso tem ocorrido devido a alguns fatores positivos proporcionados por esse energético como, sua ampla possibilidade de aplicação como combustível, além de ser utilizado como matéria-prima em diferentes setores industriais.

Alguns outros fatores externos contribuíram para isso, como a instalação do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) no final da década de 1990, o aumento de reservas nacionais de GN e as novas descobertas da Bacia de Campos (EPE, 2016).

O Balanço Energético Nacional é um documento elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que é um órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME). Nesse documento são apresentadas a contabilização relativa a oferta e consumo de energia no Brasil. O BEN 2017 apresenta dados do ano anterior, ou seja, são dados relativos ao ano base 2016. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2017 (BEN, 2017), esse energético teve um aumento de aproximadamente 3% na participação da matriz no período de 2006 a 2016, passando a representar 12,3% do total da Oferta Interna de Energia (OIE) do país, enquanto que a participação do petróleo diminuiu de quase 1% no mesmo período.

Sendo assim, pode-se concluir que a indústria do gás natural está em plena fase de desenvolvimento, sofrendo fortes investimentos em diversas áreas de sua cadeia produtiva como na prospecção, processamento e, principalmente, na infraestrutura de sua rede de transporte e distribuição (FERREIRA, 2016).

Quanto às aplicações desse recurso, o mesmo pode ser empregado tanto no setor energético, como no não energético. No primeiro caso, sendo usado como combustível nas mais diversas áreas, como indústrias, comércio, transporte, residências e também na geração de energia elétrica. Já no setor não energético, pode ser usado como matéria prima em indústrias, ou até mesmo ser aplicado na própria unidade de produção do poço (SANTOS, 2002).

Segundo dados do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) é previsto um aumento de 3,6% ao ano na participação do GN na matriz brasileira até o ano de 2050, estimando-se um crescimento na sua demanda total de 62 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2013 para 218 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2050.

Diante desse contexto, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise do segmento de gás natural, enfatizando sua situação atual

na matriz energética brasileira e na prevista para o ano de 2050, baseado em dados estimado do Plano Nacional de Energia 2050.

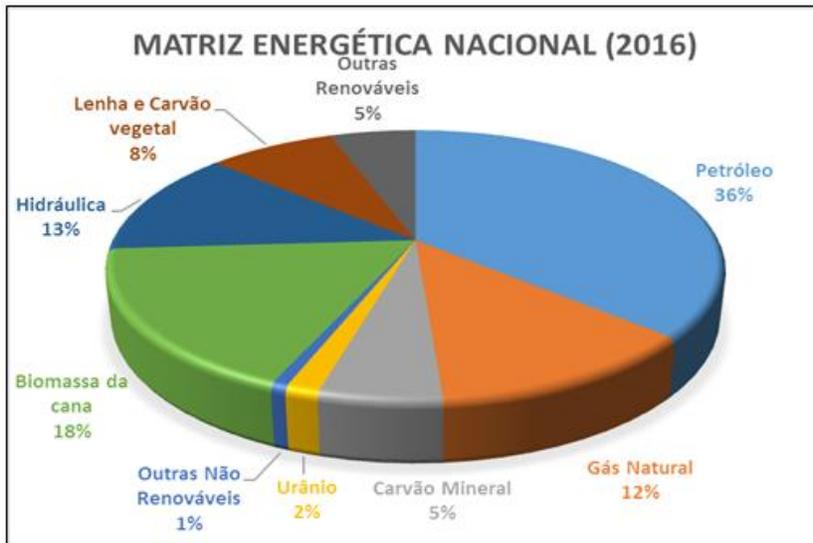
## **2 Matriz Energética Brasileira**

A matriz energética de um país representa o conjunto de recursos disponibilizado por ele para prover a energia necessária ao seu desenvolvimento. É um instrumento de extrema importância para a análise de crescimento econômico nacional, possibilitando o estabelecimento de políticas que promovam esse desenvolvimento.

A matriz energética brasileira se destaca mundialmente pela forte participação de fontes de energia renováveis, sendo considerada bem mais limpa que a matriz mundial. Segundo dados BEN (2016), a participação de energias renováveis representa 43,5% do total da oferta interna de energia, em contraste com a média de 13,5% da matriz mundial.

O Brasil tem desempenhado bem seu papel na área energética, sendo citado como referência internacional em diversos aspectos de sua matriz energética como: destaque na produção de petróleo em águas profundas, na produção de etanol, no seu parque de geração hidrelétrica, no exponencial aproveitamento da energia eólica, no seu extenso e integrado sistema de transmissão de energia elétrica e, principalmente, na renovabilidade de sua matriz energética (TOLMASQUIM, 2012). A Figura 14.1 retrata a composição da matriz energética brasileira por fonte.

**Figura 14.1 – Composição da Matriz Energética do Brasil por Fonte no Ano de 2016**

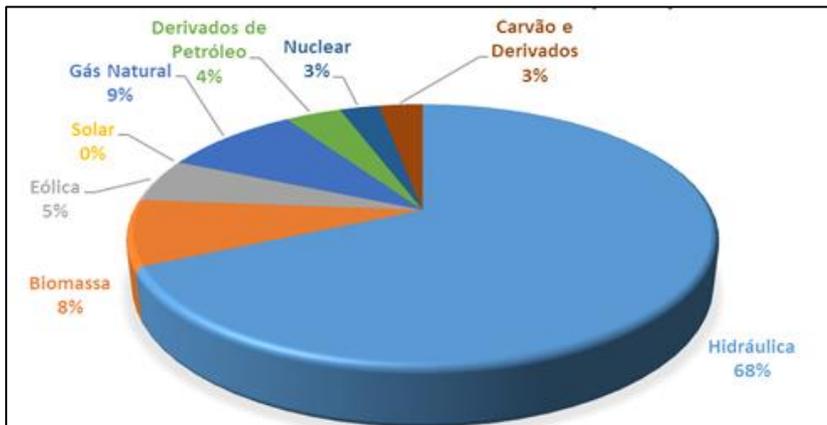


Fonte: BEN, 2017

Já em relação à produção de eletricidade, o Brasil é fortemente abastecido por usinas hidroelétricas, correspondendo a 68% do total de eletricidade gerada por todas as fontes, sendo que ainda há uma parcela significativa de potencial hídrico a ser aproveitado. A participação do GN nessa geração está em segundo lugar, contribuindo com 9% do total gerado, como pode ser percebido na Figura 14.2 (BEN, 2017).

A partir da análise dos gráficos acima, percebe-se o Brasil possui grande diversidade na sua matriz energética, lhe conferindo um certo equilíbrio, o que o torna um país menos vulnerável às crises energéticas externas. Pela Figura 14.1, observa-se que o GN se destaca como 4º energético mais ofertado no país, já na Figura 14.2 percebe-se que participação do GN foi a segunda maior utilizada para geração de energia elétrica. A quantidade de energia ofertada em um país é toda energia disponibilizada em sua matriz, sendo englobada pela quantidade produzida internamente e a importada.

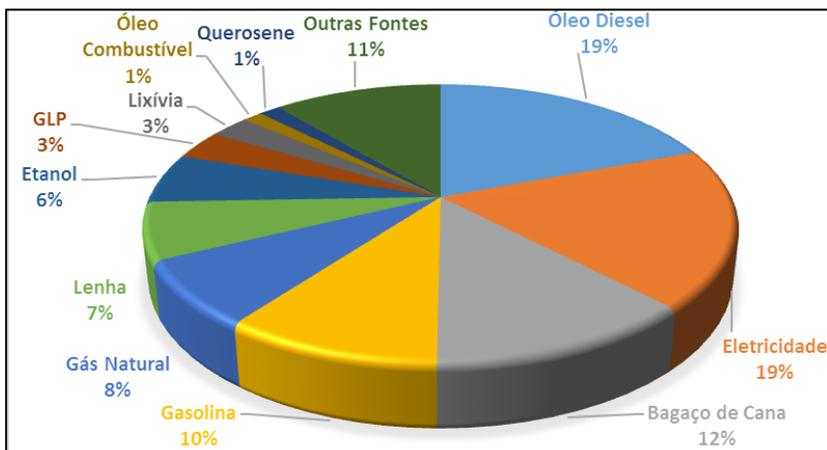
**Figura 14.2 – Geração de Energia Elétrica por Fonte no Ano de 2016**



Fonte: BEN, 2017

Um outro ponto que pode ser destacado do BEN (2017), é quanto ao consumo final energético por fonte, como mostrado na Figura 14.3.

**Figura 14.3 – Consumo Final Energético por Fonte no Ano de 2016**



Fonte: BEN, 2017

Pela Figura 14.3, percebe-se que o GN é o 4º combustível mais consumido internamente no setor energético do país, ficando atrás do óleo diesel, da eletricidade e do bagaço de cana.

### **3 Plano Nacional de Energia (PNE) para 2050**

A partir da década de 70, com a crise mundial do petróleo (1973), discussões sobre o cenário energético mundial passaram a ganhar bastante atenção. Isso, devido aos grandes impactos negativos proporcionados por esses colapsos econômicos. Somado a isso, crescentes preocupações com a questão ambiental, devido a degradações ao meio ambiente ocasionadas pelo uso irrestrito de fontes energéticas poluentes, também influenciaram nessa maior preocupação com a questão energética mundial (ALEIXO, 2015).

Desse modo, a importância de um planejamento energético foi sendo percebida com o passar dos anos, devido, principalmente, à necessidade de assegurar a não interrupção do abastecimento de energia, com redução de custos e riscos, e garantindo menores impactos socioeconômicos e ambientais (NETO, 2013).

Em síntese, o objetivo principal de um planejamento energético é realizar projeções futuras que permitam o fornecimento de informações necessárias que auxiliem a antecipação de tomada de decisões por parte dos gestores públicos visando, assim, evitar novos colapsos energéticos e, conseqüentemente, econômicos.

O PNE 2050 é o segundo estudo de longo prazo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a qual é vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME). O primeiro estudo, PNE 2030, foi lançado em 2007, exercendo uma importante contribuição na retomada de estudos de planejamento energético, sendo considerado referência por parte de diversos públicos interessados no setor energético.

Perante toda essa importância, o PNE 2050 nasce em resposta aos novos acontecimentos que sucederam desde 2006 e que vêm causando impacto no setor energético, como, por exemplo, a crescente dificuldade de aproveitamento hidroelétrico na matriz nacional, o forte ganho de competitividade obtido pela energia eólica no Brasil, o surgimento da oferta de petróleo e gás natural do pré-sal, o evento de Fukushima e seu impacto no setor nuclear, a transformação da indústria de gás natural devido à oferta de gás não convencional nos EUA, o

prolongamento da crise econômica mundial de 2008, a crescente preocupação com as mudanças climáticas, entre outros.

O mundo de 2050 provavelmente apresentará uma realidade bastante distinta da que vivemos atualmente. Essa expectativa de mudança pode ocorrer nos mais diversos campos da vida humana, seja ele social, econômico, energético, ambiental, entre outros. Desse modo, fica claro que projetar o futuro é uma tarefa desafiadora para o planejador energético, devido à presença de grandes incertezas das mais diversas naturezas.

### **3.1 Cenário Econômico de 2050**

O estudo do cenário econômico futuro de uma nação envolve diversos aspectos, como crescimento demográfico, mudanças comportamentais da sociedade, mudanças climáticas, entre outros. O PNE 2050 acredita que a população mundial terá uma taxa média de crescimento de 0,8% ao ano, passando a ter 9,3 bilhões em 2050. Já no cenário nacional, estima-se que a população brasileira atinja aproximadamente 228 milhões na década de 2040, quando o crescimento populacional atingirá o pico e começará a decrescer.

Segundo a mesma fonte, na contramão desse crescimento populacional, o número de pessoas por domicílio declinará vista a políticas de redução de déficit habitacional, passando de 3,3 em 2010 para 2,3 em 2050. Isso é devido uma taxa de crescimento de número de residências superior à de crescimento demográfico.

Ainda nesse documento, acredita-se que a economia brasileira deverá crescer a uma taxa entre 3,6% e 4,0% ao ano, sendo superior à média mundial. Isso, se considerando que serão realizados investimentos e reformas em diversos setores (educação, logística, tecnologia, etc), para que permita a competitividade da economia brasileira no mercado global.

Caso concretizado esses investimentos, o Brasil passará a ocupar patamar de economia desenvolvida, significando um considerável aumento no poder de compra do brasileiro, impactando diretamente no seu perfil de consumidor energético.

### 3.2 Demanda de Energia de 2050

Esse largo espaço de tempo traz especial desafio na projeção de demanda de energia, devido à grande diversidade de cenários possíveis. Essas inseguranças se justificam devido às incertezas associadas à competitividade de recursos energéticos, às possíveis direções tecnológicas, ao desenvolvimento de infraestrutura e a maneira que os consumidores de energia se comportarão devido a esses possíveis contextos, entre outras.

Com esse longo horizonte de tempo, podem acontecer grandes transformações de mercado, devido a diversos fatores como, por exemplo, a aplicação de novas tecnologias que viabilize essas mudanças.

Nesse contexto, as análises de demanda de energia em longo prazo identificaram determinados aspectos-chave para se fazer essa estimativa. Estes aspectos abrangem a avaliação de algumas incertezas, como:

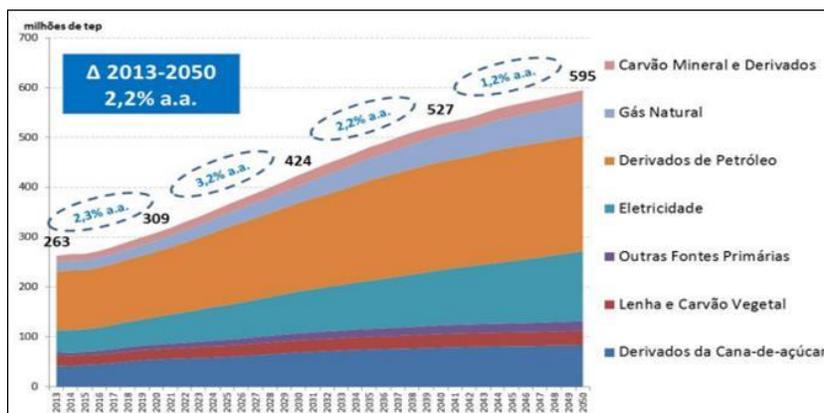
- O impacto do papel do consumidor final como agente do mercado de energia
- A evolução do padrão futuro de mobilidade nas cidades brasileiras
- A transformação modal do transporte brasileiro de cargas
- A inserção de novas tecnologias em setores como a indústria, transporte e residências;
- A dinâmica de incorporação de novos consumidores brasileiros neste horizonte
- A evolução do perfil das edificações brasileiras;
- A competitividade relativa dos energéticos.

Através do presente estudo, estimou-se que a demanda brasileira total de energia para 2050 cresça pouco mais de duas vezes quando comparada com o ano de 2013 (ano base de estudo), destacando-se o progresso do gás natural, da eletricidade e dos derivados de petróleo e de cana-de-açúcar, conforme pode ser visto na Figura 14.4 que mostra a evolução da demanda total de energia por

fonte até 2050, e na Figura 14.5 que retrata a evolução da participação das fontes na demanda total de energia até 2050.

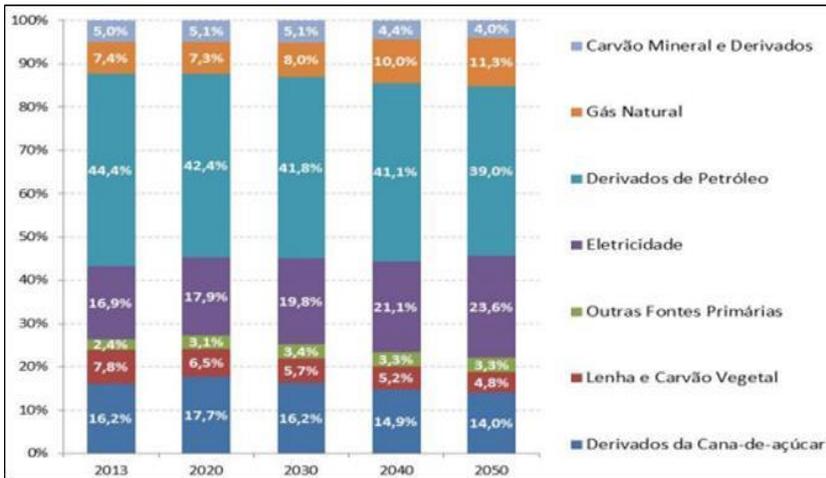
Pode-se inferir da Figura 14.4 e da Figura 14.5, que há uma estimativa de crescimento na participação do GN na matriz energética nacional, implicando numa regressão dos derivados de petróleo em indústrias e residências. Essa queda da participação de derivados de petróleo também encontra respaldo na penetração de biocombustíveis no setor de transporte, principalmente, o etanol em veículos de transporte individual. Uma outra fonte que se espera uma substancial mudança nesse período de tempo é a lenha, apresentando uma considerável queda principalmente por dois motivos: menor taxa de expansão siderúrgica a carvão vegetal e menor participação no setor residencial devido à crescente penetração do GLP e gás natural. Já para as demais fontes, não se espera grandes variações a longo prazo, podendo, assim, serem consideradas fontes energéticas marginais.

**Figura 14.4 – Evolução da Demanda Total de Energia por Fonte até 2050**



Fonte: PNE 2050, 2ª versão (2016)

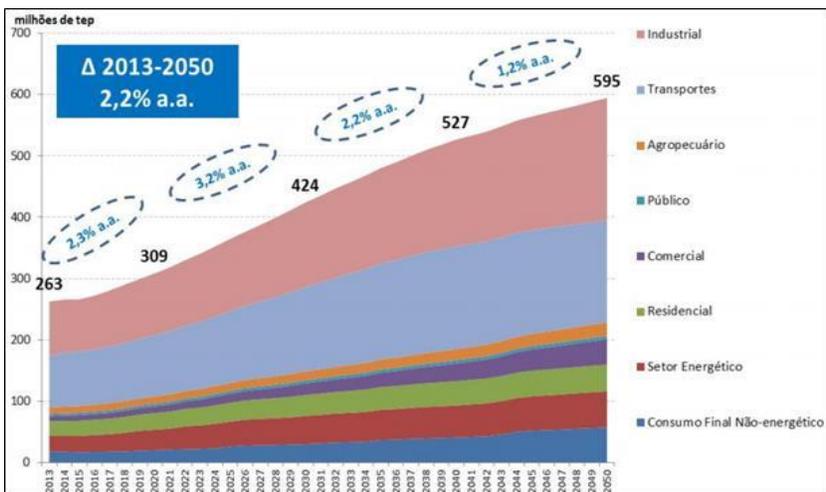
**Figura 14.5 – Evolução da Participação das Fontes na Demanda Total de Energia até 2050**



Fonte: PNE 2050, 2ª versão (2016)

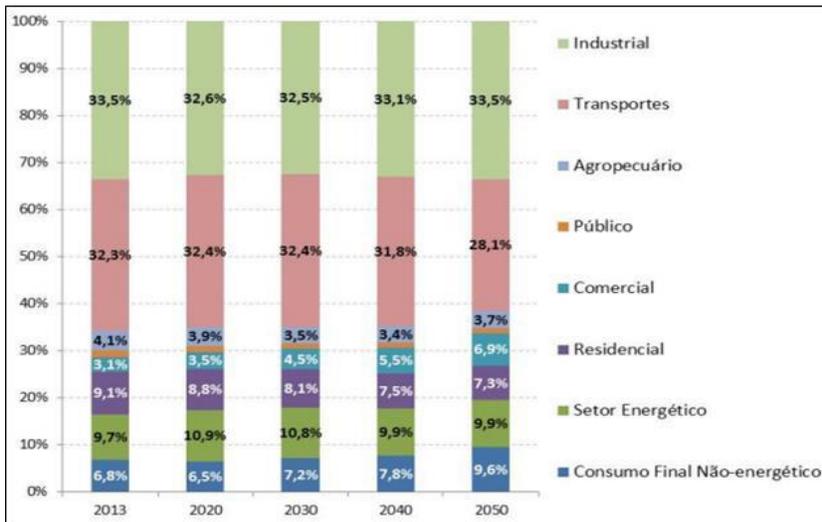
Quanto à variação do uso de energia por setor, estima-se um destaque no aumento do setor comercial, como também no setor não energético como pode ser visto na Figura 14.6 e na Figura 14.7.

**Figura 14.6 – Evolução da Demanda Total de Energia por Setor até 2050.**



Fonte: PNE 2050, 2ª versão (2016)

**Figura 14.7 – Evolução da Participação Setorial no Consumo Total de Energia até 2050.**

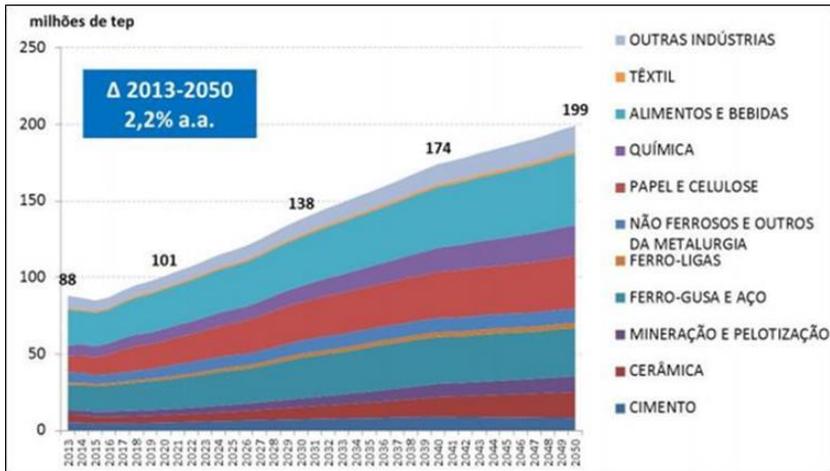


Fonte: PNE 2050, 2ª Versão (2016)

Analisando a Figura 14.6 e a Figura 14.7, percebe-se que há uma estimativa de crescimento na participação do setor comercial e do uso não energético. No primeiro caso, sendo por reflexo do também aumento da participação desse setor na economia em longo prazo. Já no último caso, devido à expansão da utilização do GN como matéria prima na produção de fertilizantes e produção de petroquímicos básicos. Em contrapartida, os setores de transporte e residencial apresenta queda em sua participação no consumo total de energia, sendo o primeiro caso motivado pela alteração da estrutura modal de transporte de cargas e pela participação de veículos híbridos ou elétricos. Já no caso do setor residencial, essa redução é propiciada pela substituição da lenha por GN na iluminação doméstica, e pelo crescente uso da energia solar para aquecimento térmico.

Quanto ao consumo final de energia no setor industrial, a Figura 14.8 demonstra a estimativa dessa evolução, por segmento.

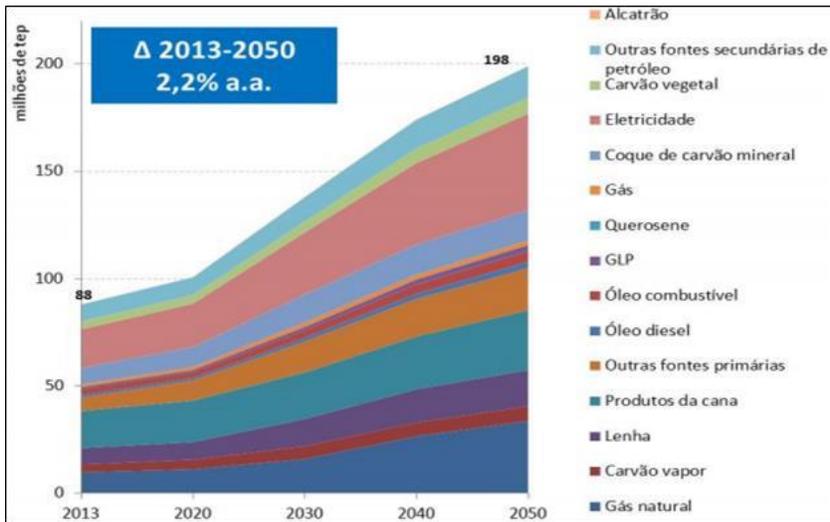
**Figura 14.8 – Consumo Final de Energia no Setor Industrial, por Segmento.**



Fonte: PNE 2050, 2ª Versão (2016)

Pode-se concluir da Figura 14.8 que, no setor industrial, a projeção dessa demanda é de crescimento a uma taxa média de 2,2% a.a., estimando um consumo final de energia de 198 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2050. Isso se deve, principalmente, pela influência que a expansão da indústria de construção civil irá exercer no crescimento da atividade industrial como um todo, impactando nos segmentos relacionados, como cimento, cerâmica, vidro, aço, entre outros. Pode também destacar que o ritmo da expansão do setor industrial não é contínuo ao longo de todo o tempo, apresentando maiores taxas no início e desacelerando nos últimos anos do estudo (porém, ainda evoluindo a taxas positivas), devido a expectativa dessa infraestrutura já ter atingido sua maturidade.

Ainda no setor industrial como um todo, pode-se analisar a participação de cada fonte em seu consumo final, como apresentado na Figura 14.9.

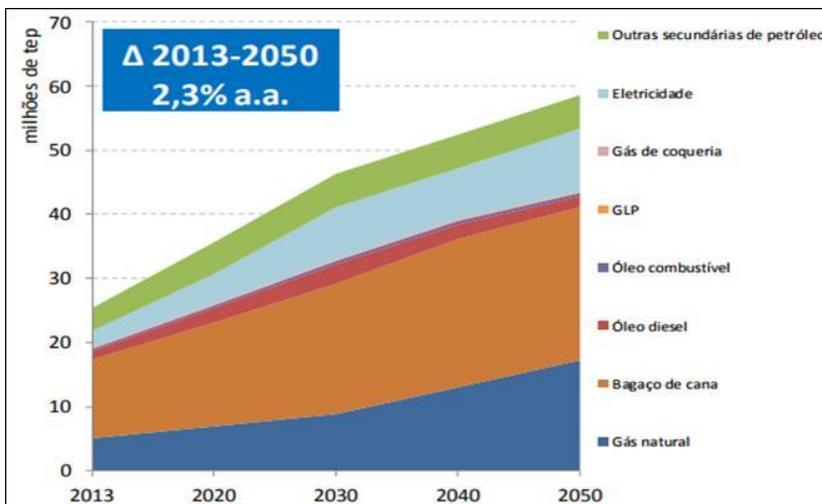
**Figura 14.9 – Consumo Final de Energia no Setor Industrial, por Fonte**

Inferindo-se da Figura 14.9 que, na indústria, destaca-se o incremento de participação relativa do gás natural, devido ao esperado avanço da competitividade desse energético, em decorrência da produção tanto proveniente das reservas do Pré-sal, quanto das de gás não convencional. Desse modo, projeta-se que o consumo final energético desta fonte na indústria cresça de cerca de 30 milhões de m<sup>3</sup> por dia em 2013 para 105 milhões de m<sup>3</sup> por dia em 2050, com crescimento médio de 3,4% a.a., bem acima da média de crescimento do valor adicionado e do consumo de energia total da indústria neste período. Conseqüentemente, sua participação no consumo final energético industrial cresce de 11,1% para 16,9% no período.

A eletricidade também aumentará sua participação no setor industrial, passando a contribuir aproximadamente com 22,6% na composição da matriz energética industrial de 2050. Em contrapartida, estima-se uma gradativa redução na participação da lenha, carvão vegetal e principalmente dos produtos da cana-de-açúcar. Este representando a maior redução esperada para uso energético, com uma queda de 5% na participação entre 2013 e 2050.

Já no setor energético, a principal mudança estimada em longo prazo é na esfera de exploração e produção de petróleo e gás natural. Isso se deve às descobertas do pré-sal, que é uma das maiores províncias de óleo e gás descobertas do mundo nos últimos anos. Acredita-se que a produção brasileira de óleo atinja uma média 4 milhões de barris/dia em 2050. A Figura 14.10 demonstra a estimativa do consumo final de energia no setor energético por fonte, sugerindo que o GN aumentará sua participação energética na matriz até 2050

**Figura 14.10 – Consumo Final de Energia no Setor Energético, por Fonte**



Estudos de eficiência energética começaram a ganhar notoriedade desde a crise do petróleo na década de 1970, quando os custos associados a esse energético passaram por grande crescimento, forçando o mercado nacional a encontrar meios de contornar esse problema. Logo se reconheceu que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. Um outro fator que motivou buscas pela eficiência energética foi a preocupação com a questão ambiental, com grande enfoque no aquecimento global do planeta.

Num largo espaço de tempo, estima-se que a eficiência energética tenha a capacidade de colaborar com aproximadamente 18% da demanda de energia total e 17% da demanda de eletricidade. De acordo com essas estimativas, as ações de eficiência energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 118,6 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2050.

Um outro ponto que pode ser destacado nesse estudo é quanto a produção energética nacional, desconsiderando a parcela energética importada. E finalizando a análise da matriz energética atual do Brasil e o seu comportamento para o horizonte de 2050, observa-se que entre os diversos energéticos, setores de consumo e demandas, o GN é um dos energéticos que mais apresenta uma projeção de crescimento favorável em relação a diversas outras fontes como lenha, carvão mineral e derivados da cana. Na sessão a seguir será detalhado como é previsto a participação do GN na matriz de 2050 e de que forma isso é relevante para o planejamento energético brasileiro.

## **4 GN no planejamento energético brasileiro**

### **4.1 Importância do GN na Matriz Energética**

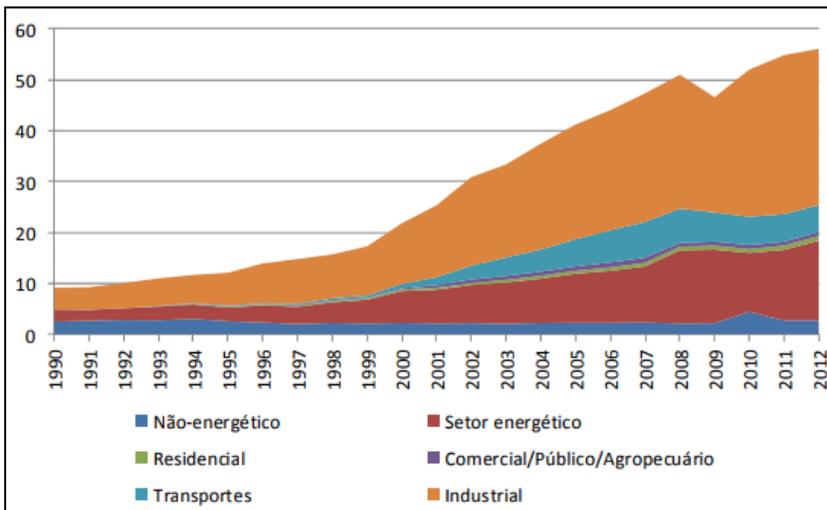
O gás natural não teve grande aceitação na matriz energética nacional até o ano de 1990. Não se acreditava que o Brasil possuía reservas significantes desse insumo. E, um outro fator que freava essa participação do GN era a abundante oferta de outros energéticos a baixo custo, como usinas hidrelétricas (BRONZATTI e NETO, 2008).

A importância do gás natural na matriz energética brasileira obteve um crescimento considerável ao longo dos últimos 20 anos, fato este que pode ser atribuído com a crescente evolução de sua disponibilidade para consumo. O grande responsável por esse crescimento foi o gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), que teve sua instalação no final da década de 1990, ampliando a rede de gasodutos existente até então em cerca de 50%. Um outro fato que também contribuiu para o crescimento da disponibilidade desse energético foram as novas descobertas na Bacia de Campos, elevando o patamar de oferta interna de GN. Nesse contexto, o consumo de gás natural se

expandiu na matriz energética nacional, atuando principalmente nos setores industrial e energético, sendo a maior parte em refinarias (EPE, 2016).

Pode-se perceber através da Figura 14.11 a seguir a evolução histórica do gás natural no Brasil. Mesmo com significativa queda apresentada na década de 2000, devido à crise econômica mundial sentida aqui no Brasil, o consumo final desse insumo obteve um crescimento médio de 8,5% ao ano desde 1990, figurando 56 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2012 (EPE, 2016).

**Figura 14.11 – Evolução Histórica do Consumo Final de Gás Natural**



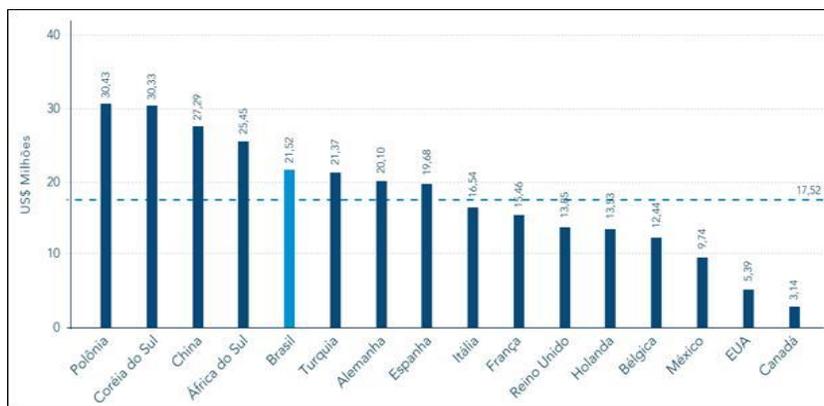
Fonte: EPE (2013)

Analisando a Figura 14.11, percebe-se que o início da utilização do GN na matriz energética nacional se deu de forma modesta, sendo esse insumo considerado um subsidiário da produção do petróleo.

Com relação ao preço do GN em determinados setores, principalmente nas indústrias, o presente estudo considera que esse energético seja ofertado a preços competitivos no mercado nacional. Para esse cenário, o estudo contempla a produção advinda do pré-sal e as reservas brasileiras de gás não convencional. No entanto, para que o gás ofertado à indústria nacional se torne competitivo com os preços

praticados no mercado internacional, o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer (HOLLANDA, 2015). Isso pode ser percebido pela análise de um estudo realizado pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN) em 2015, no qual são comparados os custos do GN para o setor industrial em 16 países diferentes, como mostra a Figura 14.12 (GASNET,2015).

**Figura 14.12 – Custo do Gás Natural para a Indústria em 2015**

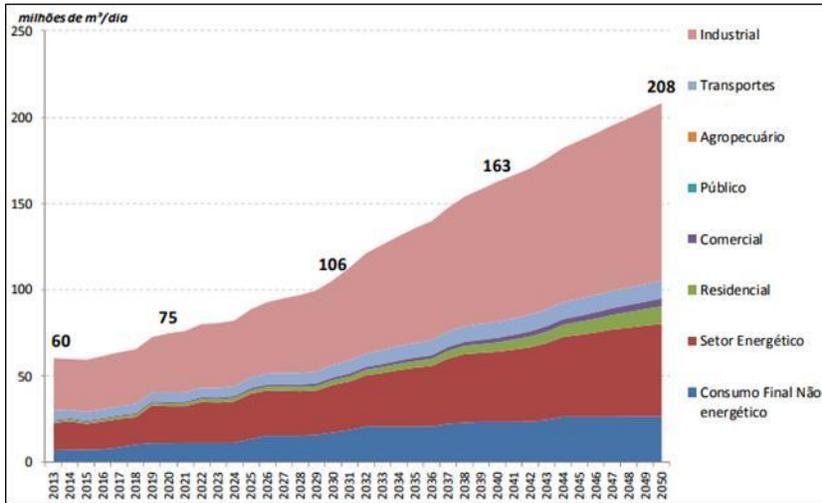


Fonte: Elaborado a partir de dados da FIRJAN de 2015

Pode-se inferir da Figura 14.12 que o custo do gás natural para a indústria brasileira é 22,8% superior à média destes outros países. Além disso, os dados de 2015 mostram que este custo é 299,6% superior ao custo do gás para a indústria norte-americana, em que o preço tem sofrido fortes declínios associados ao incremento do gás não convencional.

## 4.2 Importância do GN no PNE 2050

Para esse amplo horizonte de tempo, considera-se aumento da oferta de gás natural com a produção do Pré-sal e de gás não convencional, ampliando a disponibilização desta fonte ao mercado. Desse modo, estima-se um aumento de 3,6% ao ano no consumo final gás natural no Brasil, como pode ser visto na Figura 14.13.

**Figura 14.13 – Projeção do Consumo Final de Gás Natural até 2050**

Fonte: PNE 2050, 2ª versão (2016)

Estima-se também que sua demanda total, incluindo para uso energético e como matéria prima, cresça de 62 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2013 para 218 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2050. Somado a isso, projeta-se que a demanda termelétrica alcance o patamar de cerca de 70 milhões de m<sup>3</sup>/dia em condição média e 170 milhões de m<sup>3</sup>/dia em condição crítica. Desse modo, o consumo energético em instalações de transporte, por exemplo, devido às estações de compressão de gás natural, deve impactar correspondentemente a demanda por gás natural para acionamento desses equipamentos, impulsionando mais ainda sua expansão.

Na Tabela 14.1 e Figura 14.14 serão apresentadas as evoluções de consumo do GN processado por setor, representando as projeções de crescimento a cada década.

Analisando os dados a Figura 14.14, percebe-se um forte crescimento de consumo não energético desse insumo (uso como matéria prima). Este fato está diretamente relacionado com as projeções de minimização da dependência externa de fertilizantes nitrogenados. Um outro motivo que contribui para esse crescimento é o aumento do consumo em refinarias para a produção de hidrogênio. Desse modo, é

estimado que o gás natural para uso não energético evolua de 6,9 Mm<sup>3</sup>/dia em 2013 para 26,5 Mm<sup>3</sup>/dia em 2050, principalmente devido ao consumo não energético utilizado produção de resinas e fertilizantes, como pode ser visto na Figura 14.15.

Também pode ser destacado da Tabela 14.1 o crescimento da utilização do GN no setor residencial, que apesar da pouca representatividade atual, esse tipo de consumo irá se expandir cerca de 10 vezes até 2050, estando essa estimativa diretamente ligada à projeção de aumento nos investimentos em expansão da malha de distribuição.

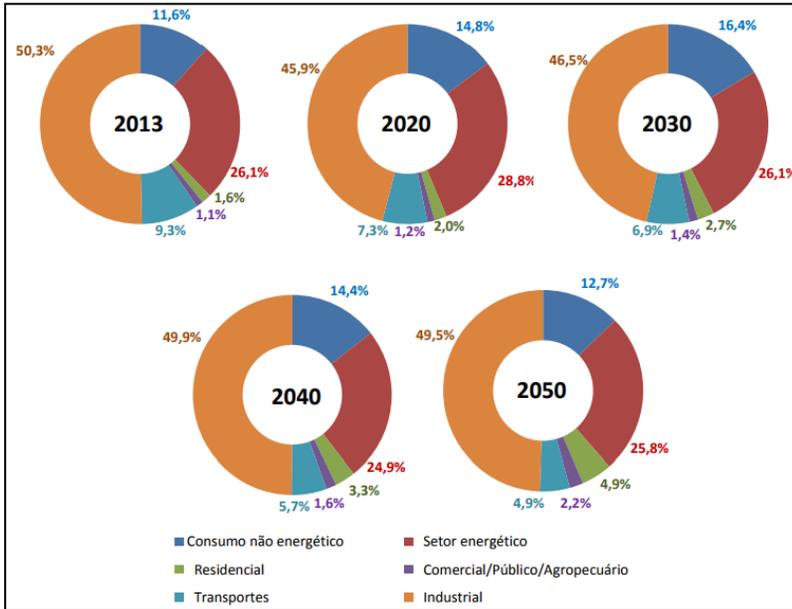
Nesse mesmo sentido, o setor industrial, que já é responsável pela maior parte do consumo de gás natural, acelera a expansão devido ao aumento da disponibilidade do gás natural.

**Tabela 14.1 – Evolução do Consumo Final de Gás Natural Processado**

	2013	2020	2030	2040	2050	Crescimento médio anual
<b>Consumo final</b>	<b>51,3</b>	<b>69,5</b>	<b>100,5</b>	<b>147,9</b>	<b>180,2</b>	<b>3,5%</b>
<b>Consumo não energético</b>	6,9	10,8	17,3	23,5	26,5	3,7%
<b>Consumo energético</b>	44,4	58,7	83,2	124,4	153,8	3,4%
<b>Setor energético</b>	8,2	16,6	22,5	25,9	25,9	3,2%
<b>Residencial</b>	1,0	1,5	2,8	5,4	10,3	6,5%
<b>Comercial/Público/Agropecuário</b>	0,7	0,9	1,5	2,7	4,6	5,0%
<b>Transportes</b>	5,1	5,4	7,3	9,3	10,1	1,9%
<b>Industrial</b>	29,3	34,2	49,1	81,1	102,9	3,5%

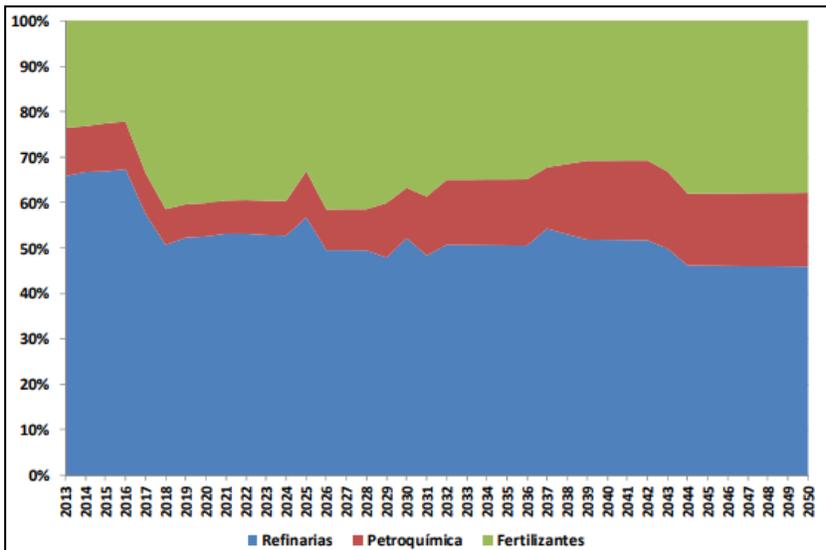
Fonte: EPE (2015)

**Figura 14.14 – Estrutura do Consumo Final do Gás Natural por setor**



Fonte: EPE (2015)

**Figura 14.15 - Evolução da participação dos setores no consumo de gás natural não energético**



Fonte: PNE 2050, 2ª Versão (2016)

## 5 Considerações finais

Com o presente trabalho foi possível identificar a íntima relação que existe entre energia e desenvolvimento econômico. Assim, fica evidente que a disponibilidade de recursos energéticos é uma das condições essenciais ao desenvolvimento econômico de uma nação. Entretanto, essa disponibilidade não é o único fator a ser analisado, visto a necessidade de utilização desses recursos de forma equilibrada e em harmonia com o meio ambiente.

Através de análises da matriz energética brasileira passada e atual, foi possível perceber que o país está cada vez mais diversificando suas fontes energéticas, buscando, assim, uma maior segurança e eficiência energética.

No Brasil, o parque de geração de eletricidade ainda é fundamentado na hidroeletricidade, porém medidas estão sendo tomadas a fim de reduzir essa dependência. Fato este, que pode ser confirmado em virtude dos crescentes incentivos a essa diversificação, como por exemplo, a utilização do gás natural em usinas termelétricas.

O GN é composto principalmente por metano, possuindo também outros hidrocarbonetos de maior cadeia carbônica em sua composição como etano, propano, butano e até pentano. Além disso, ainda pode conter traços de impurezas que lhe confirmam uma maior necessidade de tratamento desse energético para sua utilização comercial. Nesse contexto, percebe-se que o GN bruto, assim que extraído do reservatório, necessita passar por etapas de condicionamento e processamento que lhe possibilitem um melhor aproveitamento, atendendo às especificações nacionais de comercialização desse insumo estabelecidas pela ANP.

Como pôde ser analisado, diversas são as vantagens da utilização do gás natural como energético na matriz nacional, desde questões ambientais até relativa segurança e eficiência de sua indústria quando comparado a outras fontes fósseis, devido a suas características intrínsecas.

Uma outra vantagem que pode ser destacada na indústria gasífera é a grande versatilidade de sua utilização, possuindo assim uma ampla gama de possibilidades de uso do gás natural. Esse insumo pode ter seu uso voltado a finalidades energéticas como não energéticas, desse modo, pode ser utilizado como matéria prima nos mais diversos setores industriais, inclusive petrolíferos, além de ser amplamente utilizado como combustível nos mais variados setores da economia, como indústrias, comércios, transportes e, com destaque, na geração de energia elétrica.

Nesse contexto, percebe-se que todos os dados apresentados neste trabalho mostram que a participação de gás natural na matriz energética brasileira obteve um substancial crescimento nos últimos anos. Juntamente a isso, através de análises do PNE 2050, estima-se uma continuidade nesse crescimento.

Desse modo, o gás natural pode ser considerado como um agente fomentador do desenvolvimento econômico do país, representando uma excelente alternativa de recurso energético para o Brasil.

## Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2016 / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP, 2008-. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario\\_Estatistico\\_ANP\\_2016.pdf](http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf)> Acesso em: 29 set. 2017.
- ANP – Resolução nº 16, 17/6/2008 – DOU 16/6/2008. Haroldo Borges Rodrigues Lima, Diretor Geral, 2008.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/naturalgas/>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA 2015. Disponível em: <[https://www.iea.org/bookshop/755-Electricity\\_Information\\_2017](https://www.iea.org/bookshop/755-Electricity_Information_2017)>. Acesso em: 21 set. 2017.
- ALEIXO, Márcio Vinicius. PROJEÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DA CIDADE DE LONDRINA, 2015.
- ANEEL. 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par3\\_cap6.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap6.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2017.
- ANP. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/gasodutos-de-transporte>>. Acesso em: 18 set. 2017.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf>>. Acesso em: 10 out , 2017.

- BEN. Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2017.
- BOLETIM MENSAL DE ACOMPANHAMENTO DA INDÚSTRIA DE GÁS NATURAL. EDIÇÃO Nº 122 Destaques de abril de 2017. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Departamento de Gás Natural. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138769/12566999/Boletim\\_Gas\\_Natural\\_nr\\_122\\_ABR\\_17.pdf/f11f47a7-8f91-4078-a651-051b2f259184](http://www.mme.gov.br/documents/1138769/12566999/Boletim_Gas_Natural_nr_122_ABR_17.pdf/f11f47a7-8f91-4078-a651-051b2f259184)>. Acesso em: 21 set 2017.
- BRONZATTI, Fabricio Luiz; IAROZINSKI NETO, Alfredo. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 28, 2008.
- COPERGAS. Produtos residenciais. 2015. Disponível em: < <https://www.copergas.com.br/produtos/residencial/>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- SANTOS, Edmilson Moutinho. Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil. Annablume, 2002.
- DONATO, V. Logística para a Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. 2012.
- SANTOS, Edmilson Moutinho. Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil. Annablume, 2002.
- EPE, Cenário Econômico 2050. Estudos de Demanda de Energia Empresa de Pesquisa Energética-Ministério de Minas e Energia, 2016.
- EPE, Demanda de Energia. 2050. Estudos de Demanda de Energia Empresa de Pesquisa Energética-Ministério de Minas e Energia, 2016.
- FERREIRA, Lucas Viana. Implementação da estocagem subterrânea de gás natural em campos depletados no Brasil: contexto atual, desafios e oportunidades. 2016.
- GASNET. Gás natural: vantagens. 2015. Disponível em: < <http://www.gasnet.com.br/gasnatural/vantagens.asp>>. Acesso em: 19 set. 2017.
- GASNET. Classificação elaborada pela Firjan mostra que preço cresceu 21,7% nos últimos quatro anos. 2015. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/conteudo/17265/Custo-do-gas-para-industria-no-Brasil-e-o-oitavo-mais-carro-em-ranking>. Acesso em 20 de outubro de 2017.
- GAUTO, Marcelo Antunes. Petróleo SA: exploração, produção, refino e derivados. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011.
- GEPEA, 2004. Disponível em: <[http://seeds.usp.br/pir/arquivos/RT2004\\_GasodutoVirtual.pdf](http://seeds.usp.br/pir/arquivos/RT2004_GasodutoVirtual.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2017.
- ICEGAS. Disponível em: <[http://www.icegas.com.br/loja/index.php?route=information/information&information\\_id=14](http://www.icegas.com.br/loja/index.php?route=information/information&information_id=14)> Acesso em: 12 ago. 2017.
- MANOEL, Cácio Oliveira. Aspectos Regulatórios e Modelos Contratuais Aplicáveis ao Mercado de Distribuição de Gás Natural a Granel (Gás Natural Comprimido-GNC e Gás Natural Liquefeito-GNL) no Brasil. 2006.
- MARQUES, Fernando Mario Rodrigues. Redução de assimetria de informação na revisão tarifária da distribuição de gás canalizado no Brasil: proposta de uma metodologia baseada na análise da geração de valor. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MARTINS, Júlio Pereira. Panorama do Gás Natural e sua Logística. 2016. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- MOKHATAB, Saeid; POE, William A. Processamento e transmissão de gás natural. Elsevier Brasil, 2014.
- NATGAS. Disponível em: <<http://www.naturalgas.org/overview/uses-electrical/>>. Acesso em: 29 set. 2017
- NETO, José Luiz Dellinghausen. Segurança energética a partir do pré-sal brasileiro: uma análise via setores militar, político, societal, ambiental e econômico. Revista InterAção, v. 5, n. 5, 2013.
- ORTEGOSA, Cássima Zatorre. Metodologia para estudos da viabilidade econômico-financeira no uso do gás natural em instalações prediais residenciais: uma abordagem via dinâmica de sistemas. 2006. Dissertação de Mestrado.
- SERGAS, 2015. Disponível em: <<http://www.sergipegas.com.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2017

- SILVA, João Alberto Rocha da *et al.* Análise da inserção do gás natural em indústrias têxteis: um enfoque ergonômico das transferências de tecnologia. 2003.
- TOLMASQUIM, Mauricio. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão e Nuclear. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos-CEBRAP*, n. 79, p. 47-69, 2007.
- TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos avançados*, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.
- ULTRAGAZ. Portal de notícias. 2015. Disponível em: <[https://www.ultragaz.com.br/UltragazPortal/faces/oracle/webcenter/portalapp/pages/paravoce/ultranoticiasitem.jspx?\\_afzLoop=15911005415607985&name=UG\\_040732&\\_afzWindowMode=0&\\_adf.ctrl-state=4po71o7rw\\_4](https://www.ultragaz.com.br/UltragazPortal/faces/oracle/webcenter/portalapp/pages/paravoce/ultranoticiasitem.jspx?_afzLoop=15911005415607985&name=UG_040732&_afzWindowMode=0&_adf.ctrl-state=4po71o7rw_4)>. Acesso em: 17 set. 2017.
- VAZ, Célio Eduardo Martins; MARTINS, Célio Eduardo; DOS MAIA, Santos Walmir Gomes. Tecnologia da indústria de gás natural. Vol. 2. Edgard Blucher, 2015.
- VENTURA FILHO, Altino. O Brasil no contexto energético mundial. São Paulo: NAIPPE, USP, 2009.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## CAPÍTULO 15

# ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DE FORNOS PARA CASAS DE FARINHA

---

André Luis Dantas Ramos; Carina Siqueira de Souza;  
José Jailton Marques

*Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Sergipe*

### **1 Introdução**

Com base nos dados da organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO - a produção mundial de mandioca continua com um ritmo de crescimento expressivo, passando de 99,1 milhões de toneladas em 1970 para 233,8 milhões de toneladas em 2009 (GROXKO, 2011) O Brasil tem uma participação importante nesta cultura (segundo lugar na produção mundial), sendo o segundo maior produtor, atrás da Nigéria. A farinha e a fécula (tapioca) são os principais produtos obtidos do processamento da mandioca, sendo que a fécula possui diversos usos além da alimentação, tais como na indústria têxtil e de papel.

No Brasil, a mandioca ocupa o quarto lugar na produção agrícola, atrás da cana-de-açúcar, da soja e do milho. Na região Nordeste, a cultura ocupa o segundo lugar com cerca de 9 milhões de t/ano, referentes ao período de 2010-2011 (GROXKO, 2011). Dessa forma, o Nordeste contribui com 33 % da produção nacional.

A maior parte da mandioca destina-se à produção de farinha em pequenas fábricas denominadas de casas de farinha, sendo que a maioria delas operam em condições essencialmente artesanais, algumas até de forma rudimentar. De acordo com Muchnik and Vinck (1984) apud FAO (2004), o número de casas de farinha baseadas na produção familiar é da ordem de 98%.

Embora a cadeia produtiva de mandioca seja bastante relevante em Sergipe, sendo plantada em 100% dos municípios sergipanos, o seu processamento ainda é bastante rudimentar, com baixa produtividade, sem controle da qualidade dos produtos obtidos e com grande impacto

ambiental. Existe algo da ordem de 1000 casas de farinha espalhadas por todos os municípios, processando quase 500.000 t/h de mandioca, cultivadas numa área aproximada de 32.000 ha.

Esses dados mostram que a mandioca funciona como indicador do avanço da destruição dos recursos florestais, já bastante escassos na região Nordeste do Brasil e alertam para a necessidade urgente de se desenvolver políticas públicas que contemplem soluções ambientalmente sustentáveis para a cadeia produtiva da mandioca, contribuindo também para o crescimento da agricultura familiar e para a fixação do homem no campo.

O presente capítulo tem o objetivo primordial de oferecer meios para a redução do consumo de madeira como combustível nos fornos das casas de farinha através de uma adaptação de caráter construtivo-operacional, reduzindo o consumo de biomassa como fonte de energia, permitindo a utilização de outros combustíveis, garantindo boa eficiência de queima e maior aproveitamento térmico em relação aos fornos convencionais.

O desenvolvimento do projeto intitulado “Adequação Tecnológica das Casas de Farinha do Estado de Sergipe”, por pesquisadores do Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), subsidiou a publicação deste trabalho. As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Processamento de Mandioca (LPM) do Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), vinculado à Universidade Tiradentes (UNIT), tendo como suporte os Laboratórios de Estudos Ambientais (LEA) e de Pesquisa em Alimentos (LPA) para análises ambientais e de alimentos, respectivamente.

Foram realizados experimentos durante oito meses, visando avaliar o efeito da sazonalidade, além da coleta de amostras em casas de farinha tradicionais, para completar os dados pretendidos para o projeto, tendo-se obtido dados de caracterização físico-química, microbiológica e sensorial da farinha e da fécula de mandioca, bem como a caracterização e quantificação dos principais resíduos gerados no processo.

Isso desencadeou no estado de Sergipe a formação de um grupo de discussão composto por representantes de várias instituições governamentais e não governamentais, políticos de alguns municípios do Estado, bem como de vários produtores de mandioca, em prol de uma causa única: o fortalecimento da cadeia produtiva da mandioca.

Dentre as ações originadas dessas discussões, que se desenrolaram durante todo o ano de 2005 e continuaram no ano de 2006, surgiu a ideia de se desenvolver um projeto modelo de casa de farinha que contemplasse os aspectos ambientais e outras adequações tecnológicas.

Foi constatada a existência de um projeto desenvolvido pelo PRONESE (Empresa de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Sergipe), que serviu de instrumento para a construção de diversas casas de farinha financiadas com recursos a fundo perdido, oriundos do Banco Mundial. A partir daí, ficou acertada a contribuição dos pesquisadores do presente projeto na empreitada de revisar o projeto existente, introduzindo algumas modificações traduzidas como “adequação tecnológica”.

As ações culminaram com o projeto de uma casa-de-farinha modelo para ser disponibilizada aos produtores, destacando-se o desenho inovador da fornalha, capaz de reduzir o impacto ambiental da atividade.

## **2 Produção de mandioca no Brasil e no mundo**

A mandioca é uma planta dicotiledônea da família *Euphorbiaceae* gênero *Manihot* e espécie *Manihot esculenta* Crantz. É uma cultura de origem brasileira (SCHAAL *et al.*, 1994) cultivada há mais de quinhentos anos, inicialmente pelos índios, na América Latina e, posteriormente, introduzida nos continentes Africano e Asiático, onde constituiu a base da sustentação das populações mais carentes localizadas em áreas marginais desses continentes (EMBRAPA, 2002).

Segundo OKE (1968), a raiz de mandioca é eminentemente calórica, gerando cerca de 1.500 cal/kg, a partir dos carboidratos (350 g/kg). Os demais componentes somados, considerados pelos valores

médios, não ultrapassam as 50 g/kg. Quanto aos minerais, são mais altos os teores de fósforo e cálcio, ocorrendo ferro em quantidade muito baixa, que pode aumentar consideravelmente nos subprodutos e produtos quando os equipamentos em que a mandioca é processada são feitos desse metal. HEGARTY & WADSWORTH (1968) relatam que a mandioca crua apresenta teores de ferro entre 1 a 2 mg/100 g de peso seco, mas que se o processamento se faz em equipamento de ferro esse teor pode chegar a 3,2 mg/100 g.

Quanto ao teor de proteína, CEREDA (2001) afirma que a fração nitrogenada das raízes de mandioca apresenta na literatura valores muitos variados. Essa fração compreende não apenas a fração protéica, mas também a não protéica da qual participa o nitrogênio correspondente ao radical CN da linamarina, de modo que as avaliações da proteína da mandioca fresca ou de suas frações que ainda contém o glicosídeo poderão superestimar as proteínas existentes. O suco da mandioca apresenta-se leitoso, com cheiro adocicado de cianeto. Consiste de 91% de água, 0,13% de óleos essenciais contendo enxofre, 2,3% de gomas, 1,14% de saponinas, 1,66% de glicosídeos (precursor do ácido cianídrico) e 3,8% de outros componentes não especificados (OKE, 1968). Eliminada a película parda que envolve a raiz da mandioca, e considerando a parte central e a casca branca como um todo, pode-se admitir a composição química centesimal da mandioca, mostrada na Tabela 15.1.

Para a produção de farinha e amido, na maioria das regiões do Brasil é importante que as cultivares apresentem raízes com polpa e córtex de coloração branca e cor de película branca e fina, o que facilita o descascamento e garante a qualidade do produto final. Já na região Norte e no estado do Maranhão, a preferência para a produção de farinha é por raízes com polpa amarela. Uma ampla variabilidade de mandioca com raízes de polpa amarela pode ser encontrada naquela região. Com relação à característica polpa amarela, pode ser importante do ponto de vista nutricional, tanto em variedades bravas como mansas, decorrente dos altos teores de  $\beta$ -caroteno, precursor da vitamina A, encontrados nas raízes de variedades de mandioca com polpa amarela (CARVALHO *et al.*, 2000).

**Tabela 15.1 – Composição da raiz da mandioca**

Componentes (g/100g)	Raízes		
	Longas e finas	Médias	Curtas e grossas
Água	62,10	62,10	62,10
Fibra	1,60	1,25	1,14
Lípido	0,65	0,20	0,24
Nitrogênio	0,32	0,17	0,11
Carboidrato	32,95	34,18	34,70
Cinzas	1,20	1,20	0,80

Fonte: Adaptada de OKE (1968).

A mandioca é o sexto produto alimentício da humanidade em volume de produção, atrás do trigo, arroz, milho, batata e cevada. No ano de 2004, a produção mundial foi de 195,5 milhões de toneladas. O Brasil tem uma participação importante nesta cultura, produzindo cerca de 24,2 milhões de toneladas/ano, representando cerca de 12,4% da produção mundial, sendo o segundo maior produtor – o primeiro é a Nigéria, com 17,1% (FAO/WHO, 2004). A produção brasileira é de 13,6 t/ha, um pouco acima da média mundial, de 10,9 t/ha.

A cultura de mandioca é uma das mais difundidas entre nós, não tendo restrições quanto às condições do solo e do clima, daí porque é encontrada em todas as regiões do Brasil. Dentre os principais estados produtores destacam-se: Pará (17,9%), Bahia (16,7%), Paraná (14,5%), Rio Grande do Sul (5,6%) e Amazonas (4,3%), que respondem por 59% da produção do país. A Região Nordeste sobressai-se com uma participação de 34,7% da produção nacional, porém com rendimento médio de apenas 10,6 t/ha; as demais regiões participam com 25,9% (Norte), 23,0% (Sul), 10,4% (Sudeste) e 6,0% (Centro-Oeste). As Regiões Norte e Nordeste destacam-se como principais consumidoras, sob a forma de farinha. No Sul e Sudeste, com rendimentos médios de 18,8 t/ha e 17,1 t/ha, respectivamente, a maior parte da produção é para a indústria, principalmente no Paraná, São Paulo e Minas Gerais (SOUZA e FIALHO, 2003).

O consumo per capita mundial de mandioca e derivados, em 1996, foi de 17,4 kg/hab/ano, sendo de 50,6 kg/hab/ano no Brasil. Os

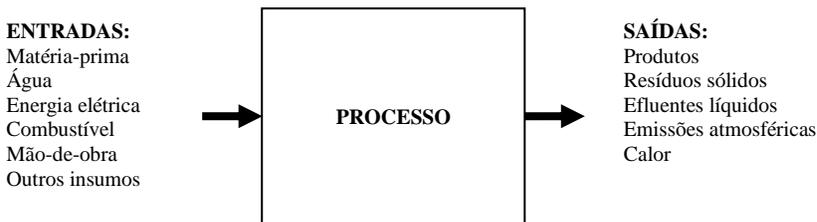
países da África destacam-se nesse aspecto; a República Democrática do Congo, Congo e Gana apresentaram, respectivamente, valores de 333,2, 281,1 e 247,2 kg/hab/ano. O mercado internacional da mandioca, sem considerar o comércio interno na União Européia, movimentou até 1993, em média/ano, cerca de 10 milhões de toneladas de produtos derivados ("pellets" e farinha de soja/mandioca), sendo equivalente a mais de 1 bilhão de dólares. A produção brasileira de mandioca é praticamente consumida no mercado interno, com menos de 0,5% da produção nacional sendo exportados nos últimos 10 anos (SOUZA e FIALHO, 2003). A raiz é cultivada em diferentes sistemas de produção, desde pequenas fazendas a grandes plantações, e comercializada de diferentes formas.

### 3 Processamento da mandioca para produção de farinha

#### 3.1 Fluxograma do Processo

O processamento da mandioca apresenta as características comuns a qualquer processo, conforme representação genérica da Figura 15.1.

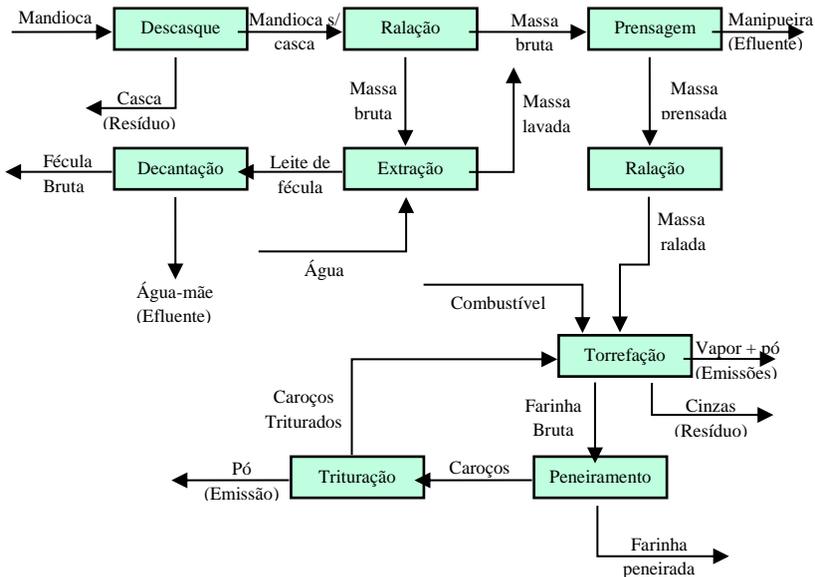
**Figura 15.1 – Fluxograma genérico de um processo**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006).

O fluxograma detalhado do processamento da mandioca, mostrando todas as operações que integram o processo, está ilustrado na Figura 15.2. Todas as operações serão discutidas em detalhes daqui em diante, dentro da filosofia da adequação tecnológica do processamento da mandioca, que ainda é feito de forma quase rudimentar em várias unidades de fabricação de derivados da mandioca no estado de Sergipe e na maior parte do País.

**Figura 15.2 – Fluxograma do processo de fabricação de farinha e fécula de mandioca**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006)

## 3.2 Descrição das Operações

As operações compreendidas entre o descascamento e a ralação são comuns aos processos de produção de farinha e de fécula de mandioca. A partir da ralação, descreve-se primeiramente a linha de produção de farinha e depois a produção de fécula.

### 3.2.1 Tratamento da matéria-prima

A única matéria-prima utilizada no processo é a mandioca, que é transportada para as casas de farinha em veículos de tração animal, camionetes caminhões etc., a depender do porte do produtor.

A qualidade da mandioca varia bastante em função da espécie, da idade das plantas, da época da colheita, das características do solo em que foi plantada e dos cuidados durante o seu cultivo.

O descascamento ou raspagem da mandioca consiste na retirada das cascas de suas raízes, removendo toda a parte escura. As raízes

resultantes do processo apresentam-se com coloração variando de branca a amarelada.

É uma das etapas críticas com relação à higiene, pois, levando-se em conta que geralmente as raízes descascadas não são lavadas, a sujeira das mãos dos trabalhadores acaba sendo parcialmente impregnada nas raízes.

A qualidade da farinha também depende fortemente dessa etapa, uma vez que a sujeira incorporada nas raízes confere coloração ao produto final (farinha ou fécula).

O descasque pode ser manual ou mecanizado. Os melhores resultados são obtidos na operação manual, em virtude da máquina ser incapaz de remover os recortes de casca das reentrâncias das raízes. É importante que as saliências das raízes sejam devidamente tratadas, a fim de minimizar remanescentes de casca, pois quando a operação é mal conduzida, a farinha geralmente apresenta pontos escuros.

As cascas geradas no descasque manual são geralmente destinadas à alimentação animal, após estocagem durante certo período ou exposição das mesmas ao sol, para permitir a perda de cianeto e não afetar o rebanho.

Praticamente nenhuma casa de farinha do estado adota os descascadores mecânicos, exceto os produtores de fécula, cuja exigência em relação à raspagem tolera o grau de remoção de cascas proporcionada pela máquina, devido à sedimentação que separa a fécula da água e possibilidade de ressuspensão da fécula em água nova, purificando-a.

### **3.2.2 Ralação**

A ralação é a denominação popular da moagem ou trituração das raízes. Nesta operação as raízes já descascadas são desintegradas numa máquina mediante o contato das mesmas com um cilindro dotado de pedaços de serras metálicas fixadas axialmente na sua periferia. A máquina que desempenha tal função encontra-se ilustrada na Figura 15.3.

**Figura 15.3 – Ralador de mandioca acionado com motor elétrico**

Fonte: RAMOS *et al.* (2006).

A mandioca ralada assume a forma de uma massa cuja granulometria depende do espaçamento entre o cilindro dentado e uma cunha de madeira que serve de estator para suporte das raízes. A massa ralada é normalmente recolhida em recipientes denominados de coxos, construídos em madeira ou metal. Ressalta-se que, para efeitos de higiene e resistência à corrosão, deve-se dar preferência aos fabricados em aço inoxidável.

A massa obtida nesta operação apresenta altos teores de umidade e pode ser destinada tanto à produção de farinha quanto à extração de tapioca.

### **3.2.3 Prensagem**

Na linha de produção de farinha de mandioca, a massa ralada é submetida à desaguagem num equipamento denominado de “prensa”, conforme mostra a Figura 15.4.

**Figura 15.4 – Prensa a parafuso metálico com aperto manual**

Fonte: RAMOS *et al.* (2006).

A massa é acondicionada em camadas dentro do tambor da prensa, separadas por um meio filtrante resistente, que consiste geralmente num saco de nylon. Entre duas camadas adjacentes coloca-se um estrado de madeira para facilitar o escoamento da manipueira, sendo que a camada superior é comprimida por um tampo robusto construído em aço. A desaguagem da massa depende diretamente da intensidade do torque no parafuso metálico.

A manipueira é drenada para fora da casa de farinha através de canais ou de tubos. A prática atualmente mais utilizada é o descarte direto da manipueira no terreno junto à casa de farinha, o que é completamente contestável.

A massa prensada deve ser desintegrada antes de seguir para o processo de torrefação. Para tanto, pode-se submetê-la a uma nova ralação ou machucá-la manualmente e peneirá-la.

### **3.2.4 Torrefação**

A massa proveniente da prensa ainda contém bastante umidade não mais na forma livre, exigindo aquecimento severo para transformá-la em farinha. A melhor denominação para o processo é torrefação,

visto que o produto final é praticamente isento de umidade, literalmente torrado.

A Figura 15.5 mostra o forno usado nos experimentos do projeto, o qual opera com fornalha a fogo direto, com combustível sólido. O calor produzido na queima do combustível é transferido para a massa através da chapa de aço, aquecendo-a e transformando-a em farinha de mandioca.

**Figura 15.5 – Forno mecanizado para torrefação da massa**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006).

A qualidade da farinha em termos de umidade, cor e granulometria dependem principalmente da umidade da massa prensada que alimenta o forno, da potência de aquecimento e da velocidade das pás do misturador.

O forno é o principal gerador de emissões atmosféricas que poluem tanto o ambiente interno quanto o externo. Nas casas de farinha que operam com fornalha sem chaminé (ou quando a mesma apresenta-se subdimensionada) os gases de combustão acabam muitas vezes retornando para dentro da casa de farinha, causando grande incômodo às pessoas que nela atuam. Outra fonte de poluição está associada à evolução de vapor do forno, arrastando finos de farinha que se espalham pelo interior da casa de farinha, causando problemas estéticos e sujando

severamente o telhado, as paredes, equipamentos, utensílios e até as pessoas.

### *Combustível*

O combustível a que se refere o texto é a lenha – recurso já bastante escasso no estado e em quase toda a região Nordeste. A madeira queimada nos fornos provém da derrubada de árvores silvestres: manguezais, manchas de mata atlântica, capoeiras, caatinga, e de árvores frutíferas que adoecem e morrem, a exemplo da laranjeira, do cajueiro etc.

### **3.2.5 Peneiramento**

A farinha que sai do forno é submetida a uma operação de peneiramento, objetivando a remoção da fração mais grossa denominada de “caroços”. O peneirador utilizado nos experimentos do projeto foi do tipo mecânico vibratório, conforme mostra a Figura 15.6

A farinha peneirada era então ensacada e os caroços eram triturados e reciclados para o forno, conforme descrito adiante.

Durante o peneiramento há também a emissão de uma quantidade significativa de particulados que poluem o ambiente interno da casa de farinha.

**Figura 15.6 – Peneirador mecânico vibratório**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006).

### 3.2.6 Trituração de Caroços

A trituração dos caroços permite a redução das perdas no processo, visto que possibilita a reciclagem dos caroços gerados na torrefação, os quais, em muitas unidades, são perdidos. Entretanto, esta operação exige um moedor para sólidos. As casas de farinha utilizam comumente uma pequena máquina forrageira equipada com telas perfuradas na forma de malhas circulares de diversas aberturas.

Assim, os caroços triturados se transformam num pó que, por não se apresentar devidamente torrado, deve retornar ao forno para ser incorporado a uma nova farinha, evitando a perda de uma fração significativa da produção. A Figura 15.7 mostra um triturador de caroços do tipo frequentemente encontrado nas casas de farinha do estado de Sergipe.

**Figura 15.7 – Triturador de caroços**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006)

Vale salientar que a trituração também tem elevado potencial poluidor em relação ao ar interior. Para fábricas de maior porte, recomenda-se a instalação de um sistema de ventilação local exaustora com filtro de tecido para recuperação do pó, que, inclusive, já se encontra no mercado de equipamentos para casas de farinha.

Na linha de produção de fécula são executadas outras operações as quais serão descritas a seguir.

### *Extração*

Esta operação consiste na mistura da mandioca ralada (massa bruta) com água, produzindo uma suspensão leitosa que contém a fécula. Os experimentos foram realizados utilizando-se uma máquina cuja ilustração encontra-se na Figura 15.8.

**Figura 15.8 – Extrator de fécula**



Fonte: RAMOS *et al.* (2006)

A máquina é dotada de um mecanismo de agitação tipo hélice, acionado por um motor elétrico, e de uma tela de tecido situada no fundo tambor metálico, responsável pela retenção das fibras da mandioca, deixando passar apenas a suspensão água-fécula que segue para decantação.

O extrator pode operar em regime de fluxo contínuo ou em batelada, em relação à alimentação de água. A massa exausta (torta) é removida ao final da operação, podendo, a depender dos costumes locais, ser destinada à ração animal ou misturada a certa quantidade de massa integral, para fabricação da farinha.

### **3.3 Decantação da Fécula**

Do leite de fécula produzido na operação anteriormente descrita separa-se a fécula (ou tapioca) mediante a ação da força da gravidade, num recipiente denominado de “decantador”. Normalmente, esta operação transcorre ao longo de várias horas, sendo mais comum a prática do pernoite, ou seja, os recipientes são cheios com o leite de fécula durante uma noite e, no dia seguinte, drena-se a parte líquida e recolhe-se a parte sólida aderente ao fundo do recipiente.

Como a fécula é relativamente consistente, usa-se normalmente uma espátula de madeira ou de metal para removê-la na forma de pedaços. Algumas unidades praticam a ressuspensão da fécula e nova decantação, que serve como meio de aumentar sua pureza, sua brancura e, conseqüentemente, sua aceitação no mercado. A fécula pode ser comercializada úmida ou seca.

## **4 Adequação tecnológica de fornos para produção de farinha de mandioca**

### **4.1 Fornos artesanais: o incômodo causado pelas emissões e o desconforto ambiental**

As emissões relativas ao processamento da mandioca estão divididas em duas categorias:

- As associadas à queima de lenha – de interesse para a qualidade do ar no ambiente externo;
- As associadas à secagem e manuseio da farinha – cujo impacto direto é sobre a qualidade do ar no ambiente interno.

No primeiro caso, a redução das emissões passa por uma melhoria no processo de combustão, o que, com um projeto adequado do forno, é facilmente alcançado. Com a combustão a mais completa possível, a emissão de particulados - principal parâmetro ligado à qualidade do ar nesta situação - fica bastante reduzida.

Evidentemente, há meios de se controlar mais ainda as emissões através da chaminé, porém, para o porte das unidades de

processamento encontrado na maioria do país, isto poderá implicar na inviabilização da produção, devido ao alto custo.

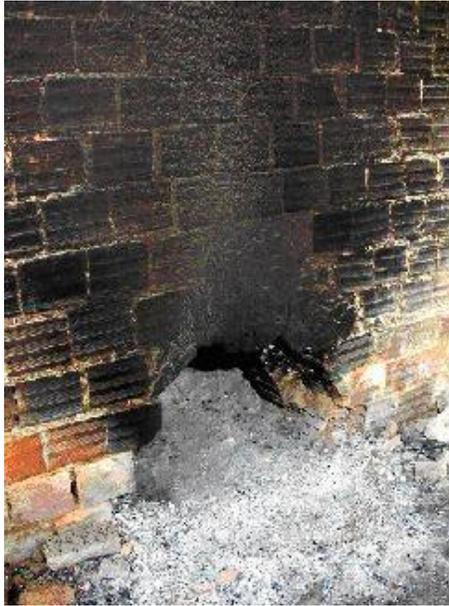
A evaporação da água durante a secagem da massa para produção da farinha causa basicamente dois problemas: desconforto térmico para os ocupantes da sala de torrefação de farinha e arraste de finos de farinha.

Para aumentar o conforto no ambiente interno da casa de farinha, principalmente junto ao forno, pode-se promover a ventilação da sala. Entretanto, a ventilação excessiva contribui para o resfriamento do forno e da farinha em processamento, desencadeando o aumento no tempo de preparo da fornada e no consumo de lenha, uma vez que o coeficiente global de transferência de calor é incrementado.

Alguns produtores de farinha já constataram isto de modo intuitivo. Eles geralmente adotam fechar as portas e janelas próximas ao forno para reduzir o consumo de lenha. Em contrapartida, eles enfrentam grande desconforto ambiental. Recomenda-se que haja certa ventilação para ao menos garantir a renovação do ar e diluir os seus contaminantes, principalmente o ácido cianídrico que evapora durante a secagem.

Os fornos existentes nas casas de farinha visitadas no município de Lagarto (SE), de acordo com dados dos seus proprietários e usuários, são grandes consumidores de lenha e geradores de resíduos, conforme mostra a Figura 15.9. Esses resíduos apresentavam um teor de carvão relativamente alto (vide Figura 15.10), o que indica combustão incompleta, com conseqüente prejuízo para o produtor que já compra a lenha a preços altos e enfrenta sérios problemas de escassez.

**Figura 15.9 – Forno de casa de farinha com alta geração de resíduos de queima**



Fonte: Acervo dos autores

**Figura 15.10 – Pilha de cinzas contendo bastante carvão (Lagarto, Sergipe)**



Fonte: Acervo dos autores

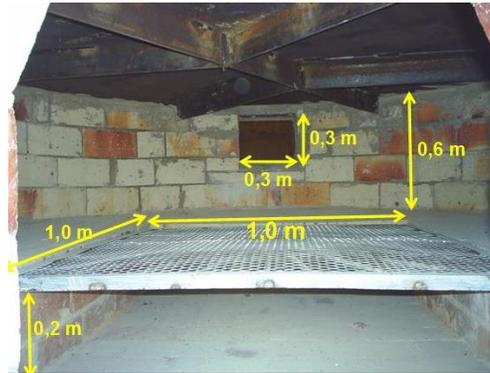
Para solucionar este problema, a equipe do projeto “Adequação Tecnológica das Casas de Farinha do Estado de Sergipe” projetou um novo tipo de fornalha, basicamente dotando-a de uma grelha para separação de cinzas e de uma chaminé, devidamente projetada com base em balanços de combustão, para fazer a tiragem dos gases de combustão.

## 4.2 Adaptação da fornalha

A Figura 15.11 mostra a estrutura interna da fornalha adequada para um forno circular com 2 m de diâmetro e 33 cm de altura de parede, confeccionado em chapa de aço carbono com espessura de 6,35 mm (1/4 in), fabricado pela Indústria Santa Cruz, Lagarto – Sergipe, a qual possui as seguintes características:

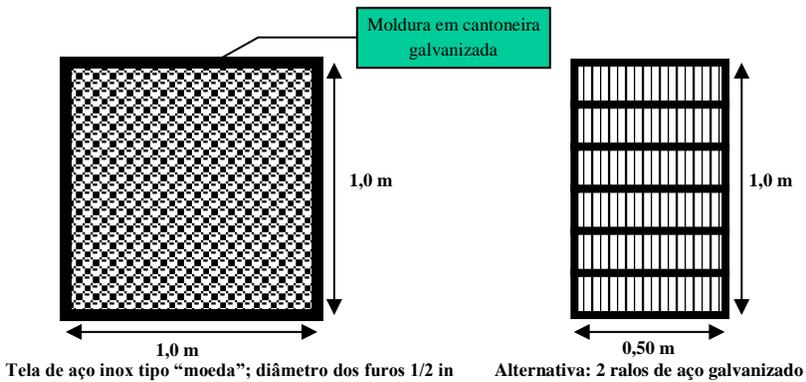
- Parede dupla: parte externa com blocos cerâmicos de 6 furos e parte interna de tijolinhos com revestimento interno de tijolos refratários;
- Grelha: construída em tela de aço inox tipo “moeda”, com furos de ½ polegada de diâmetro, medindo 1 m x 1 m, emoldurada com cantoneira galvanizada e reforçada por baixo com cantoneiras soldadas na moldura quadrada, conforme mostra a Figura 15.12;
- Fundo rebaixado sob a grelha para funcionar como cinzeiro;
- Abertura para alimentação de combustível com porta e dispositivo de tranca. A porta tem uma abertura na parte inferior para entrada de ar, na altura da grelha, como mostra a Figura 15.13;
- Capacidade de queimar diversos tipos de combustíveis sólidos, tais como: lenha, aparas de madeira e resíduos de escoramento de construções, cascas de coco, bambu, cavacos de madeira, etc.

**Figura 15.11 – Nova fornalha projetada pelos pesquisadores do projeto “Adequação Tecnológica de Casas de Farinha do Estado de Sergipe”**

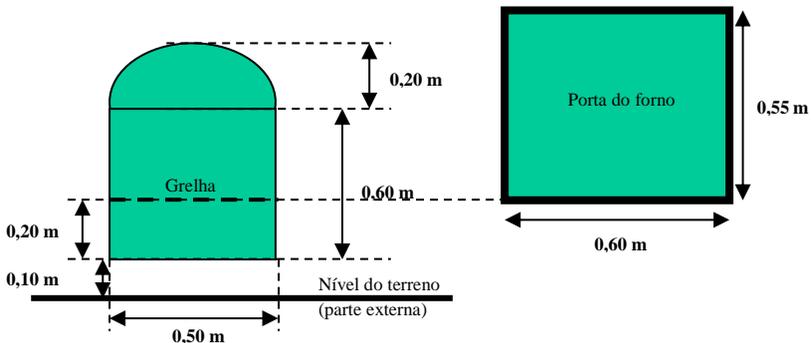


Fonte: Acervo dos autores, com adaptações

**Figura 15.12 – Detalhes da grelha**



**Figura 15.13 – Detalhes da fornalha**



Outro detalhe importante, que pode ser observado na Figura 15.11, é a posição da saída dos gases quentes para a chaminé: ela deve estar situada na mesma direção da boca da fornalha, junto ao fundo do forno (chapa de aço). Recomenda-se um isolamento da chaminé com parede de tijolos ou outro isolante apropriado, caso seja utilizado tubo metálico. Isto evitará queimaduras e melhorará a tiragem, uma vez que o processo tenderá ao modo adiabático.

### 4.3 Dimensionamento da chaminé

A etapa final e possivelmente a mais importante na elaboração da farinha é a torrefação, a qual é executada em fornos a fogo direto, que consomem lenha de modo intensivo. De acordo com Lima (2003), o consumo médio de lenha em casas de farinha artesanais é de aproximadamente 3,75 kg de lenha/kg de farinha torrada.

Para fornos mecanizados, o consumo médio citado por Fundação Cargill (2003) é de 1,10 kg de lenha/kg de farinha. Lima (1982) menciona um consumo médio de lenha em fornos rotativos do fabricante D'ANDREA (SP) da ordem de 0,50 kg de lenha/kg de farinha. Entretanto, a farinha à qual se referem estes dados é do tipo “paulista”, conhecidas também como “farinhas cruas”, cuja umidade final fica em torno de 5 %.

Para as farinhas elaboradas na região Nordeste, as quais são do tipo “torradas”, há um consumo adicional de energia térmica, uma vez que a umidade final do produto é bem menor do que a das farinhas “paulistas”.

A partir de uma pesquisa realizada com 258 espécies de madeira, Quirino *et al.* (2004) concluiu que o poder calorífico médio das madeiras é de 4710 kcal/kg, com coeficiente de variação em torno de 4%. Esse dado é de extrema importância para a estimativa do rendimento térmico dos fornos, sobretudo levando em conta a correlação proposta por Pinheiro *et al.* (2004):

$$PCI = \frac{PCS - 25,11 \cdot U}{100 + U} \cdot 100$$

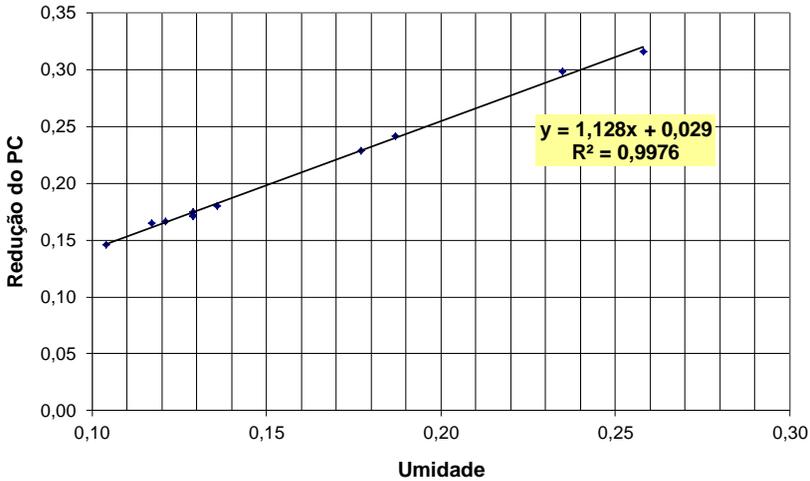
sendo PCI e PCS os poderes caloríficos inferior e superior, respectivamente, e U a umidade absoluta da madeira. Através do PCI tem-se a energia térmica efetivamente fornecida pela combustão da lenha. Evidentemente, a umidade é a principal variável, principalmente levando-se em conta que a lenha é geralmente armazenada em pilhas a céu aberto.

Aplicando-se a correlação de Pinheiro *et al.* (2004) aos dados de Quirino *et al.* (2004), foi possível obter os dados da Tabela 15.2 na qual mostra-se o efeito da umidade na redução do poder calorífico do combustível. Como os valores são da mesma ordem de grandeza, fez-se o cálculo das médias aritméticas dos parâmetros, bem como foram levantados dados para subsidiar a construção do gráfico da Figura 15.14.

**Tabela 15.2 – Dados dos poderes caloríficos de diversas madeiras e efeito da umidade sobre a redução do poder calorífico**

	PCS (kcal/kg)	u(%)	PCI (kcal/kg)	(PCS-PCI), (kcal/kg)	%Redução
	4.411,00	23,5	3.093,9	1.317,14	29,9
	4.685,00	18,7	3.551,3	1.133,66	24,2
	4.389,00	11,7	3.666,3	722,74	16,5
	4.828,00	17,7	3.724,3	1.103,66	22,9
	4.647,00	25,8	3.179,0	1.468,02	31,5
	4.957,00	13,6	4.062,9	894,06	18,0
	4.606,00	12,1	3.837,8	768,20	16,7
	4.545,00	10,4	3.880,3	664,70	14,5
	4.978,00	12,9	4.122,3	855,70	17,2
	4.720,00	12,9	3.893,8	826,22	17,5
	5.036,00	12,9	4.173,7	862,32	17,1
<b>Média</b>	<b>4.709,27</b>	<b>15,7</b>	<b>3.744,15</b>	<b>965,13</b>	<b>20,6</b>

**Figura 15.14 – Correlação entre a redução no poder calorífico (kcal/kg) e a umidade da lenha (%), segundo dados de Quirino et al. (2004)**



Assim, o dimensionamento do sistema foi feito com base no seguinte procedimento:

- i. Fez-se o acompanhamento da produção de farinha junto a um experiente produtor do município de Lagarto (SE), monitorando-se as seguintes variáveis: massa de mandioca alimentada ao forno e respectiva umidade, tempo de torrefação, massa de lenha, massa de farinha seca e respectiva umidade;

Estimou-se a umidade média da lenha para proporcionar o uso da correlação proposta por Pinheiro *et al.* (2004), já apresentada, e obter o PCI com base na correlação da

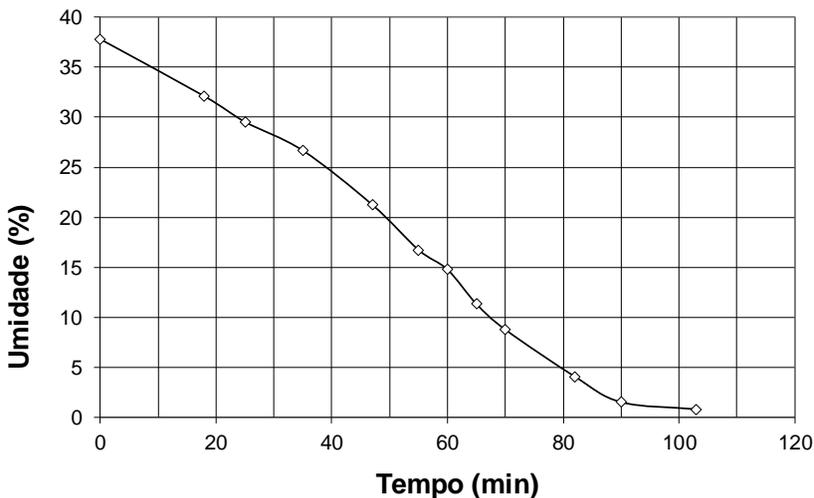
**Figura 15.14 – Correlação entre a redução no poder calorífico (kcal/kg) e a umidade da lenha (%), segundo dados de Quirino et al. (2004)**

- ii. obtida a partir dos dados de Quirino *et al.* (2004);

- iii. A partir do calor útil necessário à secagem da farinha, obtido por balanços de massa e energia simples, estimou-se o consumo mínimo de lenha;
- iv. Com base numa composição elementar típica para a lenha, realizou-se o balanço de combustão, estimando-se a vazão de gases de combustão e daí o diâmetro da chaminé;
- v. Usando-se uma correlação para a tiragem por convecção natural em chaminés, estimou-se a altura da mesma;
- vi. O rendimento térmico do forno foi estimado como o quociente entre o calor útil e a energia térmica total oriunda da combustão da lenha.

A potência útil para secagem da farinha foi obtida com base no calor necessário à evaporação da umidade contida na farinha, o que representa uma simplificação, uma vez que a água está ligada às fibras por forças que vão além de pontes de hidrogênio entre moléculas de água em fase líquida. Entretanto, tal simplificação teve como suporte o comportamento quase linear da redução da umidade com o tempo, conforme mostra a Figura 15.15.

**Figura 15.15 – Curva típica de secagem da farinha de mandioca obtida a partir de um experimento num forno similar**



Pode-se observar que o trecho da curva entre  $t = 0$  e  $t = 90$  min tem comportamento aproximadamente linear, que foi a premissa para o

uso da potência média consumida na secagem da farinha que, juntamente com a estimativa da eficiência térmica, proporcionaram o cálculo do consumo específico de lenha e o projeto da fornalha e respectiva chaminé.

As massas de lenha e do material em processamento foram medidas em todos os experimentos usando-se uma balança Whelmy com capacidade para 150 kg. Já as umidades da massa de mandioca alimentada ao forno e da farinha torrada foram determinadas em laboratório pelo método gravimétrico, segundo CLESCERI *et al.* (1998).

A chaminé foi projetada com diâmetro de 10 polegadas (25,4 cm) de diâmetro e 6 m de altura, com proteção tipo chapéu chinês. No caso de se adotar uma chaminé de seção quadrada, construída em alvenaria de tijolos, a mesma deve ter uma seção quadrada com 23 cm de lado. Deve-se prezar pelo acabamento na parte interna, a fim de reduzir a perda de carga e favorecer a tiragem natural dos gases de combustão.

O Apêndice A apresenta a memória de cálculo para o dimensionamento da chaminé elaborada utilizando-se o aplicativo MathCad versão 12. Por isso, o separador decimal que figura nos valores numéricos é a vírgula.

#### **4.4 Resultados dos testes de produção de farinha**

Foram testados 4 tipos de combustíveis, a saber: aparas de madeira de escoramento usada na construção civil, lenha de laranjeira, casca de coco (parte fofa) e bambu gigante (também conhecido no estado de Sergipe como taquara).

Em todos os experimentos realizados o forno operou a contento, exibindo as seguintes características:

- Praticamente não houve retorno de fumaça, uma vez que a pressão é negativa na entrada do cinzeiro;

- A eficiência de queima foi elevada – o resíduo foi apenas cinzas;
- Flexibilidade para utilização de qualquer tipo de combustível sólido;
- Não apresentou zonas mortas, pois a chama forma um cone vertical que se espalha uniformemente por todo o fundo do forno, como mostram a Figura 15.16 e a Figura 15.17;
- Facilidade de limpeza – remoção de cinzas; entre outras qualidades.

**Figura 15.16 – Fotomontagem mostrando a queima de casca de coco**



Fonte: Acervo dos autores.

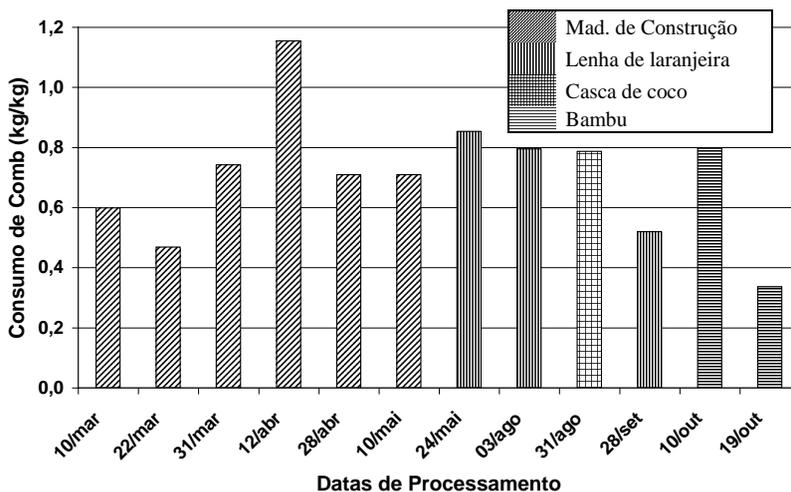
**Figura 15.17 – Fotomontagem mostrando a queima de bambu (taquara)**



Fonte: Acervo dos autores.

Os resultados obtidos nos diversos experimentos realizados encontram-se sintetizados na Figura 15.18.

**Figura 15.18 – Consumo específico de lenha em todos os experimentos**



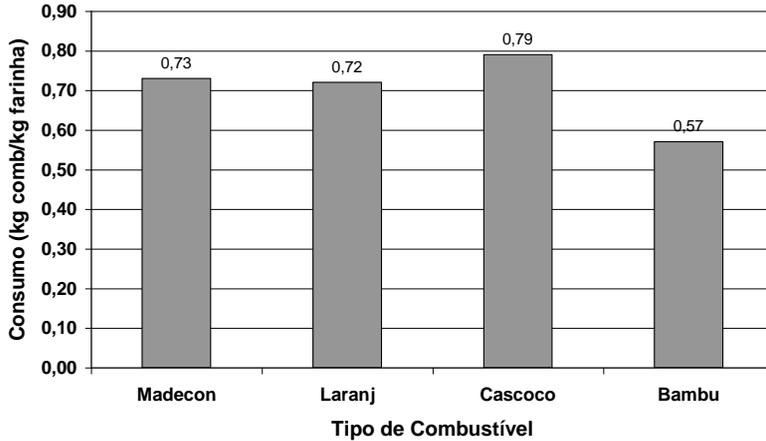
Os maiores destaques da Figura 15.18 são o consumo muito elevado de lenha tipo “madeira de construção” no dia 12/04 e o baixo consumo de bambu no dia 19/10, os quais têm as seguintes explicações:

- No dia 12/04 a madeira estava muito úmida, pois houve chuva forte e molhou o combustível que estava armazenado a céu aberto - situação atípica;
- No experimento do dia 19/10, o bambu estava com aproximadamente 3 semanas de cortado, conferindo um excelente desempenho – situação bastante factível.

Os demais resultados exibiram valores relativamente próximos, porém não faz sentido calcular um valor médio, uma vez que 4 tipos de combustíveis estiveram envolvidos.

Para melhorar a análise do consumo específico de combustível, foram calculadas as médias por tipo de combustível, levando em conta todos os experimentos realizados com cada um deles. Os resultados encontram-se representados na Figura 15.19.

**Figura 15.19 – Consumo específico de lenha – valores médios por tipo de combustível**



Observa-se claramente que o consumo de madeira de construção (“Madecon”) é estatisticamente igual ao de lenha de laranjeira (“Laranj”). O consumo médio de casca de coco (“Cascoco”) foi levemente superior aos dois tipos anteriormente comentados. O maior destaque nesta análise foi o bambu, cujo consumo médio foi de 0,57 kg de lenha por kg de farinha.

Vale salientar que o uso de bambu na produção de farinha de mandioca deve respeitar as restrições ambientais, uma vez que o bambu é vegetação típica de matas ciliares. No entanto, o resultado é importante, pois se pode utilizar bambu reflorestado, com uma estratégia de manejo sustentável.

#### **4.5 Eficiência térmica do forno e comparação com outros fornos existentes**

O calor latente de vaporização da água contida na massa, sob a hipótese de que a maior parte dessa água está na forma livre, juntamente com os dados da Tabela 15.3, referentes a experimentos realizados no forno usado no desenvolvimento das atividades do projeto, e os dados

do poder calorífico médio da lenha, subsidiaram a estimativa do rendimento térmico do forno.

De posse do consumo de lenha (com umidade estimada a partir de dados da literatura para lenha seca ao ar) e do calor útil para secagem, estimou-se o rendimento térmico como sendo o quociente:

$$\eta \cong \frac{\left( \text{massa de água evaporada} \right) \times \left( \text{calor latente de vaporização da água} \right)}{\left( \text{massa de lenha consumida} \right) \times \left( \text{poder calorífico da lenha corrigido} \right)}$$

Assim, a última coluna da Tabela 15.3 apresenta os valores estimados para os experimentos realizados no projeto que gerou este trabalho.

**Tabela 15.3 – Dados experimentais para avaliação do rendimento térmico do forno**

Exp. No	Farinha, F			Lenha, L (kg)	L/F	Rend. Térmico (%)
	Ui (%)	Uf (%)	Massa (kg)			
1	46,1	1,6	61,0	36,5	0,60	28,6
2	41,0	2,7	64,5	30,2	0,47	28,7
3	46,2	2,2	59,5	44,1	0,74	22,8
4	47,5	1,5	43,0	49,6	1,15	15,8
5	46,2	2,2	62,4	44,2	0,71	23,9
6	46,9	3,9	49,0	34,7	0,71	23,6
7	44,3	1,8	54,7	59,6	1,09	14,5
				<b>MÉDIA</b>	<b>0,78</b>	<b>22,6</b>
				<b>DESVIO</b>	<b>0,25</b>	<b>5,6</b>
				<b>CV (%)</b>	<b>32,1</b>	<b>24,8</b>

Os dados obtidos mostram consumo de lenha significativamente menor em relação aos dados da literatura, conforme mostra a Tabela 15.4, bem como eficiência térmica média estimada em 22,6 %, quase o dobro do valor declarado por Fundação Cargill (2003) (13,5 %), utilizando o mesmo método.

**Tabela 15.4 – Comparação entre os resultados experimentais e os da literatura**

Fonte	Consumo (kg lenha/kg farinha)	Diferença (relativa ao valor médio encontrado), %
Este trabalho	0,78	-
Cargill (2003)	1,10	+ 41,0
Lima (1982)	0,50	- 64,0
Lima (2003)	3,75	+ 380,8

Ressalta-se que o tipo de farinha estudado por Lima (1982) foi a “crua”, que tem umidade final superior à “farinha torrada”, típica da Região Nordeste. Já o trabalho de Lima (2003) se refere a casas de farinha artesanais. Neste caso, a diferença relativa de consumo de lenha é da ordem de 4 vezes.

A redução significativa no consumo de lenha está diretamente ligada ao aumento no rendimento térmico do forno. Isto pode ser justificado pelo projeto da fornalha, o qual foi desenvolvido com base no balanço de combustão, contemplando o dimensionamento da chaminé e o revestimento interno da mesma com tijolos refratários.

## 5 Conclusões

A mandioca representa uma das culturas mais importantes no cenário nacional, principalmente pelo seu papel gerador de alimento, emprego e renda para as camadas economicamente menos favorecidas, porém tal cultura tem muito mais para ser explorado.

A matriz de produção ligada à mandioca já envolve algo da ordem de uma centena de produtos e continua a crescer, fruto de novas pesquisas. Atualmente observa-se um cenário paradoxal: de um lado a predominância da agricultura de subsistência e de outro a pesquisa de ponta envolvendo derivados da mandioca como o amido e a manipueira.

Há muito que se fazer neste meio termo, sobretudo pelo fato da mandioca representar uma das culturas mais cultivadas na agricultura familiar em todo o Brasil. Entretanto, para fortalecer esse braço importante da economia nacional, é imprescindível que ações como

estas, sedimentadas nos resultados do projeto que fomentou este trabalho sejam desenvolvidas mais e mais, de modo contínuo e gradual.

Os principais problemas ambientais associados à mandioca dizem respeito à perda de nutrientes e de solo, à manipueira e à falta de lenha. A escassez de recursos lenhosos para uso como combustível poderá gerar colapso na fabricação de farinha dentro de poucos anos no estado de Sergipe, uma vez que há pouquíssima cobertura vegetal disponível para retirada de madeira. A maior parte da lenha, segundo informações dos produtores, chega às casas de farinha de forma clandestina, originária da prática de crimes ambientais contra ecossistemas já altamente impactados como a caatinga e os manguezais.

Urge, então, que ações no âmbito governamental (estadual e municipal) e de iniciativa privada sejam tomadas no sentido de incentivar a criação de áreas de reflorestamento, para o manejo sustentável dos recursos, visando o fornecimento de combustível para as casas de farinha, além de outros usos.

Os resultados obtidos nos estudos que subsidiaram o presente trabalho revelam que, a partir de uma adaptação no projeto da fornalha, relativamente simples de implantar, pode-se alcançar uma redução substancial no consumo de lenha no processo de fabricação da farinha de mandioca, através do aumento da eficiência energética. Além disso, a adaptação da fornalha permite a utilização de outros combustíveis, contribuindo ainda mais para a conservação dos recursos florestais da Região.

A adequação da fornalha gerou uma economia de até 50% no consumo da lenha (segundo resultados obtidos no projeto) e de até 60% em casas de farinha de produtores experientes, que colaboraram com o projeto e construíram fornos adaptados conforme apresentado neste trabalho. Tal medida contribuirá, a curto, médio e longo prazos, para a redução do impacto ambiental inerente à produção de farinha de mandioca.

## Agradecimentos

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto “Adequação Tecnológica das casas de farinha do Estado de Sergipe”, com recursos do MCT/MESA/CNPq/ CT Agronegócio, Processo 503402/2003-6.

Ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), instituição vinculada à Universidade Tiradentes (Aracaju, Sergipe), onde foi desenvolvido o Projeto que fomentou os resultados apresentados no presente trabalho, sobretudo aos integrantes do Laboratório de Processamento de Mandioca (LPM), do Laboratório de Estudos Ambientais (LEA) e do Laboratório de Pesquisa em Alimentos (LPA), onde foram realizados os testes e as análises inerentes ao Projeto.

## Referências bibliográficas

- CARVALHO, L.J.C.B.; CABRAL, G.B.; CAMPOS, L. *Raiz de Reserva de Mandioca: um sistema biológico de múltipla utilidade*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. 16p. il. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 44).
- CEREDA, M. P. Potencial das tuberosas americanas. *Anais do 1 Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Cará*. Venda Nova do Imigrante: Empresa de Pesquisa Agropecuária do Espírito Santo, 2001.
- CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA/AWWA/WEF, 1998.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Mandioca e Fruticultura. *Cultivares de mandioca recomendados para o Brasil*, 2002. s.n.d. (FOLDER).
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization of the United Nations). *Faostat agriculture data*, 2004. Disponível em <http://www.fao.org>; Acesso em: 01 ago 2005.
- FUNDAÇÃO CARGILL. *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas: 2003*. Disponível em: <http://www.raizes-ong.org.br/Livros/Cap.3/CAP%2020E.pdf>. Acesso em: 11 de junho de 2005.
- GROXKO, M. *Análise da conjuntura agropecuária – safra 2010-2011*. Disponível em: [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/mandiocultura\\_2011\\_12.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/mandiocultura_2011_12.pdf). Acesso em 25 de julho de 2012.
- HEGARTY, J.V.; WADSWORT, G.R. The amount of iron processed cassava (Manihot Utilíssima). *J. Trop. Med. Hyg.*, v. 71, f. 2, p. 51-2, 1968.
- LIMA, R. Â. P. de. *Agricultura e dinâmica de ocupação do território no estado do Amapá*. Amapá: UNIFAP, 2003. Disponível on line em: <http://www.geoconsult-br.com/congresso/A4.pdf>. Capturado em 14 de Junho de 2005.
- LIMA, U. A. *Manual técnico de beneficiamento e industrialização da mandioca*. São Paulo: Secretaria de Ciências e Tecnologia, 1982. 56 p. (Série Tecnologia Agroindustrial – Programa Adequação, 2).
- OKE, O L. Cassava as food in Nigéria. *World Ver. Nutr. Dietetics*, v. 96, p. 227-50, 1968.
- PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. T. Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.
- QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e resíduos lignocelulósicos. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

- RAMOS, A. L. D.; MARQUES, J. J.; LIMA, A. S.; MARCELLINI, P. S.; SOBRINHO, B. M.; ALVES, L. P. *Adequação tecnológica das casas de farinha do estado de Sergipe*. Relatório final do projeto submetido ao CNPq, 2006.
- SCHAAL, B.; OLSON, P.; PRINZE, T.; CARVALHO, J.C.B.; TONUARI, N.J.; HAYWORTH, D. Phylogenetic analysis of the genus *Manihot* Based on molecular markeres. In: The Cassava Biotechnology Network. Borgon, Indonesia, 22-26, August, 1994. *Proceedings of the second International Scientific Meeting*. (Working Document, n. 150).
- SOUZA, L. da S.; FIALHO, J. de F. Cultivo da mandioca para a região do Cerrado. Emprapa Mandioca e Fruticultura. *Sistemas de Produção*, v. 8. Versão eletrônica. Janeiro 2003.



MINISTÉRIO DA  
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93018-15-2



9 788593 018152

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93018-16-9



9 788593 018169