

IMPORTÂNCIA ATUAL
E POTENCIAL DO USO
DA **BIOMASSA** PARA
ENERGIA EM SERGIPE

2018

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente
MICHEL TEMER

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro
EDSON DUARTE

SECRETARIA EXECUTIVA

Secretário-Executivo
ROMEU MENDES DO CARMO

**SECRETARIA DE EXTRATIVISMO E DESENVOLVIMENTO
RURAL SUSTENTÁVEL**

Secretária
JULIANA SIMÕES

**DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL
SUSTENTÁVEL E COMBATE À DESERTIFICAÇÃO**

Diretor
VALDEMAR RODRIGUES

Ministério do Meio Ambiente - MMA
Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Importância atual e potencial de uso da **biomassa para energia em Sergipe**

Brasília
MMA
2018

© 2018 Ministério do Meio Ambiente - MMA

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente ou sítio da Internet no qual pode ser encontrado o original em <http://www.mma.gov.br/publicacoes-mma>.

Projeto MMA/PNUD/BRA/14/G32 – Manejo do Uso Sustentável da Terra no Semiárido do Nordeste Brasileiro (Sergipe)

Valdemar Rodrigues | Diretor Nacional do Projeto

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)

Niky Fabiancic (Representante-Residente do PNUD no Brasil)

Didier Trebucq (Diretor de País do PNUD no Brasil)

Rosenely Diques Peixoto (Oficial de Programa do PNUD)

Associação Plantas do Nordeste (APNE)

Margareth Ferreira Sales | Presidente do Conselho Superior

Equipe técnica

Enrique Riegelhaupt (Eng. Agrônomo)

Frans Pareyn (Eng. Florestal)

José Luiz Vieira da Cruz Filho (Analista de Sistemas)

Maria José Brito Zakia (Eng. Florestal)

Eliza Rosário Gomes Marinho de Albuquerque (Bióloga)

Humberto Tadeu Menecheli Filho (Eng. Florestal)

Revisão

Maria Auxiliadora Gariglio (Eng. Florestal)

Rodolfo Burkart (Eng. Agrônomo)

Projeto Gráfico | Selene Fortini

Fotos | Banco de Imagens APNE

Depositphotos

Apoio financeiro | GEF

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação - CIP

B823i Brasil. Ministério do Meio Ambiente.

Importância atual e potencial de uso da biomassa para energia em Sergipe [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. – Brasília, DF: MMA, 2018.

67 p. : il. (algumas color.) ; gráficos ; tabelas.

Modo de acesso: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/79-combate-a-desertificacao>>

ISBN: 978-85-7738-364-1 (*on-line*)

1.Energia de biomassa. 2.Demanda de biomassa. 3.Oferta de biomassa. 4.Impacto ambiental. 5.Comercialização de biomassa. I.Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. II.Título.

CDU: 620.92:662.6(813.7)

Biblioteca Ministério do Meio Ambiente
Maria Ivana. CRB 1/1556

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição dos biomas no estado de Sergipe. **17**
- Figura 2.** Áreas com reflorestamento de eucalipto em Sergipe. **18**
- Figura 3.** Distribuição da ocorrência dos Algarobais espontâneos em Sergipe. **19**
- Figura 4.** Ocorrência de frutíferas diversas em Sergipe (2014). **20**
- Figura 5.** Dinâmica da área de "frutíferas diversas" entre 1994 e 2014. **20**
- Figura 6.** Ocorrência de cana-de-açúcar em Sergipe (2014). **21**
- Figura 7.** Ocorrência de plantios de coqueiro em Sergipe (2014). **22**
- Figura 8.** Mapa de disponibilidade total de biomassa energética em Sergipe (2015). **23**
- Figura 9.** Diagrama de Pareto do consumo industrial e comercial de biomassa em Sergipe (2010). **30**
- Figura 10.** Dinâmica da área e da produção de mandioca entre 1994 e 2014. **32**
- Figura 11.** Área colhida de mandioca em Sergipe. **33**
- Figura 12.** Diagrama de Pareto da demanda total de biomassa em Sergipe (2016). **36**
- Figura 13.** Balanços de biomassa com oferta legal e oferta total, 2016. **39**
- Figura 14.** Demandas de biomassa: Domiciliar+Comercial+Não energética e Industrial, 2016. **39**
- Figura 15.** Projeção baixa da oferta total de biomassa em Sergipe. **41**
- Figura 16.** Projeção média da oferta total de biomassa em Sergipe. **41**
- Figura 17.** Projeção alta da oferta total de biomassa em Sergipe. **41**
- Figura 18.** Demanda total de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções. **43**
- Figura 19.** Demanda industrial de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções. **43**
- Figura 20.** Demanda domiciliar de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções. **43**
- Figura 21.** Projeção baixa da demanda de biomassa por setor em Sergipe. **44**
- Figura 22.** Projeção média da demanda de biomassa por setor em Sergipe. **44**
- Figura 23.** Projeção alta da demanda de biomassa por setor em Sergipe. **44**
- Figura 24.** Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta total. **48**
- Figura 25.** Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta atual. **48**
- Figura 26.** Demanda e ofertas de biomassa no cenário Ambicioso. **49**
- Figura 27.** Demanda e ofertas de biomassa no cenário Intermediário. **50**
- Figura 28.** Demanda e ofertas de biomassa no cenário Básico. **50**
- Figura 29.** Custos finais de biomassa de diversas fontes, na condição "posto no usuário". **58**
- Figura 30.** Valor de mercado (10^6 R\$ ano⁻¹) dos fluxos de biomassa para energia, 2015. **58**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** As fontes de biomassa em Sergipe. **16**
- Tabela 2.** Oferta disponível de biomassa da vegetação nativa em Sergipe. **18**
- Tabela 3.** Oferta disponível de biomassa a partir do reflorestamento com eucalipto. **19**
- Tabela 4.** Oferta disponível de biomassa de povoamentos espontâneos de algaroba. **19**
- Tabela 5.** Oferta disponível de biomassa de poda e substituição de “frutíferas diversas”. **20**
- Tabela 6.** Oferta disponível de biomassa de palha de cana-de-açúcar em Sergipe (2014). **21**
- Tabela 7.** Oferta disponível de biomassa de resíduos de coqueiro (2014). **22**
- Tabela 8.** Resumo das ofertas de biomassa disponível em Sergipe. **23**
- Tabela 9.** Consumo de madeira para cercas em Sergipe. **25**
- Tabela 10.** Saturação com combustíveis na amostra de domicílios por subsetor. **26**
- Tabela 11.** Consumo domiciliar de energéticos por subsetor e por região, 2015. **27**
- Tabela 12.** Consumo de biomassa florestal nos domicílios de Sergipe, 2015. **28**
- Tabela 13.** Formas de obtenção da biomassa consumida nos domicílios de Sergipe ($t\ MS\ ano^{-1}$). **29**
- Tabela 14.** Consumo de energéticos florestais nas indústrias de Sergipe. **29**
- Tabela 15.** Fornos na amostra de estabelecimentos cerâmicos de Sergipe, 2017. **30**
- Tabela 16.** Tipos de biomassa utilizada no ramo cerâmica vermelha de Sergipe (2017). **31**
- Tabela 17.** Consumo de biomassa no ramo cerâmica vermelha em Sergipe (2017). **31**
- Tabela 18.** Produção e processamento de mandioca e consumo de biomassa em Sergipe. **33**
- Tabela 19.** Estabelecimentos e consumo de energéticos no ramo têxtil de Sergipe, 2017. **33**
- Tabela 20.** Consumo de biomassa no ramo de laticínios em Sergipe, 2017. **34**
- Tabela 21.** Demanda de biomassa por setor e subsetor em Sergipe. **35**
- Tabela 22.** Emissões de CO_2 pelo uso energético de biomassa em Sergipe (2016). **53**
- Tabela 23.** Emissões por MUT em Sergipe. **54**
- Tabela 24.** Níveis de emissão direta de CO_2 por diversas fontes energéticas. **55**
- Tabela 25.** Fluxos de biomassa no estado de Sergipe (2017) ($10^3\ t\ MS\ ano^{-1}$). **57**





SIGLAS

- APNE** | Associação Plantas do Nordeste
- BAU** | "Business As Usual"
- CO₂** | Dióxido de carbono
- FA** | Fator de Acesso
- FC** | Fator de Colheita
- FR** | Fator de Renovabilidade
- FUE** | Fator de Uso Energético
- G** | Giga
- GEE** | Gases de Efeito Estufa
- GLP** | Gás Liquefeito de Petróleo (mistura de propano e butano)
- GE** | Gás natural encanado (metano)
- ha** | hectare
- IBGE** | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IMA** | Incremento Médio Anual
- iNDC** | Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada
- kg** | quilograma
- MFS** | Manejo Florestal Sustentado
- M** | Mega
- MMA** | Ministério do Meio Ambiente
- st** | metro estéreo
- MUT** | Mudança do Uso da Terra
- NE** | Nordeste do Brasil
- PMFS** | Plano de Manejo Florestal Sustentado
- PNUD** | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
- t MS** | tonelada de Matéria Seca
- tep** | tonelada equivalente de petróleo



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 10

RESUMO EXECUTIVO 12

01 | INTRODUÇÃO 14

02 | OFERTA DE BIOMASSAS 16

- 2.1. Floresta nativa 17
- 2.2. Reflorestamento 18
- 2.3. Algarobais espontâneos 19
- 2.4. Frutíferas diversas 20
- 2.5. Cana-de-açúcar 20
- 2.6. Coqueiro 21
- 2.7. Resumo das ofertas de biomassa em Sergipe 22

03 | DEMANDA DE BIOMASSA 24

- 3.1. Demanda não-energética 25
- 3.2. Demanda domiciliar 25
- 3.3. Demanda industrial 29
 - 3.3.1. Ramo de cerâmica vermelha 30
 - 3.3.2. Ramo de beneficiamento de mandioca 32
 - 3.3.3. Ramo têxtil 33
 - 3.3.4. Ramo de laticínios 34
 - 3.3.5. Ramo de sucos 34
 - 3.3.6. Ramo sucroenergético 34
- 3.4. Demanda comercial 34
- 3.5. Resumo das demandas 35

04 | BALANÇO ATUAL DE OFERTAS E DEMANDAS 38

05 | PROJEÇÃO DAS OFERTAS 40

06 | PROJEÇÃO DAS DEMANDAS 42

07 | CENÁRIOS 46

- 7.1. Cenário BAU 47
- 7.2. Cenários alternativos com 100% de oferta estadual sustentável 48

08 | IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DE BIOMASSA PARA ENERGIA 52

- 8.1. Emissões por queima de biomassa 52
- 8.2. Emissões por variação dos estoques de C devidos a mudanças do uso da terra 54
- 8.3. Emissões evitadas por uso de biomassa 55

09 | FLUXOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DE BIOMASSA PARA ENERGIA 56

10 | CONCLUSÕES 60

REFERÊNCIAS 62

GLOSSÁRIO 63

ANEXO I 64

ANEXO II 65

APRESENTAÇÃO



O estudo **Importância atual e potencial do uso da biomassa para energia em Sergipe** é o resultado de uma pesquisa mais ampla realizada entre março de 2016 e março de 2017, que teve como objetivo atualizar os níveis de demanda e oferta de fonte de energia renovável na região Nordeste.

O trabalho, conforme já estabelecido no título, tem como alcance o Estado de Sergipe e é fruto de parceria firmada entre a Associação Plantas do Nordeste (APNE), no âmbito do Projeto de Cooperação Manejo do Uso de Terras do Semiárido Brasileiro, implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), sob a supervisão e coordenação técnica do Ministério do Meio Ambiente, com recursos do GEF.

Os dados analisados apontam para cenários alternativos no uso da biomassa em território sergipano, em resposta a cenários tradicionalmente explorados. A pesquisa informa que a oferta desse tipo de energia para Sergipe é de 115 mil toneladas de matéria seca por ano, quantidade equivalente a, por exemplo, aproximadamente 545 mil metros estéreos de lenha da caatinga ou 49 mil toneladas equivalente de petróleo. Deste total, 97% vêm do eucalipto e de frutíferas, as duas fontes extrativas primordiais.

Considerando a totalidade do ecossistema sergipano e suas características, outras fontes podem ser potencialmente exploradas, de forma sustentável, como a vegetação nativa da Caatinga, a cana-de-açúcar e os coqueiros. Essas novas fontes fornecem lenha, palha e resíduos de colheitas em quantidade que ultrapassa três vezes o montante oferecido pelas fontes tradicionais. Apesar de deter expressiva capacidade de oferta não explorada, o Estado de Sergipe ainda depende de boa parte da biomassa importada da Bahia e de Pernambuco.

O estudo mostra que o impacto do uso da biomassa no mercado de trabalho local é por demais expressivo, sendo que mil postos são criados de forma permanente, com uma geração de recursos de 57 milhões de reais por ano. Some-se a isso, o fato desta fonte de energia reduzir emissões de GEE. São 282 mil tCO₂ por ano a menos na atmosfera, isto somente no setor industrial.

As informações disponibilizadas nesta publicação explicam de forma contundente, o impacto positivo que poderá advir da exploração sustentável de novas fontes de biomassa em Sergipe. Esperamos que o presente estudo contribua para enriquecer o debate e subsidiar discussões sobre o planejamento energético do estado, interferindo de forma positiva naquela realidade. Boa leitura.

Juliana Simões
Secretária de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável

RESUMO EXECUTIVO



A oferta atual de biomassa para energia em Sergipe é da ordem de 115 mil t MS por ano e 97% vem de duas fontes: eucalipto e frutíferas. Outras fontes com potenciais importantes, porém, ainda não são utilizadas: floresta nativa da caatinga, cana-de-açúcar e coqueiros. Estas podem fornecer lenha, palha e resíduos de colheita em quantidade três vezes superior ao total oferecido pelas fontes atuais. A maior parte da

biomassa utilizada no estado é importada da Bahia e de Pernambuco.

A demanda de biomassa está dividida entre os setores domiciliar (234 mil t MS por ano) e industrial (246 mil t MS por ano). Os ramos cerâmica vermelha e beneficiamento de mandioca concentram 90% do consumo industrial. Os setores comercial e não-energético par-

ticipam com menor importância (33 e 22 mil t MS por ano, respectivamente 6 e 4% do total).

As projeções de oferta total sem intervenções variam de 421 a 627 mil t MS no ano 2030. As projeções da demanda vão de 504 a 617 mil t MS por ano; e praticamente sempre haverá déficit de biomassa. Logo, o cenário BAU, sem intervenções, requer importações de biomassa com exceção da combinação projetada mais otimista, de demanda baixa e oferta alta.

Cenários alternativos com 100% de oferta estadual sustentável seriam possíveis, se novas fontes fossem desenvolvidas (PMFS, palha de cana-de-açúcar e resíduos de coqueiros). Os esforços de desenvolvimento dependerão da abrangência fixada em cada cenário. No cenário mais ambicioso, para atender todas as demandas de biomassa, é preciso colocar 70% da área remanescente de caatinga sob manejo florestal sustentável e também aproveitar 35% das áreas de cana e coqueiros. No cenário intermediário, se atenderiam

as demandas industrial, comercial e domiciliar urbana, com 60 mil ha de caatinga sob manejo, resíduos aproveitados em 13 mil ha de coqueiro e 20 mil ha de cana-de-açúcar. No cenário básico, se atenderia somente as demandas do setor industrial com 13 mil ha de caatinga sob manejo, 11 mil ha de coqueiro com resíduos aproveitados e 20 mil ha de cana-de-açúcar.

Atualmente, o uso de biomassa gera o equivalente a mil postos permanentes de trabalho, com um fluxo econômico de 57 milhões de Reais por ano, e uma agregação de valor de 57 mil Reais por cada posto de trabalho. Aliás, o uso desta biomassa evita emissões de GEE na ordem de 282 mil t CO₂ por ano, somente no setor industrial.

Logo, não há motivos para considerar que a substituição de biomassa por energéticos fósseis poderia ter efeitos ambientais, econômicos ou sociais positivos no estado de Sergipe. Pelo contrário, um maior uso de biomassa sustentável traria vantagens em termos de valor agregado, emprego e redução de emissões.

01



INTRODUÇÃO

Este livro apresenta os resultados obtidos para o Estado de Sergipe dentro de um estudo maior realizado entre março de 2016 e março de 2017, cujos objetivos foram: atualizar a estimativa de demandas e ofertas de biomassa para energia na região Nordeste, gerar projeções para 2015-2030, avaliar seus impactos ambientais e desenhar cenários sustentáveis para seu desenvolvimento.

Para isto, a APNE elaborou estimativas atualizadas das ofertas e das demandas de biomassa no estado e suas projeções futuras. Com esta base, foram construídos cenários tendenciais e cenários alternativos de ofertas estaduais 100% sustentáveis.

O conhecimento das demandas e ofertas atuais e potenciais de biomassa é básico para planejar o uso da

terra e da energia, bem como, de uma forma geral, para desenhar políticas de desenvolvimento sustentável que façam frente aos desafios colocados pela necessidade de obter energia limpa, acessível e renovável e também reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

O Brasil faz parte da Convenção das Nações Unidas para Combate às Mudanças Climáticas. Na 21ª Conferência das Partes em Paris (COP21), o país informou sua Contribuição Nacional Pretendida, cuja meta geral é reduzir as emissões de GEE até o ano 2030 em 38% em relação ao nível do ano 2005. Para isso, se prevê desenvolver um conjunto de ações, políticas e normativas visando aumentar a parcela de bioenergéticos na matriz energética, incrementar a participação de biomassa, energia solar e eólica no setor elétrico, reduzir o desmatamento e minimizar as emissões do setor agropecuário.

Para todos estes fins, o uso de biomassa para energia é uma das alternativas mais promissoras no curto prazo, visto que:

- a biomassa é uma fonte de energia renovável, que já está disponível e que pode substituir combustíveis fósseis, gerando emissões muito baixas, em aplicações que requerem alta temperatura (geração de eletricidade, sinterização, fusão, calcinação, etc.);
- a biomassa é biodegradável e não gera resíduos contaminantes de alto risco;

- a biomassa está disponível em quase todos os lugares, minimizando a distância de transporte e reduzindo o custo monetário, o gasto de energia e as emissões por logística;
- o uso de biomassa para energia promove a criação de cadeias de valor locais, gera muitos empregos e alavanca o desenvolvimento regional;
- a sua comercialização transfere renda das indústrias e dos consumidores urbanos para o campo e os produtores rurais.

Este livro pretende responder a um amplo conjunto de questões. As principais se referem à quantidade e localização das demandas de biomassa; as tendências e perspectivas futuras dessas demandas; as fontes atuais e potenciais de biomassa sustentável; as emissões de carbono originadas no seu uso e as possibilidades de assegurar o fornecimento legal e sustentável com mínimas emissões de CO₂ e sem mudanças de uso das terras.

02



OFERTA DE BIOMASSAS

Uma informação crucial para avaliar a capacidade de contribuição de biomassa na matriz energética de uma região ou estado é a disponibilidade atual e potencial das suas diversas fontes (Tabela 1).

Algumas fontes já vêm sendo utilizadas historicamente, enquanto outras se apresentam como potenciais porque ainda não têm cadeias de produção ou tecnologias de uso final suficientemente desenvolvidas, ou porque os preços e as disponibilidades das fontes tradicionais não induziram a busca por novas fontes.

Tabela 1. As fontes de biomassa em Sergipe.

	FONTES TRADICIONAIS	FONTES NOVAS
Florestais	Caatinga	Caatinga com PMFS
	Eucalipto	Algarobais espontâneos Bambu
Não florestais	Frutíferas diversas	Coqueiros Cana-de-açúcar (palha)

As ofertas foram estimadas a partir das áreas e produtividades médias de cada fonte, afetadas por três fatores:

- a. fator de acesso (FA) - a fração da área que pode ser atingida pela colheita;
- b. fator de colheita sustentável (FC) - a razão entre a biomassa efetivamente colhida e a existente;
- c. fator de uso energético (FUE) - a fração da biomassa colhida que é utilizada para obter energia.

$$\text{Oferta} = \text{Área (ha)} \times \text{Produtividade (t MS ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}) \times \text{FA} \times \text{FC} \times \text{FUE}$$

Uma mesma fonte pode ter uma oferta potencial alta (se tem valores altos de área, produtividade, FA, FC e FUE) e uma oferta atual baixa, por limitações de legalidade, de tecnologia ou de mercado.

A unidade de medida adotada é a tonelada de Matéria Seca (t MS), que permite comparar as diferentes biomassas. As equivalências com outras unidades são apresentadas no Anexo 1.

2.1. Floresta nativa

A biomassa de florestas nativas pode ser obtida de forma legal ou ilegal, ou seja, com ou sem autorização do órgão competente. Independente disso, pode ser obtida de forma sustentável, através de sistemas de manejo sustentável (mantendo os estoques e produtividade) ou insustentável, através de desmatamento e mudança do uso da terra.

Apenas dois biomas ocorrem no Estado de Sergipe: Mata Atlântica e Caatinga, respectivamente representando 51 e 49 % do seu território (Figura 1). Devido às restrições de uso no bioma Mata Atlântica, apenas o bioma Caatinga pode oferecer potencialmente biomassa.



Figura 1. Distribuição dos biomas no estado de Sergipe.

Existem três estimativas da cobertura florestal nativa no estado:

1. “Política Florestal do Estado de Sergipe”, realizada pela SEMARH - 2010;
2. Mapbiomas com uma primeira aproximação em 2015 - Coleção 1 (2008 – 2015), foi atualizado e melhorado na Coleção 2 (abril, 2017);
3. Monitoramento do desmatamento no bioma Caatinga pelo MMA/IBAMA – 2008, 2009, 2010 e 2011.



Existe bastante discrepância entre essas diferentes estimativas de cobertura florestal na Caatinga (variando entre 83 e 300 mil ha), que são fruto de metodologias e sensores distintos, aliadas à variação das assinaturas espectrais da vegetação do semiárido ao longo das estações e dos anos.

Nos resultados do Mapbiomas, observa-se pouca redução da área de "Florestas" no período 2000 – 2016. Também o monitoramento de desmatamento do bioma Caatinga (MMA/IBAMA) apresenta taxas muito baixas. Logo, a estimativa de área de vegetação nativa de Caatinga do Mapbiomas, de 222 mil hectares no ano de 2016, é considerada razoável e foi adotada para calcular seu potencial de produção de biomassa.

Até 2016, o estado de Sergipe não tinha nenhum Plano de Manejo Florestal Sustentável e, portanto, não havia e não há nenhuma oferta de biomassa nativa de fontes sustentáveis legalizadas.

A oferta de biomassa foi estimada a partir da área do Mapbiomas de 2016 e a produtividade média observada por Pareyn *et al.* (2015) conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Oferta disponível de biomassa da vegetação nativa em Sergipe.

Área 10 ³ ha	Produtividade t MS ha ⁻¹ ano ⁻¹	Oferta potencial 10 ³ t MS ano ⁻¹	Fator de acesso
222	2,55	566,1	0,62
Fator de colheita	Fator de uso energético	Oferta disponível total 10 ³ t MS ano ⁻¹	Oferta disponível para energia 10 ³ t MS ano ⁻¹
0,75	0,9	263,2	236,9

2.2. Reflorestamento

As áreas de reflorestamento com importância significativa no estado são implantadas com *Eucalyptus* spp.

Existem em torno de 3.129 ha, em 19 municípios. O município de Itaporanga d'Ajuda tem 1.200 ha de plantios de eucalipto (Figura 2).

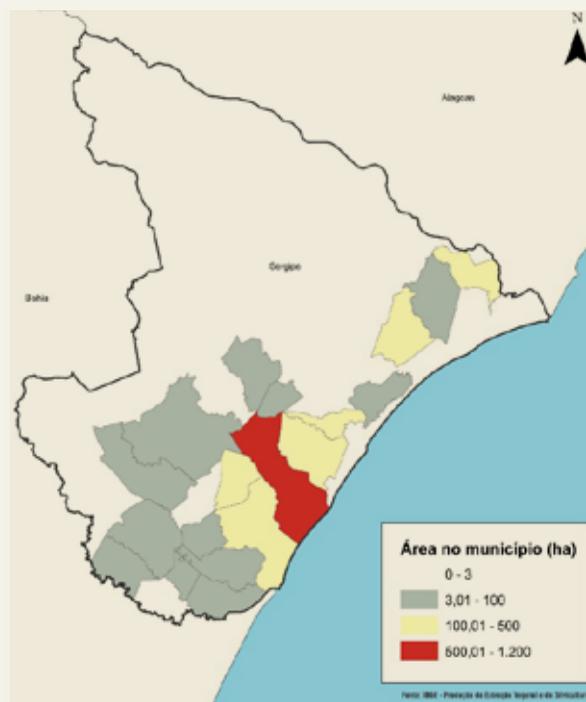


Figura 2. Áreas com reflorestamento de eucalipto em Sergipe.

Para estimar a produção de biomassa, consideramos um valor de IMA de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com densidade de madeira com casca de $0,54 \text{ t MS m}^{-3}$ e destino de 90% para energia (Tabela 3).

Tabela 3. Oferta disponível de biomassa a partir do reflorestamento com eucalipto.

Área 10^3 ha	Produtividade $\text{t MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Fator de acesso	Fator de colheita
3,129	18,9	1,00	0,95
Fator de uso energético	Oferta disponível total $10^3 \text{ t MS ano}^{-1}$	Oferta disponível para energia $10^3 \text{ t MS ano}^{-1}$	
0,90	56,2	50,6	

2.3. Algarobais espontâneos

As áreas de algarobais espontâneos no estado de Sergipe foram mapeadas seguindo a metodologia de Riegelhaupt *et al.* (2014). A produtividade média nos algarobais explorados é de $4,3 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (APNE, 2016). Foram encontrados 1.137 ha de algarobais espontâneos no estado (Figura 3). A estimativa da oferta disponível de biomassa desta fonte é apresentada na Tabela 4.

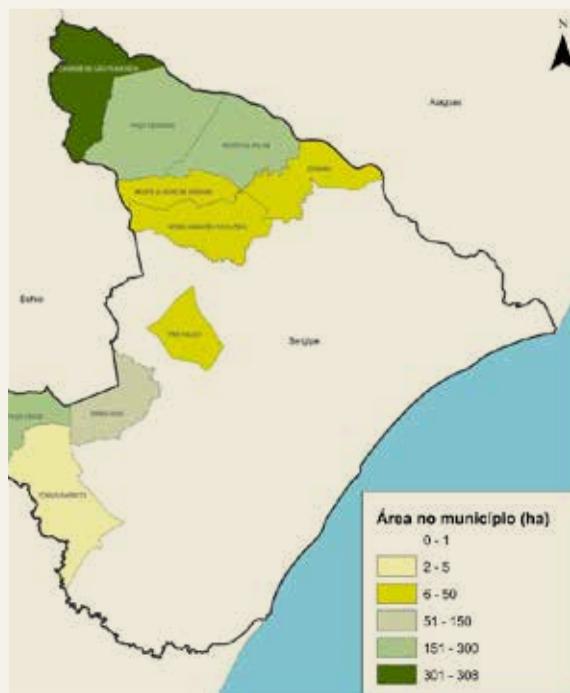


Figura 3. Distribuição da ocorrência dos algarobais espontâneos em Sergipe.

Tabela 4. Oferta disponível de biomassa de povoamentos espontâneos de algaroba.

Área ha	Produção $\text{t MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Fator de acesso	Fator de colheita
1.137	4,32	0,67	1
Fator de uso energético	Oferta disponível total $10^3 \text{ t MS ano}^{-1}$	Oferta disponível para energia $10^3 \text{ t MS ano}^{-1}$	
0,87	3,29	2,86	



2.4. Frutíferas diversas

No estado de Sergipe existem 55,1 mil ha cultivados com frutíferas diversas (principalmente laranja) em 36 municípios (Figura 4).

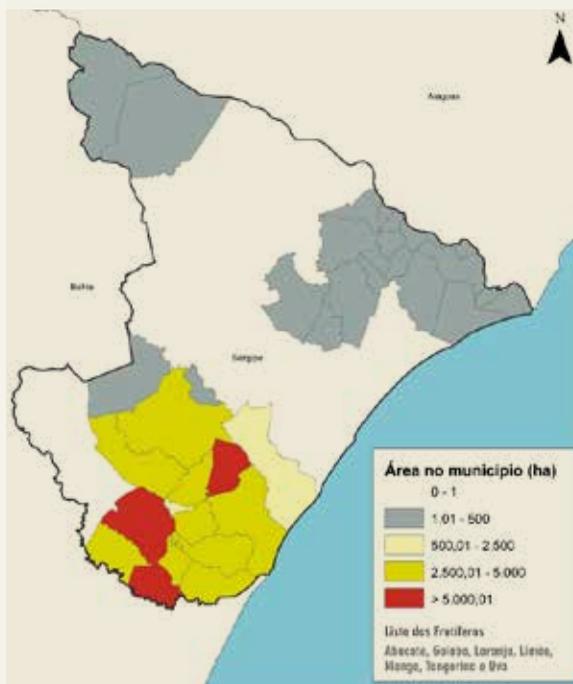


Figura 4. Ocorrência de frutíferas diversas em Sergipe (2014).

Esses plantios recebem podas de condução e no final da vida útil podem ser replantados ou substituídos por outro uso da terra. Em ambos os casos se gera biomassa de uso energético.

A Tabela 5 apresenta as estimativas de oferta de biomassa desta fonte.

Tabela 5. Oferta disponível de biomassa de poda e substituição de “frutíferas diversas”.

Área 10 ³ ha	Estoque t MS ha ⁻¹	Produtividade t MS ha ⁻¹ ano ⁻¹	Fator de acesso
55,1	sd	1,25	1,00
Fator de colheita	Fator de uso energético	Oferta disponível total 10 ³ t MS ano ⁻¹	Oferta disponível para energia 10 ³ t MS ano ⁻¹
0,90	1,00	62,0	62,0

A Figura 5 apresenta a dinâmica da área de “frutíferas diversas” desde 1994. A área plantada poderia atingir em torno de 75 mil ha em 2030, caso a tendência se mantenha.

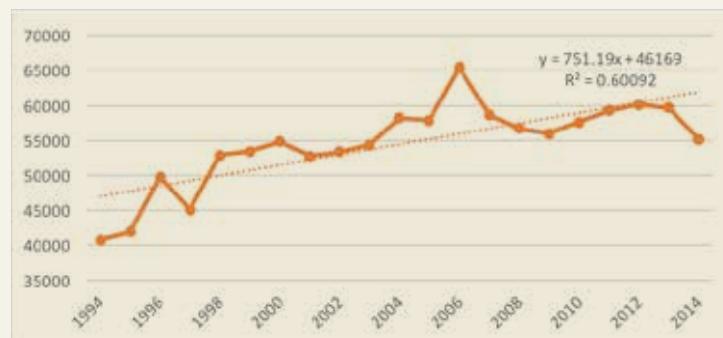


Figura 5. Dinâmica da área de “frutíferas diversas” entre 1994 e 2014.

2.5. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar fornece duas biomassas combustíveis: o bagaço e as pontas e folhas (“palha”).

O bagaço já foi utilizado como fonte energética por vários setores industriais no passado, mas não é economicamente acessível como energético na atualidade, pela alta demanda das próprias usinas para cogeração de eletricidade e pelo alto preço pago pelo bagaço para forragem.

A palha de cana disponível nas áreas de colheita mecanizada é uma fonte potencial de biomassa, com tendência de aumentar no futuro devido à crescente mecanização esperada. Uma amostra representativa de usinas no NE estima o grau atual de mecanização da colheita em 17% do total.

A área colhida de cana-de-açúcar no estado em 2014 foi de quase 49 mil ha (Figura 6.) Para estimar a oferta potencial de biomassa de palha, assume-se um grau de mecanização de 17% (Fator de acesso = 0,17), que 70% da palha residual fosse colhida (Fator de colheita = 0,70) e que toda a palha colhida teria uso energético (Fator de uso energético = 1,00) (Tabela 6).

Tabela 6. Oferta disponível de biomassa de palha de cana-de-açúcar em Sergipe (2014).

Área 10 ³ ha	Cana colhida t ha ⁻¹	Produção (pontas e folhas) t MS t cana ⁻¹ ano ⁻¹	Fator de acesso
48,8	62,0	0,14	0,17
Fator de colheita	Fator de uso energético	Oferta disponível total 10 ³ t MS ano ⁻¹	Oferta disponível para energia 10 ³ t MS ano ⁻¹
0,70	1,00	50,4	50,4

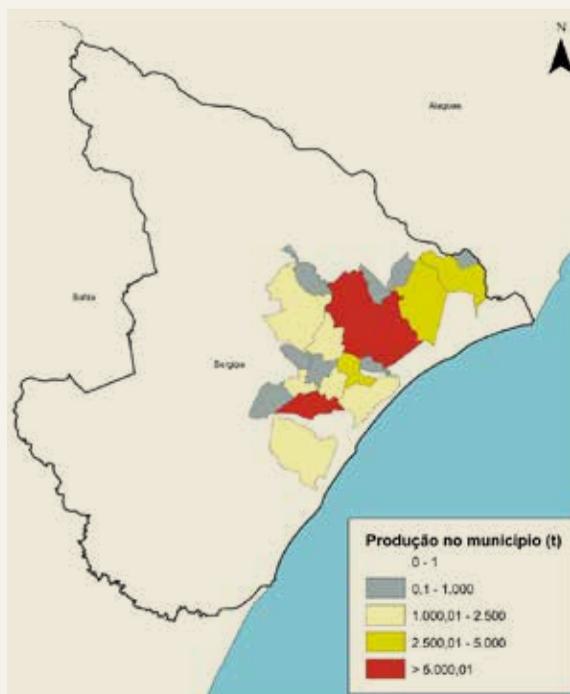


Figura 6. Ocorrência de cana-de-açúcar em Sergipe (2014).

A dinâmica da área colhida e da colheita de cana ao longo do período 1994 - 2014 demonstra uma redução entre 1994 e 2002, seguida por aumento acentuado até 2010 e estagnação desde 2011. Também se observa pouca dinâmica do rendimento com média de 62,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ no estado.

2.6. Coqueiro

Os resíduos dos plantios de coco-da-bahia (*Cocos nucifera* L.) (buchas, folhas maduras, pedúnculos e espatas), são uma fonte potencial de biomassa para energia até o momento não aproveitados.



Os 37,5 mil hectares de coqueiro são dispersos em 44 municípios de Sergipe (Figura 7). Nos dados históricos, observa-se um declínio da área plantada de 50 mil ha (1994) para 37,5 mil ha em 2014.

Uma estimativa da oferta potencial de biomassa de resíduos de plantios de coco a partir de uma produção média de 6 mil cocos por hectare e os correspondentes resíduos¹ é apresentada na Tabela 7.

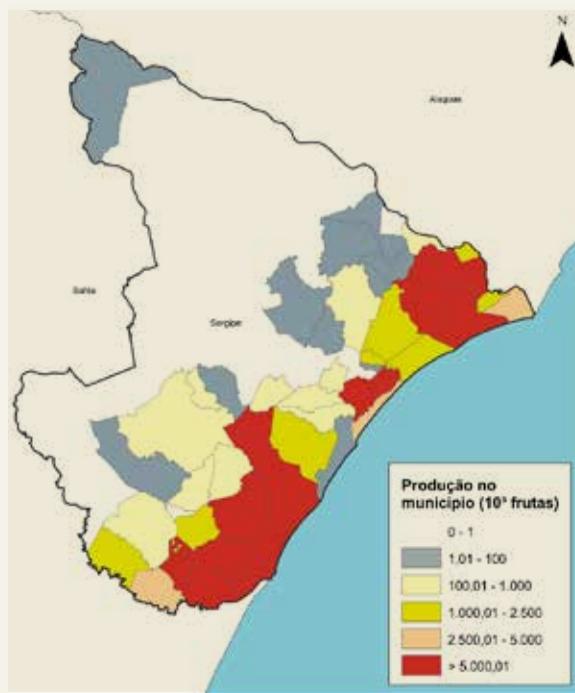


Figura 7. Ocorrência de plantios de coqueiro em Sergipe (2014).

1 Peso médio de uma bucha = 0,509 kg MS; 1,44 t MS de folhas por ha e por ano; 0,6 t MS de espatas e pedúnculos por ha e por ano; densidade média de 100 pés por ha.

Tabela 7. Oferta disponível de biomassa de resíduos de coqueiro (2014).

Peça	Área 10 ³ ha	Produtividade t MS ha ⁻¹ ano ⁻¹	Fator de acesso	Fator de colheita
Casca	37,5	3,05	0,46*	0,8
Folha	37,5	1,44	1	0,5
Espata + pedúnculo	37,5	0,6	1	0,5
Total	37,5			
Peça	Fator de uso energético	Oferta disponível total 10 ³ t MS ano ⁻¹	Oferta disponível para energia 10 ³ t MS ano ⁻¹	
Casca	0,8	42,1	33,7	
Folha	1	27,0	27,0	
Espata + pedúnculo	1	11,2	11,2	
Total		80,3	71,9	

* considera somente os cocos das variedades Gigante e Híbrido com 46% do total produzido. As cascas da variedade Anão, consumidos como coco verde, são canalizados para lixo urbano.

2.7. Resumo das ofertas de biomassa em Sergipe

A Tabela 8 apresenta o conjunto de ofertas potenciais e atuais de biomassa em Sergipe e a Figura 8 a disponibilidade de biomassa total energética por município.

Tabela 8. Resumo das ofertas de biomassa disponível em Sergipe.

Tipo	Fonte de biomassa	Biomassa total disponível	Biomassa energética	Biomassa não energética
		10 ³ t MS/a	10 ³ t MS/a	10 ³ t MS/a
Atual	Eucalipto	56,2	50,6	5,6
	Floresta nativa - PMFS	0,0	0,0	0,0
	Algarobais espontâneos	3,3	2,9	0,4
	Frutíferas diversas	62,0	62,0	0,0
	Subtotal	121,5	115,5	6,0
Potencial	Floresta nativa - Caatinga	263,2	236,9	26,3
	Cana-de-açúcar	50,4	50,4	0,0
	Coqueiro	80,3	71,9	8,4
	Subtotal	393,9	359,2	34,7
	Total	515,4	474,7	40,7

Apenas duas fontes são responsáveis por quase toda a oferta de biomassa atual: os plantios de eucalipto e as frutíferas diversas, que somam 98 % da oferta atual. Os algarobais espontâneos são muito pouco expressivos e oferecem uma contribuição reduzida de biomassa. Saliente-se que nenhuma destas três fontes é nativa.

As fontes potenciais: floresta nativa manejada, cana-de-açúcar e coqueiro, podem triplicar a oferta de biomassa e encontram-se muito próximo aos consumidores. Contudo, para todas elas, faz-se necessário desenvolver a cadeia produtiva e, no caso da cana e do coqueiro, ajustar as tecnologias de uso final.

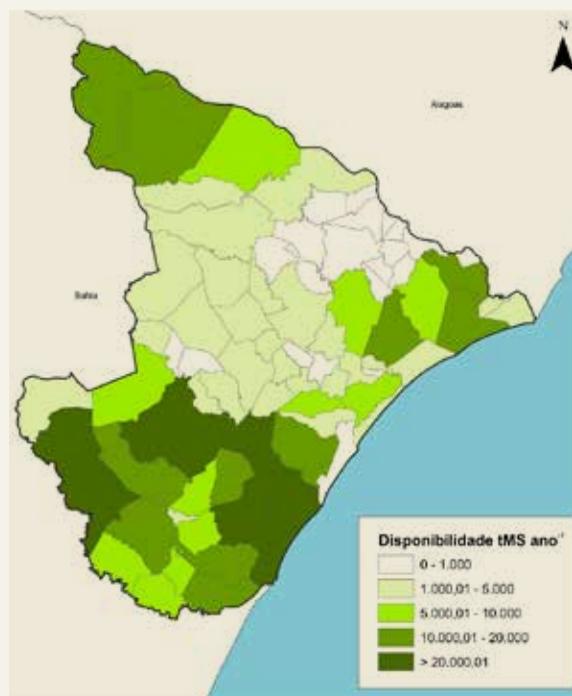


Figura 8. Mapa de disponibilidade total de biomassa energética em Sergipe (2015).

03



DEMANDA DE BIOMASSA

A demanda de biomassa foi dividida em dois tipos: a) energética e b) não-energética. A demanda energética foi subdividida em três setores consumidores:

1. Domiciliar
2. Industrial
3. Comercial

A estimativa das demandas foi realizada considerando levantamentos anteriores (Projeto PNUD/FAO, SEMARH) e informações secundárias (IBGE, cadastro da FIES). Também foram realizados levantamentos de campo para qualificar a informação dos setores ou ramos mais importantes.

3.1. Demanda não-energética

Há diversas demandas não-energéticas por biomassa no estado e apenas a demanda de madeira para cercas será considerada na presente análise por ser a única de importância significativa.

A necessidade de madeira para construção e manutenção de cercas no estado foi estimada com base em informações secundárias (número e classes de área

dos estabelecimentos – IBGE) e uma série de critérios próprios para calcular o número e a biomassa de estacas e mourões (apenas um lado de cada estabelecimento, uma peça a cada dois metros, vida útil das peças de 17,5 anos, 25% de acréscimo para cercas internas, adicional para currais, biomassa média de 0,020 t MS por estaca e de 0,055 t MS por mourão).

A Tabela 9 apresenta a estimativa da demanda de madeira para reposição anual de cercas.

Tabela 9. Consumo de madeira para cercas em Sergipe.

Unidade de medida	10 ³ peças		10 ³ st ano ⁻¹			10 ³ t MS ano ⁻¹		
	Existentes	Reposição por ano	Estacas	Mourões	Total	Estacas	Mourões	Total
Peças								
Em cercas perimetrais	12.226	699	59,60	18,40	78,00	12,52	3,86	16,38
Em cercas internas (25% adicional)	3.056	175	14,90	4,60	19,50	3,13	0,97	4,09
Em currais	945	54	3,84	3,56	7,40	0,81	0,75	1,55
Total			78,34	26,55	104,89	16,45	5,58	22,03

3.2. Demanda domiciliar

O setor domiciliar consta dos domicílios de áreas urbanas e rurais, que consomem energia de distintas fontes e para atender necessidades diversas:

- Eletricidade para iluminação, força motriz e aquecimento de água;
- Gás Liquefeito de Petróleo (GLP ou propano-bu-

tano) para cozinhar e esquentar água;

- Gás natural (metano) para cozinhar e esquentar água;
- Carvão Vegetal para cozinhar e esquentar água;
- Lenha para cozinhar e esquentar água.

Os impactos ambientais de uso da biomassa para energia são muito diferentes, dependendo:



- da condição da biomassa (viva ou morta)
- da forma de obtenção (por corte ou por catação)
- do uso atual do solo onde é obtida (florestas manejadas; áreas já antropizadas como roçados, pastos, beiras de estrada, quintais; áreas sendo desmatadas; etc.)

A estimativa do consumo domiciliar de energia em Sergipe se baseou na amostragem realizada para o NE (RIEGELHAUPT *et al.*, 2017). Encontrou-se que o consumo médio domiciliar de energia primária no subsetor Pequeno Urbano é significativamente maior que no Grande Urbano, e que no subsetor rural é cinco vezes maior que nas grandes cidades. No subsetor Pequeno Urbano não existem diferenças significativas entre sub-regiões (litoral, agreste e sertão). No subsetor rural, o agreste apresenta consumo maior que o sertão e este maior que o Litoral.

No que diz respeito à participação de cada fonte vale salientar que:

1. O uso de GLP é bastante similar entre subsetores e sub-regiões: até no subsetor Rural no Sertão, o consumo de GLP por domicílio é praticamente igual ao subsetor Grande Urbano do Litoral. O GLP, em média, fornece 42% da energia primária usada nos domicílios.
2. O consumo de carvão aumenta marcadamente desde o litoral Urbano para o sertão rural, (passando de 5% para 20% da energia primária utilizada) com uma média geral de 9%.
3. O uso de lenha é muito pequeno nas áreas urbanas (menor que 8%) e muito grande no subsetor rural das três sub-regiões (com 66%, 74% e 67% da energia primária consumida).

É interessante notar que o maior uso médio de lenha nos domicílios rurais não é acompanhado por menor uso médio de GLP. Provavelmente, isto se deve à alta saturação com GLP (98%) e baixa saturação com lenha (43%). Aliás, o uso exclusivo de lenha ou carvão vegetal é extremamente raro (2%). De fato, lenha e carvão são sempre usados em combinação com GLP (Tabela 10).

Tabela 10. Saturação com combustíveis na amostra de domicílios, por subsetor.

	GE	GLP	GLP+CV	GLP+ LE	GLP+CV+LE	CV	CV+LE	LE	Total
GU	4%	80%	16%	1%	0%	0%	0%	0%	100%
PU	0%	64%	32%	3%	1%	0%	0%	0%	100%
RU	0%	30%	25%	34%	8%	1%	0%	1%	100%
Total	0%	50%	28%	17%	4%	0%	0%	1%	100%

A estimativa final do consumo total de energéticos no setor domiciliar de Sergipe – excluía a eletricidade – é apresentada na Tabela 11. É evidente a grande importância do GLP que contribui com cerca de 50% da energia primária, enquanto que o carvão vegetal representa 9% e a Lenha 41%.

Tabela 11. Consumo domiciliar de energéticos por subsetor e por região, 2015.

Sub-região	Subsetor	Gás encanado		GLP		Carvão vegetal		Lenha		Total	
		tep ano ⁻¹	%	tep ano ⁻¹	%	tep ano ⁻¹	%	tep ano ⁻¹	%	tep ano ⁻¹	%
Litoral	GU	182	0%	19.686	91%	1.641	8%	182	1%	21.691	13%
Litoral	PU	-	0%	26.513	80%	3.837	12%	2.791	8%	33.141	20%
Litoral	RU	-	0%	9.920	28%	2.070	6%	23.694	66%	35.684	21%
Agreste	PU	-	0%	11.290	78%	2.241	15%	913	7%	14.444	9%
Agreste	RU	-	0%	7.756	20%	2.026	5%	28.302	74%	38.084	23%
Sertão	PU	-	0%	4.605	76%	1.204	20%	283	5%	6.092	4%
Sertão	RU	-	0%	3.557	20%	2.522	14%	12.190	67%	18.269	11%
Total		182	0%	83.327	50%	15.541	9%	68.355	41%	167.405	100%

Obs: não inclui o consumo de eletricidade

O subsetor Rural, ainda que represente apenas 25% dos domicílios, é responsável por 55% do consumo total de energia primária, uma vez que consome 92.037 tep ano⁻¹ em um total de 167.405 tep ano⁻¹. Isto é devido ao uso de lenha e carvão vegetal nestes domicílios.

A Tabela 12 apresenta os resultados correspondentes a biomassa. O consumo total de lenha e carvão vege-

tal no estado é de 234 10³ t MS ano⁻¹; ou 1,046 10⁶ de st ano⁻¹. O consumo médio anual é 1,6 st ano⁻¹ dom⁻¹ ou 0,47 st hab⁻¹ ano⁻¹ (10⁵ kg MS hab⁻¹ ano⁻¹ ou 0,3 kg hab⁻¹ dia⁻¹). Estes valores são muito menores que os encontrados entre usuários exclusivos de lenha (tipicamente, de 1 a 2 kg MS hab⁻¹ dia⁻¹ ou 0,4 a 0,8 t MS hab⁻¹ ano⁻¹).



Tabela 12. Consumo de biomassa florestal nos domicílios de Sergipe, 2015.

Sub-região	Subsetor	Carvão vegetal	Lenha	Carvão vegetal	Carvão vegetal	Lenha	Total de lenha	
		tep ano ⁻¹	tep ano ⁻¹	t MS ano ⁻¹	t MS de lenha ano ⁻¹	t MS de lenha ano ⁻¹	t MS ano ⁻¹	st ano ⁻¹
Litoral	GU	1.641	182	2.604	7.812	428	8.240	36.786
Litoral	PU	3.837	2.791	6.091	18.273	6.551	24.824	110.823
Litoral	RU	2.070	23.694	3.285	9.855	55.619	65.474	292.294
Agreste	PU	2.241	913	3.558	10.673	2.144	12.817	57.219
Agreste	RU	2.026	28.302	3.215	9.646	66.437	76.084	339.660
Sertão	PU	1.204	283	1.912	5.735	665	6.400	28.573
Sertão	RU	2.522	12.190	4.003	12.010	28.616	40.626	181.365
Total		15.541	68.355	24.669	74.006	160.460	234.465	1.046.719

A biomassa consumida pode ser classificada segundo a sua forma de obtenção em três grupos:

- Comprada: assume-se que foi cortada nas matas, de árvores vivas;
- Cortada viva: cortada de árvores vivas, nas matas ou em áreas antropizadas;
- Coletada morta: obtida por catação de material morto (galhos, ramos, tocos) que não fazia parte de árvores vivas, em matas ou em áreas antropizadas.

A grande maioria da biomassa consumida nos domicílios urbanos, em cidades grandes ou pequenas, é

obtida por corte de árvores vivas. Ao contrário, nos domicílios rurais, somente um terço é obtido por corte e dois terços por catação de madeira morta (Tabela 13). No total do consumo do estado, a biomassa morta representa 54%. O uso de lenha morta não gera emissões de CO₂ nem mudança do uso da terra e obviamente não causa desmatamento (ao contrário, evita o desmatamento).

Por outro lado, para fabricar o carvão vegetal consumido nos domicílios corta-se lenha de árvores vivas (97% dos casos no levantamento), o que pode causar impactos nos estoques de C orgânico da vegetação florestal e também gerar mudanças do uso da terra.

Tabela 13. Formas de obtenção da biomassa consumida nos domicílios de Sergipe (t MS ano⁻¹).

Subsetor	Viva da mata	Viva de área antropizada	Morta da mata	Morta de área antropizada	Total
Grande Urbano	8.240				8.240
Pequeno Urbano	36.218	378	2.602	4.843	44.041
Rural	59.286	2.963	87.905	32.029	182.183
Total	103.745	3.341	90.507	36.872	234.464
	107.086 (46%)		127.379 (54%)		22,03

3.3. Demanda industrial

O único levantamento prévio sobre a demanda industrial de biomassa no estado foi realizado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH, 2010) e se restringiu aos energéticos florestais. A Tabela 14 resume os resultados obtidos.

Tabela 14. Consumo de energéticos florestais nas indústrias de Sergipe.

Ramo	st ano ⁻¹	10 ³ t MS ano ⁻¹	
Cerâmica	444.084	93,3	51%
Padaria	151.822	31,9	17%
Mandioca	123.902	26,0	14%
Tecidos	43.090	9,0	5%
Sucos	36.594	7,7	4%
Comercial (churrascarias e pizzarias)	35.813	7,5	4%
Olaria	13.467	2,8	2%
Leite	6.251	1,3	1%
Matadouro	5.976	1,3	1%
Queijeira	4.866	1,0	1%
Pneus	2.160	0,5	0%
Total	868.025	182,3	100%

Fonte: SEMARH, 2010, adaptado.





O diagrama de Pareto (Figura 9) mostra que dos 12 ramos industriais, apenas três (cerâmica, padaria e mandioca) concentravam mais de 80% do consumo. Tecidos, indústria de suco e comercial já eram pouco significativos e os demais tinham consumo insignificante.

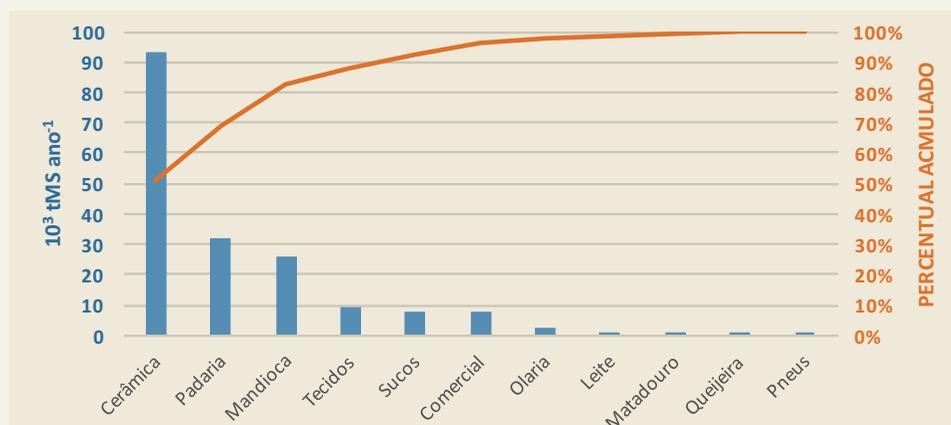


Figura 9. Diagrama de Pareto do consumo industrial e comercial de biomassa em Sergipe (2010).

Em 2016, após seis anos, já ocorreram mudanças importantes no setor industrial. Por decisão governamental, o consumo de lenha nas padarias foi proibido e hoje esse ramo não utiliza mais biomassa florestal. Os ramos têxtil, sucros e laticínios tem uma demanda maior. Em função desta realidade, o estudo foi orientado para os ramos cerâmica vermelha, beneficiamento de mandioca, têxtil, sucros e laticínios.

3.3.1. Ramo de cerâmica vermelha

O ramo de cerâmica vermelha está integrado por um número grande de estabelecimentos. No cadastro da FIES (2012) constavam 125 unidades, porém, no levantamento de campo da APNE em 2017 foram encontradas 99 cerâmicas ativas.

A tecnologia dominante é de fornos Hoffman (contínuos) utilizados para produzir tijolos de 6 e 8 furos e lajotas. Alguns estabelecimentos produzem telhas com fornos "Paulistinha" (intermitentes) que são de menor capacidade produtiva e maior consumo específico de biomassa (Tabela 15).

Tabela 15. Fornos na amostra de estabelecimentos cerâmicos de Sergipe, 2017.

Tipo de Forno	Quantidade	Na amostra
Hoffman	22	88%
Paulistinha	3	12%
Túnel	2	8%
Móvel	1	4%
Total cerâmicas na amostra*	25	100%

* Algumas cerâmicas têm mais de um forno.

O consumo específico é bastante diferente segundo a tecnologia: nos 22 casos de fornos Hoffman, a média foi 0,161 t MS por cada mil peças, ou 0,75 st por milheiro. Em dois casos de fornos “Paulistinha” foram informados 0,480 e 0,675 t MS por cada mil peças, ou 2 a 3 st por milheiro.

A biomassa mais utilizada é lenha de eucalipto, seguida de bambu, algaroba, costaneiras de eucalipto e laranjeira. Eucalipto, algaroba e laranjeira têm preços similares, em torno de R\$ 200,00 por t MS; bambu e laranjeira têm preços menores, ao redor de R\$ 150,00 por t MS (Tabela 16).

Tabela 16. Tipos de biomassa utilizada no ramo cerâmica vermelha de Sergipe (2017).

		Eucalipto	Bambu	Algaroba	Costaneira	Laranjeira
Número de casos		15	7	6	6	3
Participação	Na amostra	41%	19%	16%	16%	8%
Preço Médio	R\$ st ⁻¹	69,30	29,70	60,00	49,50	35,70
Peso	t MS st ⁻¹	0,303	0,200	0,287	0,250	0,250
Preço Médio	R\$ t MS ⁻¹	229,00	149,00	209,00	198,00	143,00

O consumo anual de biomassa no ramo foi estimado por estratos (grandes, médios e pequenos) totalizando 168.593 t MS por ano, equivalentes a 787 10³ st de lenha de caatinga ou 535 10³ st de eucalipto (Tabela 17).



Tabela 17. Consumo de biomassa no ramo cerâmica vermelha em Sergipe (2017).

Com fornos HOFFMAN	Nº	Produção média 10 ⁶ peças ano ⁻¹	Consumo Específico t MS por milheiro	Consumo de biomassa t MS ano ⁻¹
Grandes	54	16,2	0,149	130.559
Médios	27	6,4	0,151	26.125
Pequenos	9	2,0	0,263	4.820
Com fornos Paulistinhas	7	2,0	0,500	7.000
Total do ramo				168.503





3.3.2. Ramo de beneficiamento de mandioca

O beneficiamento da mandioca é uma importante atividade industrial e artesanal em Sergipe, que faz parte da cadeia de valor do cultivo da mandioca. Dos 14 polos produtores de mandioca do NE, o polo do agreste de Sergipe é um dos principais, com reconhecimento regional. Suas tendências de área cultivada e produção foram bastante estáveis nos últimos 15 anos (Figura 10).

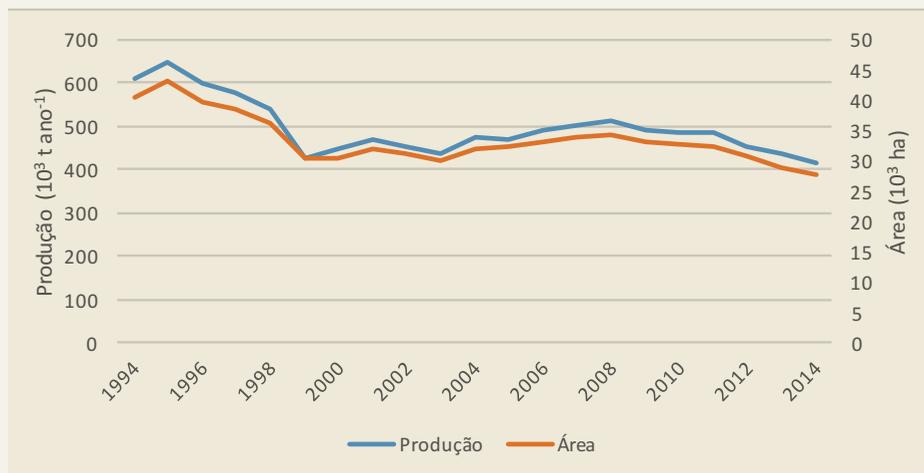
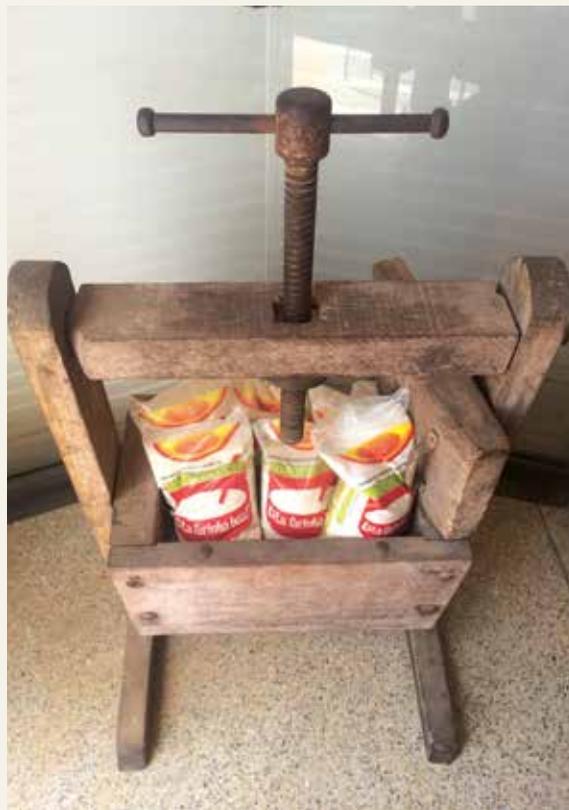


Figura 10. Dinâmica da área e da produção de mandioca entre 1994 e 2014.

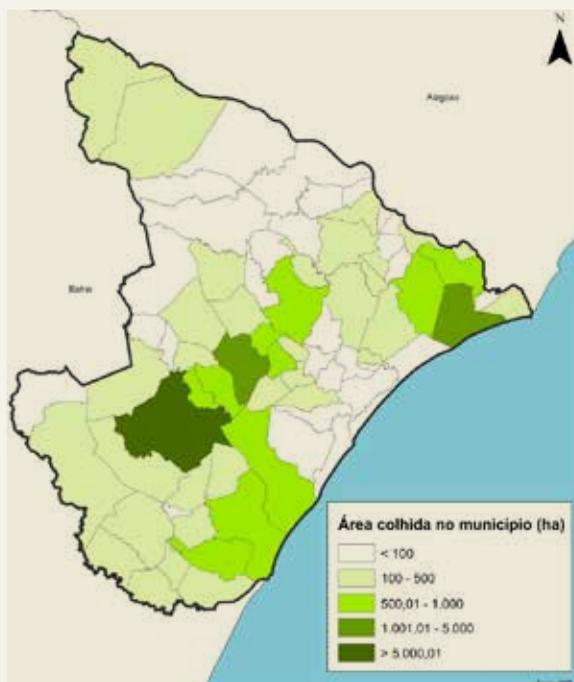


Figura 11. Área colhida de mandioca em Sergipe.

No levantamento de campo foram visitados 17 estabelecimentos em Lagarto, São Domingos e Campo de Brito, encontrando um consumo específico médio de 0,57 st de lenha por tonelada de mandioca, similar à média do NE (0,54 st t⁻¹), equivalente a 0,119 t MS por tonelada de raízes. As origens da biomassa foram:

- ☛ Nativa (cortada): 33%
- ☛ Nativa (coletada): 8%
- ☛ Frutíferas: 38%
- ☛ Pallets: 13%
- ☛ Algaroba: 8%

O consumo total de biomassa no ramo em 2014 foi de 49,2 10³ t MS ano⁻¹, ou 234 10³ st ano⁻¹. A média de produção de 1994–2014, é de 58,5 10³ t MS ano⁻¹, equivalente a 279 10³ st de lenha por ano (Tabela 18).

Tabela 18. Produção e processamento de mandioca e consumo de biomassa em Sergipe.

Período	Produção t ano ⁻¹	Destino para farinha t ano ⁻¹	Consumo biomassa t MS ano ⁻¹
2014	415.910	413.830	49.246
1994-2014	494.081	491.611	58.502

3.3.3. Ramo têxtil

Foram identificados quatro estabelecimentos neste ramo, porém, somente dois deles utilizam lenha nas caldeiras. O consumo estimado é de quase 14 mil t MS por ano e praticamente toda a biomassa é originada em plantios de eucalipto próprios das empresas consumidoras (Tabela 19).

Tabela 19. Estabelecimentos e consumo de energéticos no ramo têxtil de Sergipe, 2017.

Município	Energético	Origem	Consumo t MS ano ⁻¹
Neópolis	Eucalipto (+ podas)	SE	3.600
Estância	Eucalipto	SE + BA	10.368
São Cristóvão	Gás Natural	n.a.	n.a.
Aracajú	Gás Natural	n.a.	n.a.
Total			13.968

*n.a. = não amostrado



3.3.4. Ramo de laticínios

Existem cinco estabelecimentos que consomem biomassa nas caldeiras (Tabela 20). O ramo consome 6.101 t MS por ano. As fontes principais são os algarobais espontâneos locais e os plantios de eucalipto da Bahia.

Tabela 20. Consumo de biomassa no ramo de laticínios em Sergipe, 2017.

Município	Biomassa que consome	Origem	Consumo t MS ano ⁻¹
Araúá	Jenipapo e jaqueira	Do próprio município	183
Nossa Senhora da Glória	Algaroba e eucalipto	Canindé, eucalipto da Bahia	3.375
Nossa Senhora da Glória	Algaroba e pó de serra; esporadicamente eucalipto	Da região; eucalipto da Bahia	1.697
Nossa Senhora da Glória	Algaroba	Canindé	423
Carira			423
Total			6.101

3.3.5. Ramo de sucos

Processa basicamente suco de laranja. Existem quatro estabelecimentos: dois utilizam gás natural e dois usam lenha de eucalipto nas caldeiras (8.180 t MS por ano) que vem de Sergipe e da Bahia.

3.3.6. Ramo sucroenergético

Este ramo é totalmente autossuficiente em termos de biomassa para energia. A lavoura de cana-de-açúcar fornece o suco para elaborar açúcar e etanol, e o bagaço para cogeração de calor e eletricidade nas usinas. Atualmente não entra como demandante no mercado de biomassa para energia e não aproveita o potencial da palha como energético. Por esses motivos não foi considerado no quadro das demandas.

3.4. Demanda comercial

A estimativa da demanda por biomassa do setor comercial é bastante difícil pela informalidade da maioria dos empreendimentos e consequente falta de cadastro. Além disso, existe uma alta diversidade de porte dos estabelecimentos e dispersão no padrão de consumo de energia (fonte energética, equipamento utilizado, quantidade consumida).

O levantamento da SEMARH (2010) estimou o consumo do setor comercial em 35,8 10³ st ano⁻¹ ou 3,71 kg MS capita⁻¹ ano⁻¹. Em outros estados do NE os valores encontrados foram de 0,65 a 7,92 kg MS capita⁻¹ ano⁻¹ para a população total (Projeto PNUD/FAO, APNE). Esses dados, muito heterogêneos, não consideram o consumo dos locais informais que vendem “comidas de rua”.

Neste estudo adotou-se um consumo encontrado em um país de cultura alimentar similar: México, com 5 kg de carvão vegetal capita⁻¹ ano⁻¹ ou 15 kg MS capita⁻¹ ano⁻¹. Assumiu-se que o consumo dos estabe-

lecimentos de comércio de alimentos é somente de carvão vegetal.

Para uma população de $2,2 \cdot 10^6$ habitantes, a demanda comercial é de $11 \cdot 10^6$ kg de carvão vegetal por ano; e considerando os fatores de conversão $1 \text{ kg carvão vegetal} = 3 \text{ kg MS}$; e $1 \text{ st de lenha} = 214 \text{ kg MS}$, isto equivale a $33 \cdot 10^3 \text{ t MS}$ de lenha por ano ou $154 \cdot 10^3$ estéreos por ano.

3.5. Resumo das demandas

A tabela 21 resume as demandas por biomassa no estado por setor e subsetor.

Tabela 21. Demanda de biomassa por setor e subsetor em Sergipe.

Setor	Subsetor/Ramo	Universo	Demanda $10^3 \text{ t MS ano}^{-1}$	
Domiciliar	Grande Urbano	182.282 domicílios	8,24	2%
	Pequeno Urbano	292.864 domicílios	44,04	8%
	Rural	161.578 domicílios	182,18	34%
	Total		234,46	44%
Não-energético	Cercas	98.361	22,03	
	Total		22,03	4%
Industrial	Cerâmica vermelha	99 estabelecimentos	168,5	32%
	Beneficiamento de mandioca	?	49,25	9%
	Têxtil	4 estabelecimentos	13,97	3%
	Laticínios	5 estabelecimentos	6,10	1%
	Sucos	2 estabelecimentos	8,18	2%
	Sucroenergético	n.a.*		
	Total		246,00	46%
Comercial	Total	?	33,00	6%
Total			535,49	100%

*n.a. = não amostrado





A demanda total de biomassa em Sergipe é estimada em 535,49 10^3 t MS ano⁻¹, equivalente a 2,5 10^6 st ano⁻¹. Com base nestes dados foi elaborado o diagrama de Pareto (Figura 12).

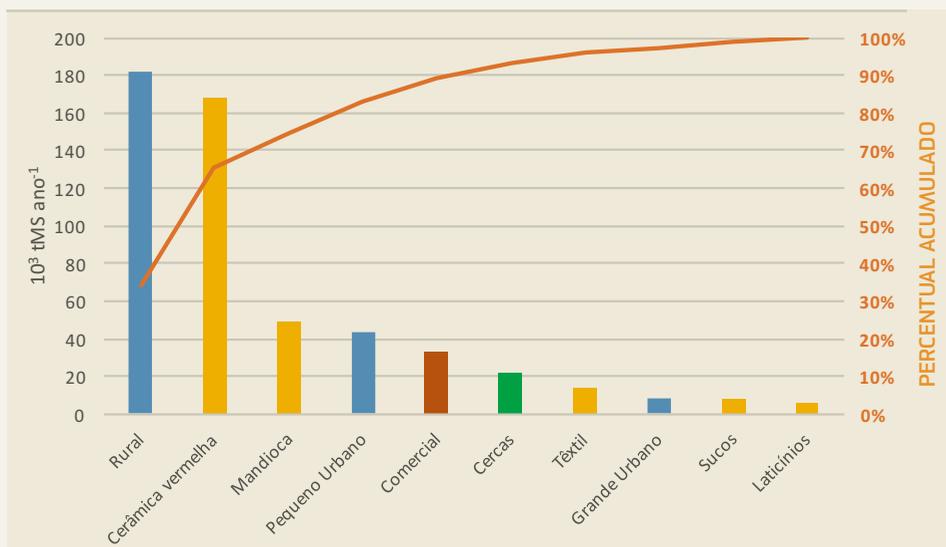


Figura 12. Diagrama de Pareto da demanda total de biomassa em Sergipe (2016).

Os consumos do setor domiciliar Rural e do ramo cerâmica vermelha somam 65% do total; incluindo o ramo Beneficiamento de mandioca, atinge-se 75% e adicionando o Pequeno Urbano chega-se em 83%. Os setores importantes são o Industrial (46%) e o Domiciliar (44%).

No setor industrial, dois ramos são preponderantes: cerâmica vermelha (32%) e beneficiamento de mandioca (9%), que estão concentrados em três polos: Itabaiana, Itabaianinha e Lagarto.



04



BALANÇO ATUAL DE OFERTAS E DEMANDAS

A Figura 13, à esquerda, apresenta os balanços de oferta atual e demanda total. Observa-se que há muitos municípios com déficit marcado no sertão e no litoral Norte do estado, devido à pouca oferta atual de biomassa. Somente no sul do estado há excedentes, devido às ofertas de frutíferas e eucalipto.

No lado direito da Figura 13 se apresenta o balanço considerando a oferta total (somatória das fontes atuais e potenciais). Neste caso o número de municípios deficitários é menor e aparecem mais municípios com excedentes de biomassa, tanto no sertão (pelo potencial da Caatinga), como no Litoral (pelos potenciais de cana-de-açúcar e coqueiro).

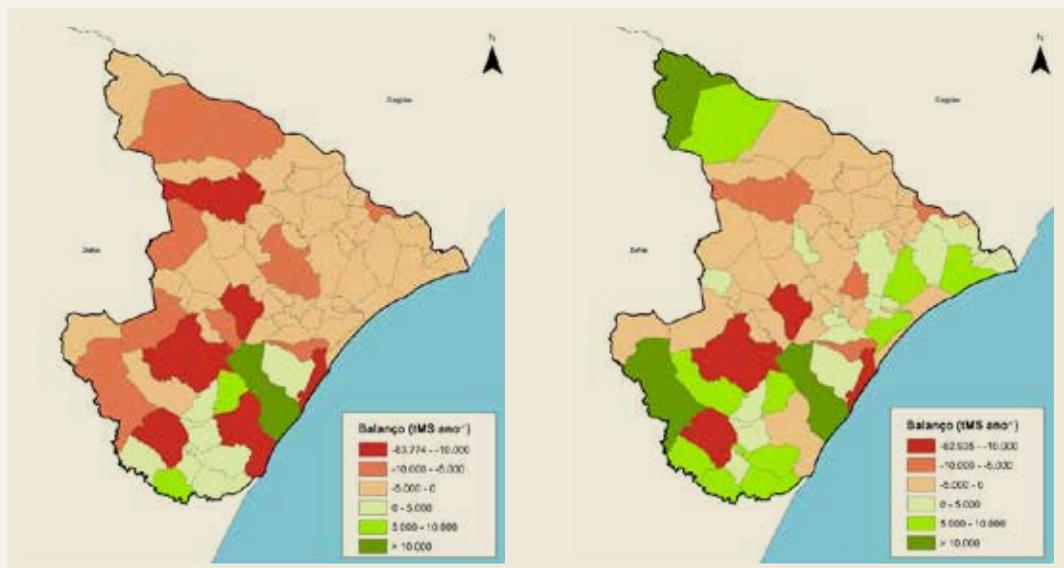


Figura 13. Balanços de biomassa com oferta legal e oferta total, 2016.

Na Figura 14 se apresentam as demandas somadas dos setores Domiciliar, Comercial e Não-energético (à esquerda) e a demanda do setor Industrial (à direita).

É notória a concentração da demanda industrial em três municípios, que correspondem aos polos cerâmicos e ao polo de processamento de mandioca.

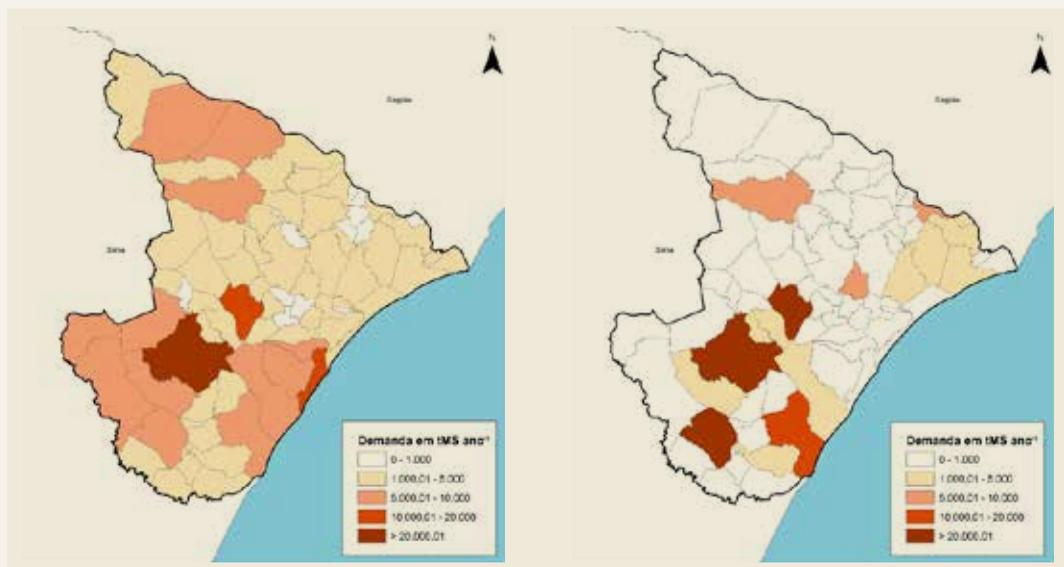


Figura 14. Demandas de biomassa: Domiciliar+Comercial+Não-energética e Industrial, 2016.

05



PROJEÇÃO DAS OFERTAS

Para projetar as ofertas de biomassa, partiu-se de dados históricos, desenvolvendo três projeções:

- **MÉDIA:** assume que os processos se mantêm como na situação atual ou no histórico recente;
- **BAIXA:** supõe uma dinâmica decrescente, devido à redução da base de recursos, recessão da atividade, baixo investimento, baixo interesse, etc.;
- **ALTA:** supõe uma dinâmica crescente, por mudanças tecnológicas ou de mercado, previstas

ou que razoavelmente podem acontecer. Nessa projeção, considerou-se o ingresso espontâneo de oferta de resíduos de coqueiro e de palha de cana-de-açúcar.

As projeções não incorporam intervenções propositais que procurem mudar a dinâmica das ofertas (incentivo a plantios, aproveitamento de novas fontes, etc.). Estas são parte dos cenários alternativos. Os quadros do Anexo II detalham as bases das projeções de oferta, apresentadas nas Figuras 15, 16 e 17.

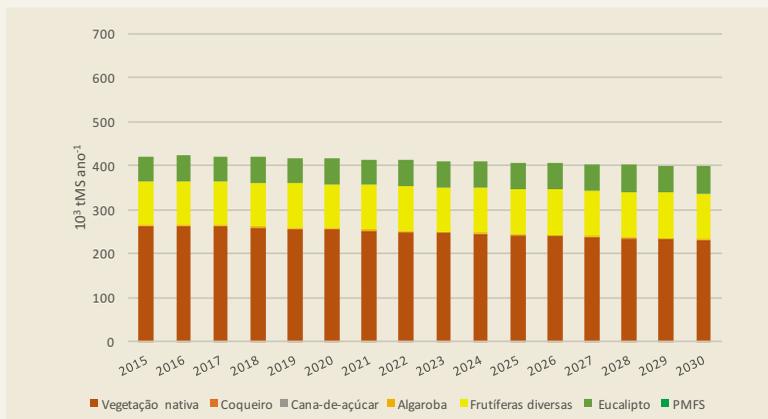


Figura 15. Projeção baixa da oferta total de biomassa em Sergipe.

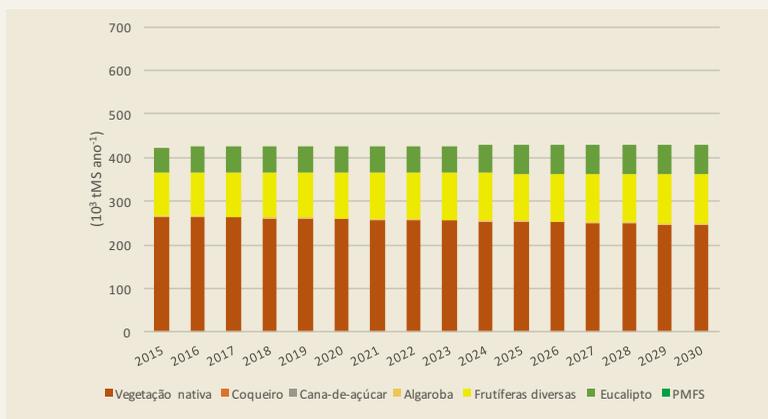


Figura 16. Projeção média da oferta total de biomassa em Sergipe.

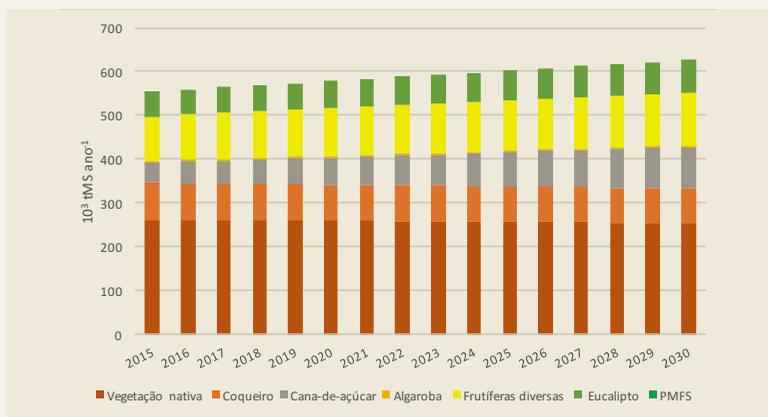


Figura 17. Projeção alta da oferta total de biomassa em Sergipe.

Considerando as perspectivas da oferta de biomassa para energia, é possível observar que:

- ☛ Nas projeções baixa e média, a oferta atual representa em torno de 38% da oferta total em 2015 e evolui para 42-43% até 2030. Na projeção alta, representa 29% em 2015 e evolui para 32% até 2030. Ou seja, sem intervenção proativa, a oferta atual não aumentará e a subutilização da oferta potencial de fontes legais e sustentáveis continuará nos mesmos níveis atuais.
- ☛ Não há muita diferença na participação das diferentes fontes de oferta atual nas projeções média e baixa. Na projeção alta se atinge um patamar mais alto, porque são desenvolvidas as cadeias de produção de duas fontes potenciais (coqueiro e cana-de-açúcar).
- ☛ A oferta total de biomassa é determinada principalmente pelo potencial da vegetação nativa (que parcialmente já é utilizado atualmente no setor domiciliar por via de catação de lenha e produção de carvão vegetal). A oferta total vai de 397 a 421 10³ t MS ano⁻¹ na projeção baixa, e de 554 a 627 10³ t MS ano⁻¹ na projeção alta.

06



PROJEÇÃO DAS DEMANDAS

Para projetar as demandas de biomassa, partiu-se de dados históricos de cada setor consumidor ou ramo industrial bem como de indicadores específicos da evolução da produção e/ou da demanda de produtos de cada um deles, conforme mencionado no Capítulo 3.

Para cada setor e ramo de demanda foram desenvolvidas três projeções:

- **MÉDIA:** é a esperada se os processos se mantêm estáveis, no mesmo ritmo encontrado na situação atual ou no histórico recente;
- **BAIXA:** abaixo da média; assume recessão, baixo investimento, baixo interesse, perda de mercados;
- **ALTA:** acima da média; assume ampliação de mercados, da base produtiva, maior investimento, etc.

As projeções não incorporam políticas de intervenção visando gerar mudanças nas dinâmicas das demandas. Os principais critérios e pressupostos considerados nas projeções para cada setor ou ramo de consumo são detalhados no Anexo II.

As Figuras 18, 19 e 20 demonstram que a demanda total tem uma leve tendência crescente nas três projeções, como resultado do pronunciado aumento previsto da demanda industrial e da redução da demanda domiciliar.



Figura 18. Demanda total de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções.

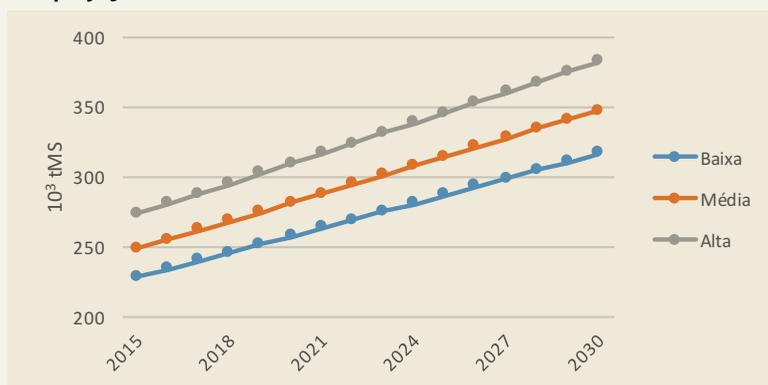


Figura 19. Demanda industrial de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções.

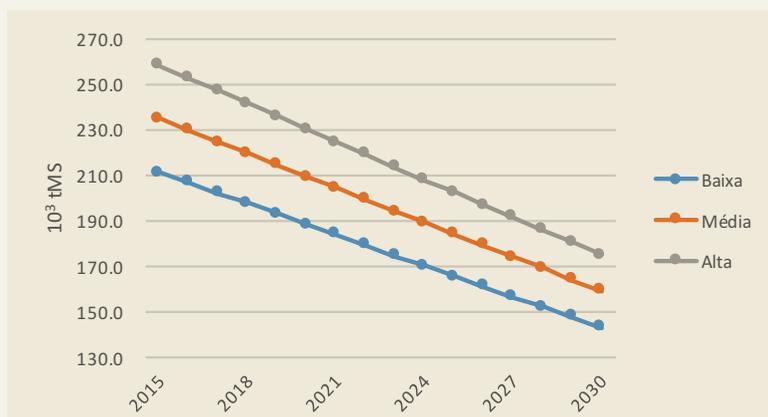


Figura 20. Demanda domiciliar de biomassa para energia em Sergipe segundo três projeções.



Nas Figuras 21, 22 e 23 fica claro que a demanda total de biomassa tem uma leve tendência crescente nas três projeções. Isto resulta do aumento da demanda industrial que ultrapassa um pouco a redução da demanda domiciliar. Contudo, deve ser lembrado que as demandas industriais são concentradas e de tipo mercantil, enquanto que as domiciliares são dispersas e não implicam em compra e venda de biomassa (com exceção do consumo de carvão vegetal).

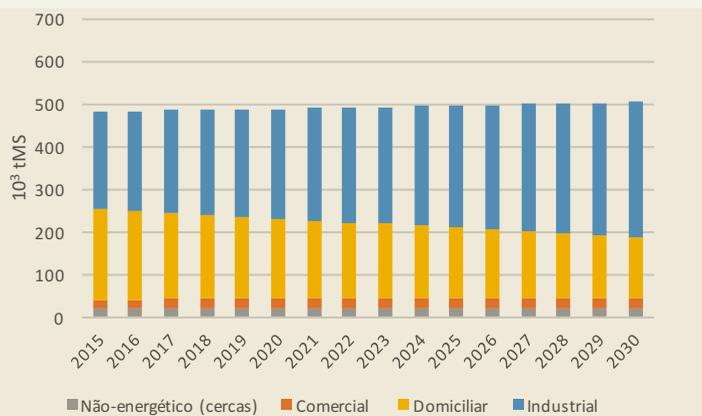


Figura 21. Projeção baixa da demanda de biomassa por setor em Sergipe.

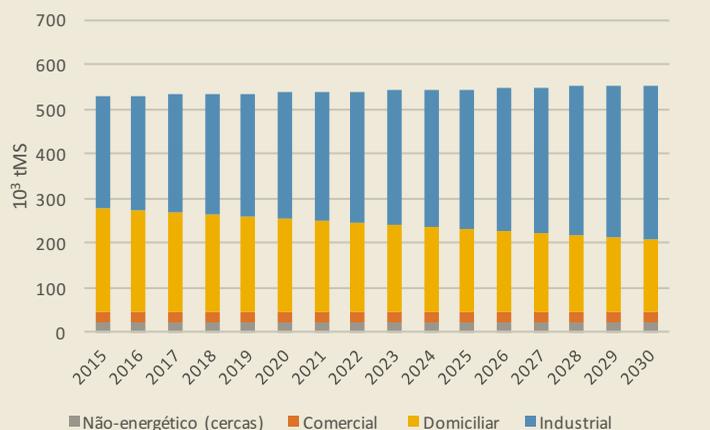


Figura 22. Projeção média da demanda de biomassa por setor em Sergipe.

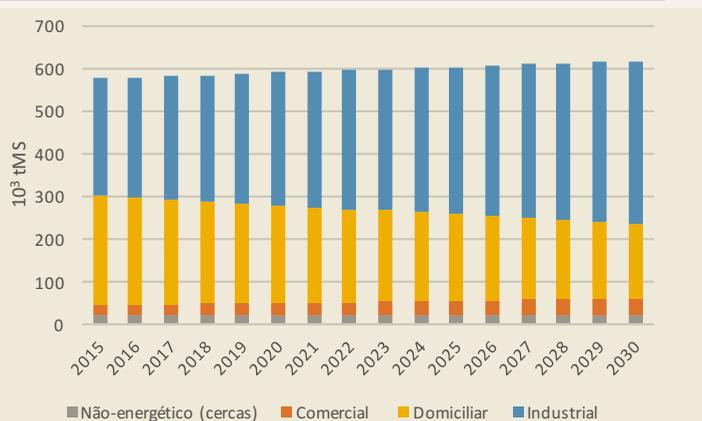


Figura 23. Projeção alta da demanda de biomassa por setor em Sergipe.

Em relação às projeções das demandas, pode-se considerar que:

- A demanda total por biomassa tenderá a crescer levemente nos próximos 15 anos. Na projeção baixa estabilizará em torno de $500 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹. Na projeção média permanecerá em torno de $550 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹. Na projeção alta se prevê um moderado aumento da demanda de 575 até $616 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹.
- A demanda do setor domiciliar diminui marcadamente nas três projeções: de 258 para $175 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na alta; de 234 para $159 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na média, e de 211 para $143 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na baixa. Sua participação na demanda total do estado cairá de 44% para 29%.
- O setor industrial aumentará sua demanda de 273 para $381 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na alta; de 248 para $347 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na média, e de 228 para $316 \cdot 10^3$ t MS ano⁻¹ na baixa. Sua participação na demanda total subirá de 47 para 63%. Dentro deste setor, o ramo da cerâmica vermelha é o maior consumidor de biomassa e tem a maior projeção de crescimento futuro, subindo de 65 para 74% do consumo industrial total.





CENÁRIOS

Com base nas projeções de ofertas e de demandas, foi possível construir os seguintes cenários:

I. Cenário BAU ("Business As Usual"), em duas versões:

- a. com todas as ofertas potenciais de biomassa; e
- b. com as ofertas atuais de biomassa legal (eucalipto, algaroba e frutíferas diversas).

II. Cenários alternativos, com demandas atendidas por fontes 100% legais e estaduais:

1. Cenário **ambicioso**
2. Cenário **intermediário**
3. Cenário **básico**

7.1. Cenário BAU

Resulta das projeções de ofertas e demandas “tendências” que se desenvolveriam sem intervenções propositas. Em outros termos, não considera novas políticas ou novos marcos legais, normativos ou de incentivos.

Para determinar o elenco de possibilidades dentro do cenário BAU, foi construída uma matriz que combina as três projeções da oferta com as três projeções da demanda, como segue:

	Oferta alta	Oferta média	Oferta baixa
Demanda alta	OA DA	OM DA	OB DA
Demanda média	OA DM	OM DM	OB DM
Demanda baixa	OA DB	OM DB	OB DB

No cenário BAU com Oferta Total, as situações extremas são Oferta Alta com Demanda Baixa (OA DB) e Oferta Baixa com Demanda Alta (OB DA). A situação intermediária é de oferta média e demanda média (OM DM). A Figura 24 ilustra os balanços que resultam das projeções 2015-2030.

- ➔ No cenário OA DB (otimista) haveria excedentes de 73 a 123 10³ t MS ano⁻¹, apenas se duas novas fontes (cana e coqueiro) fossem plenamente desenvolvidas.

- ➔ No cenário médio (sem cana nem coqueiro), o déficit é contínuo e varia entre 105 e 124 10³ t MS ano⁻¹.
- ➔ No cenário pessimista, sem novas fontes, o déficit inicia com 155 10³ t MS ano⁻¹ e aumenta para 220 10³ t MS ano⁻¹ em 2030.

Nestes três cenários com oferta total assume-se que todo o potencial de “floresta nativa” é utilizado através de manejo florestal sustentável.



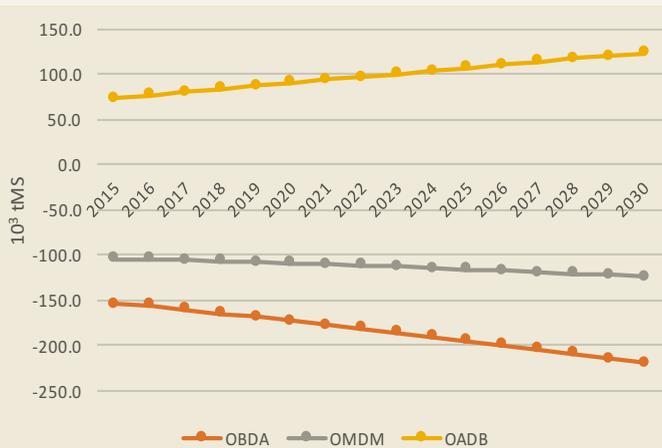


Figura 24. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta total.

No Cenário BAU com oferta atual legal (de eucalipto, algaroba e frutíferas diversas), os resultados dos balanços sempre mostram déficits de 300 a 450 10³ t MS ano⁻¹ (Figura 25).

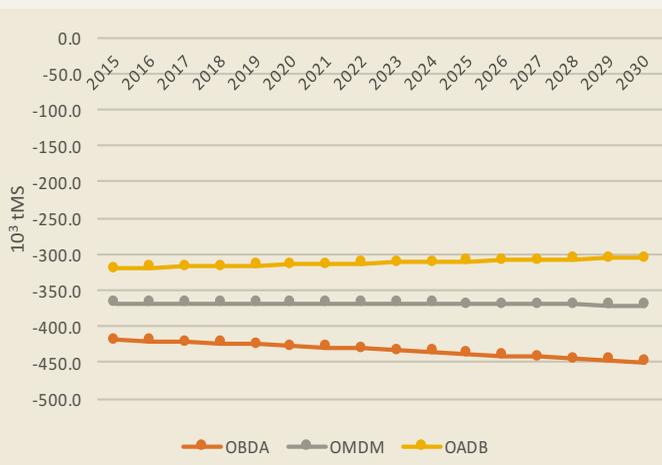


Figura 25. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta atual.

7.2. Cenários alternativos com 100% de oferta estadual sustentável

Nestes cenários, se assume que 100% da biomassa consumida pelos setores e ramos considerados neste estudo será obtida de fontes sustentáveis e originada dentro do estado de Sergipe.

Considerando diferentes objetivos, foram desenhados três cenários:

- 1. Ambicioso:** todo o consumo de todos os setores é atendido;
- 2. Intermediário:** são atendidas as demandas industrial, comercial e domiciliar urbana;
- 3. Básico:** somente a demanda industrial é atendida.

No cenário "Ambicioso" seriam atendidas todas as demandas, partindo da suposição de que todas elas apresentam os mesmos riscos e impactos ambientais, o que não tem muito fundamento.

No cenário "Intermediário" se assume que o consumo de lenha dos domicílios rurais (RU) já é 100% legal (porque é autoconsumo que não requer autorização de corte) e que gera poucas emissões (porque 60% da biomassa vem de catação de madeira morta). Por este

motivo não são previstas intervenções para atender o sub-setor domiciliar rural e o não energético (cercas).

No cenário "Básico" as intervenções são focadas no setor industrial porque o universo de consumidores é reduzido, bem localizado, e pode aproveitar as novas fontes de biomassa (cana, coqueiro, PMFS) que dificilmente seriam utilizáveis nos setores domiciliar e comercial.

As Figuras 26, 27 e 28 apresentam a situação Média para os três cenários. As curvas de Oferta Atual + Novas fontes atingem as curvas de Demanda total em 2030, ou pouco antes.

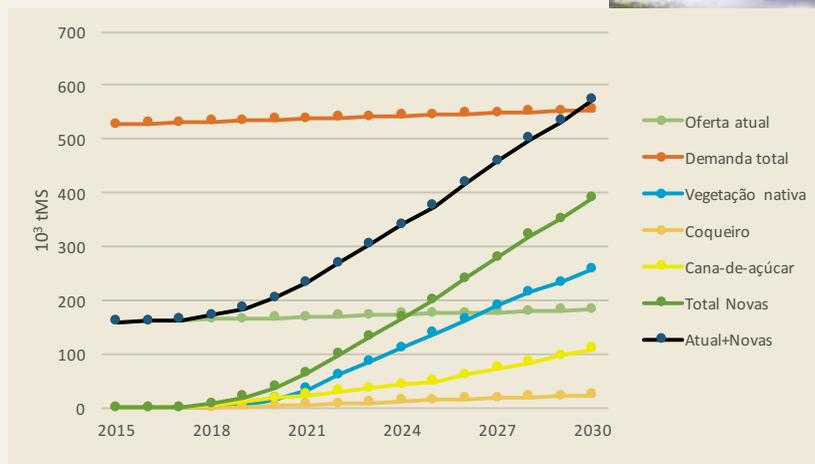


Figura 26. Demanda e ofertas de biomassa no cenário Ambicioso.

No cenário Ambicioso, o atendimento completo da demanda ($550 \cdot 10^3 \text{ t MS}$) é atingido em 2030 com 150 mil ha de caatinga sob manejo, resíduos aproveitados em 12 mil ha de coqueiro e recuperação da palha em 18 mil ha de cana-de-açúcar com colheita mecanizada.



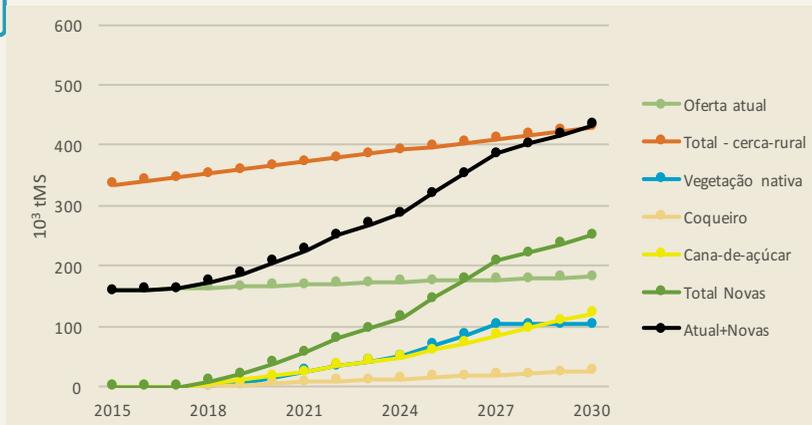


Figura 27. Demanda e ofertas de biomassa no cenário Intermediário.

A demanda do cenário Intermediário (430 10³ t MS em 2030) é totalmente atendida com 60 mil ha de caatinga sob manejo, mais os resíduos aproveitados em 13 mil ha de coqueiro e 20 mil ha de cana-de-açúcar (palha em áreas de colheita mecanizada).

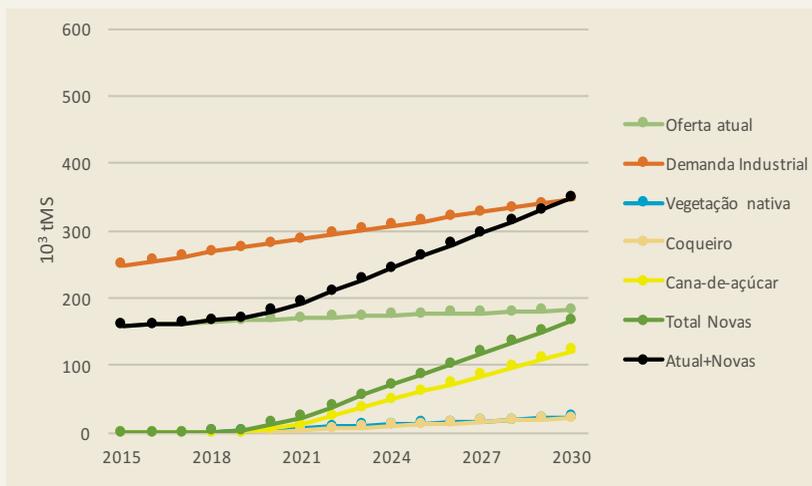


Figura 28. Demanda e ofertas de biomassa no cenário Básico.

O cenário Básico atende somente a demanda industrial (350 10³ t MS em 2030) com 13 mil ha de caatinga sob manejo, 11 mil ha de coqueiro com resíduos aproveitados e 20 mil ha de cana-de-açúcar com colheita mecanizada onde a palha é aproveitada. Alternativamente, essa demanda poderia ser garantida através de 96 mil ha de caatinga manejada.

Os níveis de esforço requeridos para desenvolver as novas fontes são diferentes, dependendo dos objetivos de cada cenário.

- No cenário Ambicioso, seria preciso colocar sob manejo quase 70% da área de caatinga existente no Estado para atender todas as demandas.

Esta é uma meta de cumprimento improvável, e aliás vale observar que boa parte do consumo domiciliar rural já está sendo atendida através da catação de lenha morta da caatinga, de capoeiras, roças, quintais e frutíferas dispersas, e que não há necessidade de criar PMFS para esse fim em particular.

- No cenário Intermediário, não se pretende atender a demanda domiciliar rural nem a de cercas. Assim, o esforço para desenvolver novas fontes é menor: apenas 60

mil ha de caatinga sob manejo, 13 mil ha de coqueiro e 20 mil ha de cana-de-açúcar. Essas metas podem ser atingidas aproveitando menos da metade dos recursos existentes.

- O cenário Básico pode ser realizado sem grandes esforços porque requer apenas aproveitar 6% da área de caatinga, 40% da área de cana-de-açúcar e 28% da área de coqueiro. Alternativamente, outras combinações de fontes podem atender a demanda deste cenário, até com manejo da caatinga exclusivamente - se não for desejável ou não resulta possível desenvolver as novas cadeias de produção de palha de cana e resíduos de coqueiros-.

A expansão de plantios de eucalipto poderia também ser considerada como uma fonte adicional de biomassa em todos os cenários. Contudo, esta opção entraria em produção, como mínimo, 5 a 7 anos após o plantio, e requer alto investimento inicial; por isso, não foi considerada além do já previsto nas projeções do cenário BAU.

A importação de biomassa de estados vizinhos – eucalipto e bambu da Bahia; e algaroba de Bahia e Pernambuco – é muito importante na atualidade e provavelmente seguirá existindo, visto que:

- a oferta nos estados vizinhos é abundante;
- as fontes estão próximas (menos de 120 km);
- as cadeias de produção já estão bem desenvolvidas;
- o preço final dessa biomassa é competitivo.

Também é importante reiterar que, tanto na situação atual como nas projeções e nos cenários alternativos, praticamente toda a biomassa consumida em Sergipe é obtida de forma legal porque:

- no setor domiciliar, a maior parte da demanda é satisfeita por catação de lenha morta ou por corte dentro do limite legal (20 m³ por ano por propriedade),
- o setor industrial é predominantemente abastecido com eucalipto, bambu, frutíferas diversas e algaroba – todas estas legais e dispensadas de autorização de corte;
- no setor comercial e domiciliar, somente uma parte do carvão vegetal é provavelmente produzida com lenha de corte não autorizado, caindo na condição de ilegal.

Consequentemente, a proporção de biomassa ilegal no consumo do estado é bastante reduzida.



IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DE BIOMASSA PARA ENERGIA

Os cenários foram desenhados para atingir metas de auto abastecimento estadual de biomassa, além de minimizar as emissões de GEE e evitar mudanças de uso da terra. Os dois últimos objetivos são parte dos compromissos assumidos pelo Brasil no seu iNDC, cujas metas são atingir desmatamento ilegal zero, compensar as emissões do desmatamento legal e aumentar para 33% a participação de energias renováveis na matriz energética nacional (além da

hidroelétrica). Assim, o uso de biomassa para energia em Sergipe também contribui para as metas do iNDC.

8.1. Emissões por queima de biomassa

As emissões diretas de CO₂ por combustão do carbono orgânico contido na biomassa dependem basicamente do fator de renovabilidade, que resulta da

capacidade de cada sistema de manejo de uma fonte de biomassa para sequestrar CO₂ e manter estoques constantes de C orgânico na vegetação e no solo, dentro do horizonte temporal considerado.

A Tabela 22 apresenta o nível de emissão de CO₂ de cada fonte de biomassa, por sistema de manejo.

Tabela 22. Emissões de CO₂ pelo uso energético de biomassa em Sergipe (2016).

Fonte	Origem	Sistema de manejo	Ciclo	FUE	IR*	Fator de emissão t CO ₂ t MS ⁻¹	Demanda Estadual 10 ³ t MS ano ⁻¹	Emissão 10 ³ t CO ₂ ano ⁻¹	Absorção 10 ³ t CO ₂ ano ⁻¹	Balço 10 ³ t CO ₂ ano ⁻¹
Eucalipto	Plantios	Corte raso e rebrota	3 de 7 anos	0,9	1,0	-0,367	120,6	0,0	22,1	-22,1
Bambu	Plantios e povoamentos espontâneos	Corte raso e rebrota	Vários de 3 anos	1,0	1,0	0,000	33,7	0,0	0,0	0,0
Frutíferas diversas	Plantios	Poda e renovação	5 a 25 anos	1,0	0,7	1,101	29,4	16,2	0,0	16,2
Algarobais	Povoamentos espontâneos	Corte raso e rebrota	5 a 8 anos	0,9	1,0	-0,367	98,3	0,0	18,0	-18,0
Vegetação nativa	Remanescentes florestais	MFS - corte seletivo e rebrota	15 anos	0,9	1,0	-0,367	19,8	0,0	3,6	-3,6
	Remanescentes florestais	Desmatamento com MUT(permanente ou não)	Indefinido	0,9	0,0	3,303	100,8	184,9	18,5	166,4
	Remanescentes florestais	Catção de lenha morta	3 a 60 anos	1,0	1,0	0,000	129,1	0,0	0,0	0,0
Total							201,0	62,3	138,8	

*IR = Índice de Renovabilidade

A emissão de CO₂ organogênico de cada fonte também é afetada pelo Fator de Uso Energético (FUE) da biomassa produzida. O FUE é menor que 1 quando uma parte da biomassa é utilizada com fins não-ener-

géticos (ex. estacas, caibros). Se a vida média desses produtos é maior que 15 anos, não liberarão carbono para a atmosfera dentro do horizonte temporal considerado; nesses casos há sequestro de carbono nessa parte da biomassa.



O Índice de Renovabilidade (IR) é igual a 1,0 nos plantios de eucalipto e bambu e também no manejo dos povoamentos de vegetação nativa, de algaroba e de bambu, porque os estoques de carbono e as produtividades são mantidos em níveis constantes no horizonte temporal considerado. No caso das frutíferas, devido ao ciclo ser maior que 15 anos, o IR é igual a 0,7. Se há mudança de uso da terra, o IR é igual a zero porque o recurso é eliminado quando ocorre desmatamento. Na catação de madeira morta, o estoque de carbono e a produtividade das matas nativas não são afetadas e, portanto, o IR é igual a 1,0.

Os resultados da Tabela 21 indicam uma emissão bruta de $201 \cdot 10^3 \text{ t CO}_2 \text{ ano}^{-1}$, uma absorção de $62 \cdot 10^3 \text{ t CO}_2 \text{ ano}^{-1}$ e um balanço final de $139 \cdot 10^3 \text{ t CO}_2 \text{ ano}^{-1}$, para o estado.

As maiores emissões são originadas pelo desmatamento de vegetação nativa, com mudança definitiva de uso da terra, para atender demandas de carvão dos setores comercial e domiciliar urbano, lenha e carvão do subsetor domiciliar rural e lenha para processamento de mandioca.

Para reduzir essas emissões, há duas alternativas: a) obter a lenha da vegetação nativa através de sistemas de manejo sustentável, ou b) substituir a biomassa de desmatamento por outras que não geram emissões (ex. eucalipto, algaroba).

Todos os cenários alternativos desenhados incluem ambas alternativas e eliminam a necessidade de mudanças do uso da terra para obter biomassa e assim,

são perfeitamente coerentes com os objetivos do iNDC relativo a “desmatamento zero”.

8.2. Emissões por variação dos estoques de C devidos a mudanças do uso da terra

As emissões indiretas de CO_2 causadas por MUT definitivas podem ser muito altas e bastante maiores que as emissões diretas da combustão da biomassa obtida das áreas onde ocorre a mudança de uso da terra. Segundo Sampaio *et al.* (2014), a redução dos estoques de C orgânico por MUT na caatinga é de $23,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ na vegetação e $100,0 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ no solo.

O MMA/IBAMA estimou as áreas desmatadas no bioma Caatinga de Sergipe no período 2002 - 2011 entre 500 e 2.000 ha por ano. Assumindo que essa área corresponde à mudança permanente do uso da terra, ou seja, que as áreas desmatadas não recuperarão cobertura vegetal², a emissão total no Estado por esta causa se resume na Tabela 23:

Tabela 23. Emissões por MUT em Sergipe.

Emissão por MUT	Máxima	Média	Mínima
$10^3 \text{ t CO}_2 \text{ ano}^{-1}$	2,46	1,23	0,61

² A estimativa do MMA não levou em conta as áreas onde a vegetação se recuperou naturalmente e ingressou novamente como remanescente florestal dentro do período de estudo.

Resulta evidente que as emissões devidas à MUT (com mudança permanente do uso do solo) em Sergipe são insignificantes quando comparadas às emissões diretas por queima das diferentes biomassas (Tabela 21). Além disso, o valor absoluto da área desmatada é muito baixo, comparado com a área estimada de 222 mil hectares de remanescentes florestais na Caatinga.

8.3. Emissões evitadas por uso de biomassa

As fontes de energia utilizadas têm emissões muito diferentes e podem ser agrupadas em cinco níveis (Tabela 24). Todas as fontes fósseis têm emissões de nível alto ou médio. A biomassa tem emissões de nível baixo, muito baixo ou negativo, exceto a lenha de MUT, que está no nível alto

Tabela 24. Níveis de emissão direta de CO₂ por diversas fontes energéticas.

	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo	Negativo
Kg CO₂ GJ⁻¹	75 a 100	50 a 75	25 a 50	0 a 25	0 a -50
Energéticos	Óleo BPF Coque de petróleo Lenha de MUT	Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) Gás natural (GN)	Frutíferas	Palha de cana Coqueiros Resíduos	Algaroba PMFS Eucalipto

Esta comparação ilustra o impacto ambiental da substituição de biomassa por fontes fósseis, que sempre gera aumento marcado de emissões de CO₂. De fato, o uso atual de biomassa está evitando emissões muito maiores, que ocorreriam se a biomassa não estivesse disponível ou fosse substituída por alguma fonte fóssil.

Um caso de substituição forçada de biomassa por fonte fóssil ocorreu quando da proibição do uso de lenha no ramo padaria no estado. Essa iniciativa tinha como principal motivação evitar o desmatamento, porém, levou ao uso de GLP com emissões de CO₂ seis vezes maiores que se fosse utilizada lenha de manejo florestal sustentável, de eucalipto ou de algaroba. Assumindo que o ramo padaria usava 31,9 10³ t MS ano⁻¹ (SEMARH, 2010), as novas emissões devidas ao GLP são da ordem de 36,6 10³ t CO₂ ano⁻¹. Isto equivale a adicionar 26% às emissões totais advindas do uso de biomassa no estado.

De fato, a emissão atual de CO₂ por queima de biomassa no setor industrial do estado (para um consumo de 246 10³ t MS ano⁻¹) é igual a zero, porque são utilizados energéticos com emissão específica muito baixa ou negativa. Se essa biomassa fosse substituída por GLP, as emissões seriam de 282,4 10³ t CO₂ ano⁻¹.

Esta análise deve alertar para os riscos das mudanças da matriz energética com maior participação de fontes fósseis. Toda e qualquer substituição de biomassa por energéticos fósseis acarretará em aumentos das emissões de GEE, junto a maiores custos operativos e investimentos em infraestrutura. Ao contrário, o desenvolvimento de novas fontes de biomassa reduzirá as emissões de GEE e os custos do setor industrial, sem necessidade de maiores investimentos.

09



FLUXOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DE BIOMASSA PARA ENERGIA

A Tabela 25 apresenta o fluxo físico de biomassa para energia em Sergipe. As principais fontes são vegetação nativa, eucalipto e algaroba: as últimas duas são basicamente importadas de BA e PE.

Tabela 25. Fluxos de biomassa no estado de Sergipe (2017) (10³ t MS ano⁻¹).

Destino da biomassa		Demanda total	Origem da biomassa (Fontes)					
			Eucalipto	Bambu	Frutíferas diversas	Algaroba	Vegetação nativa	
Setor	Subsetor/Ramo					MUT	Catação	
Domiciliar	Grande Urbano	8,2				4,1	4,1	
	Pequeno Urbano	44,0				17,6	17,6	8,8
	Rural	182,2				36,4	36,4	109,3
Não-energético	Cercas	22,0				2,2	19,8	
Industrial	Cerâmica vermelha	168,5	96,0	33,7	10,1	28,6		
	Beneficiamento de mandioca	49,3			18,7	3,9	16,3	10,3
	Têxtil	14,0	14,0					
	Laticínios	6,1	2,4		0,6	2,4		0,6
	Sucos	8,2	8,2					
Comercial		33,0				3,3	29,7	
Total		535,5	120,6					
Participação		100%	23%	6%	5%	18%	19%	28%

O fluxo econômico da biomassa é importante porque 72% da biomassa consumida é comprada pelos usuários. Somente as estacas e a lenha usada no setor domiciliar rural são catadas ou cortadas diretamente pelos consumidores, sem envolver transações monetárias. Os custos finais de biomassa, “posto no usuário”, são resumidos na Figura 29.



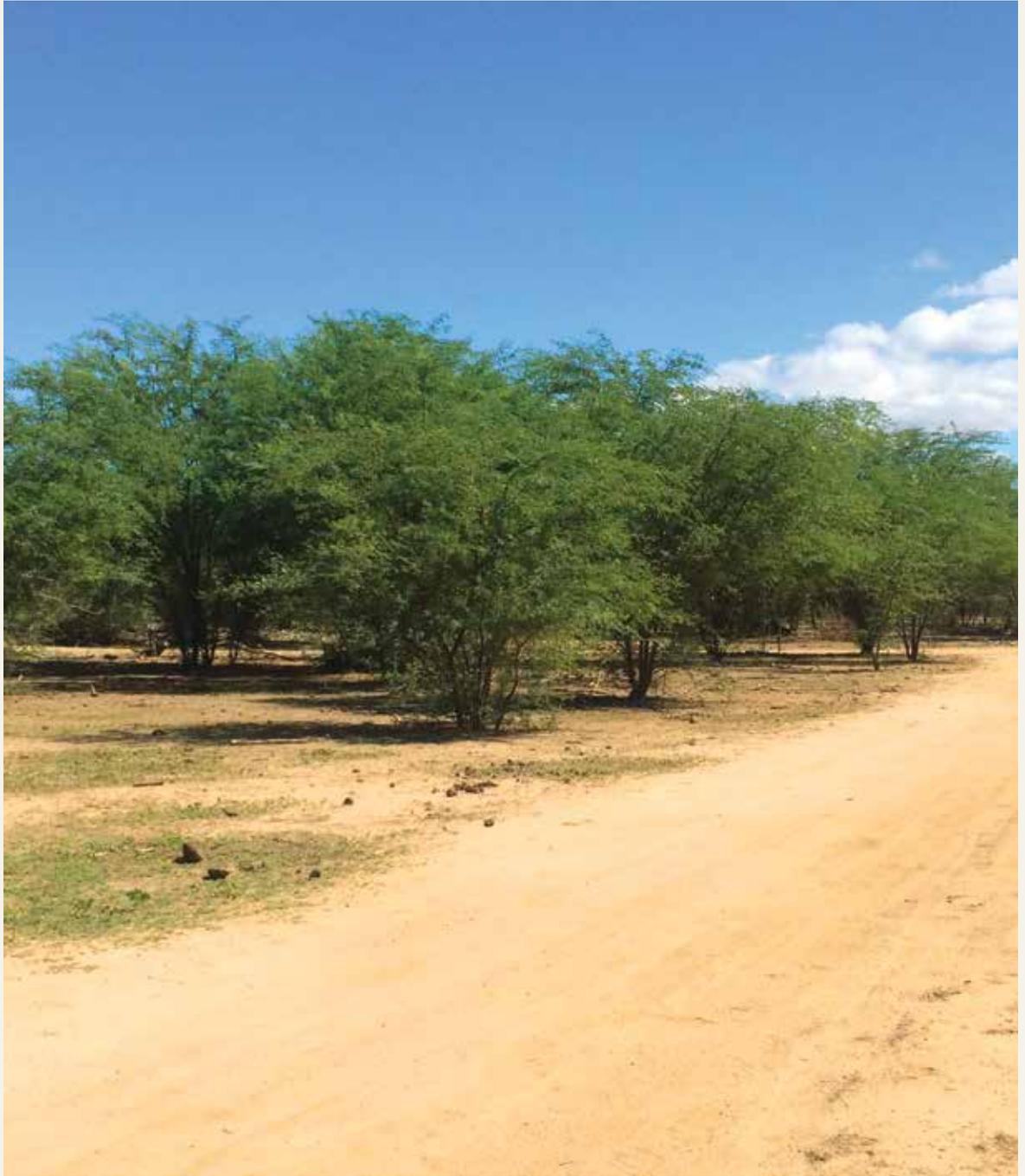
Figura 29. Custos finais de biomassa de diversas fontes, na condição "posto no usuário".

A Figura 30 apresenta o valor de mercado das biomassas consumidas no Estado.

O valor total da biomassa comercializada em Sergipe foi de R\$ 57 milhões em 2016, com destaque para eucalipto e algaroba. O trabalho utilizado no corte, transporte, carregamento, descarregamento e gestão foi de 238 mil homem.dia por ano, o que equivale a quase 1.000 postos de trabalho permanentes.



Figura 30. Valor de mercado (10⁶ R\$ ano⁻¹) dos fluxos de biomassa para energia, 2015.



10



CONCLUSÕES

No setor industrial de Sergipe, o uso de biomassa para energia depende atualmente da importação de eucalipto, bambu e algaroba de BA e PE. Estas fontes são complementadas com lenha de laranjeira, eucalipto e algaroba obtidas no próprio estado. Toda esta biomassa é de origem legal.

O setor domiciliar obtém sua biomassa de duas fontes principais: i) da vegetação nativa (sobretudo por cole-

ta ou catação de madeira morta); e ii) da vegetação de áreas antropizadas (quintais, roças, capoeiras). A extração de ambas as fontes também é legal. Dentro deste quadro geral há, contudo, uma notável exceção: a produção de carvão vegetal para uso comercial e domiciliar, que ocorre muitas vezes por extração não autorizada (e provavelmente não sustentável) de biomassa lenhosa da caatinga.

O consumo de biomassa para energia em Sergipe não tem efeitos negativos do ponto de vista ambiental, porque não gera emissões importantes de GEE, não promove mudanças de uso da terra, nem degrada o patrimônio florestal do Estado. Pelo contrário, o uso intensivo de biomassa no setor industrial evita importantes emissões de CO₂.

Os cenários projetados demonstram que é possível abastecer 100% da demanda com biomassa sustentável originada no próprio Estado, desde que sejam desenvolvidas três fontes novas: os PMFS na caatinga, a palha de cana-de-açúcar e os resíduos de coqueiros. Dependendo dos objetivos escolhidos, os esforços serão mais ou menos importantes, utilizando de 6 a 70% da área remanescente de caatinga, e de 30 a 50% das áreas de plantio de coqueiros e cana-de-açúcar.

Atualmente, o uso de biomassa gera o equivalente a mil postos permanentes de trabalho e cria um fluxo econômico de R\$ 57 milhões por ano, com agregação de valor da ordem de R\$ 57 mil por ano, por cada posto de trabalho. Aliás, o uso desta biomassa evita

emissões de GEE da ordem de 282 mil t CO₂ por ano, somente no setor industrial. Logo, não há necessidade de considerar a substituição de biomassa por energéticos fósseis, uma vez que esta opção não poderá ter vantagens em termos ambientais, econômicos ou sociais.

A promoção de uso de fontes estaduais pode ter múltiplos benefícios, como: canalizar um maior fluxo econômico para o interior do estado, ampliar a geração e uso de energia renovável em ramos industriais, e assegurar a conservação e uso sustentável de remanescentes florestais no bioma Caatinga por via do manejo florestal sustentável.

REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **ESTUDO TÉCNICO SETORIAL DA CERÂMICA VERMELHA**. Relatório técnico 2. Brasília, 2016. 265 p.

Governo do Estado de Sergipe. **Política Florestal do Estado de Sergipe**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. Fundação para o Desenvolvimento Sustentável do Araripe. 2010. 93p.

PAREYN, F.G.C.; PEREIRA, W.E.; SALCEDO, I.H.; RIEGELHAUPT, E.M.; GOMES, E.C.; CRUZ FILHO, J.L.V. **A influência da precipitação sobre o crescimento e os ciclos de corte da caatinga manejada – uma primeira aproximação**. Estatística Florestal da caatinga. Ano 2. Volume 2. Agosto 2015. p. 30-39. Associação Plantas do Nordeste, Recife/PE

RIEGELHAUPT, E., PAREYN, F.G.C., CRUZ, J.L.V.F., SILVA, J. R.N., SOARES, M.J.G., BACALINI, P.A. **Manejo racional dos algarobais espontâneos para o combate à desertificação no Sertão de Pernambuco**. Associação Plantas do Nordeste, Recife, 2014. 68p.

RIEGELHAUPT, E., PAREYN, F.G.C., CRUZ, J.L.V.F., ZAKIA, M.J.B., ALBUQUERQUE, E.R.G.M., MENECHÉLI, H.F. **Biomassa para energia no Nordeste: Atualidade e Perspectivas**. APNE, Recife, 2017. 166 p.

SAMPAIO, E.V.S.B, COSTA, T.L. 2011. **Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordestino: Estimativas Preliminares**. Revista Brasileira de Geografia Física, 06 (2011) 1275-1291.

GLOSSÁRIO

Biomassa	Material orgânico proveniente de organismos vivos.	Emissão de GEE	Liberação de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , NO_x , fluorocarbonos) para a atmosfera.
Cadeia de produção	Série de etapas consecutivas onde diversos insumos são transformados ou adicionados para obter um produto final (bem ou serviço).	Energia primária	A energia total disponível em um energético, antes de ser convertida ou transformada.
Cadeia de valor	Sequência de atividades e processos onde ocorre a agregação de valor a os insumos com a finalidade de obter um bem ou um serviço para o mercado.	Estoque	Quantidade de biomassa contida numa certa área de uma fonte de biomassa.
Cenário BAU	Cenário onde as tendências atuais são mantidas ao longo do tempo sem mudanças nem intervenções.	Matriz energética	Conjunto das fontes de energia utilizadas por uma atividade, em uma região ou um estabelecimento.
Consumo específico	Quantidade de biomassa, de energia, ou de um insumo, que é consumida por cada unidade de produto ou de serviço obtido ou oferecido.	Mudança de Uso da Terra (MUT)	Mudanças na forma de uso do solo devidas a mudanças da cobertura vegetal.
Demanda energética	A quantidade de biomassa utilizada para fins energéticos por unidade de tempo.	Oferta atual e legal	Parte da biomassa obtida de forma legalizada ou que independe de autorização ou licenciamento pelos órgãos ambientais.
Demanda total	A quantidade total de biomassa consumida por um setor, ramo ou estabelecimento por unidade de tempo.	Oferta potencial	Quantidade de biomassa obtida de forma legal ou ilegal, já aproveitada ou ainda não aproveitada.
Emissão biogênica	Liberação de GEE originadas no carbono contido em seres vivos e não de carbono fóssil.	Saturação de combustível	Participação de um combustível no universo de consumidores.
		Sustentabilidade	Capacidade de um sistema de manejo para manter o estoque e a produtividade de biomassa.

ANEXO 1 - Equivalências de diversas unidades de medida de biomassa no NE.

Tipo de biomassa	Unidades tradicionais	Volume empilhado m ³	Peso verde da unidade tradicional (t)	Peso Seco da unidade tradicional (t MS)	Poder Calorífico Superior Kcal g ⁻¹
Lenha	metro estéreo	1m *1m *1m = 1 m ³ aparente	Caatinga: 0,315 Cajueiro: 0,450 Algaroba: 0,405 Eucalipto: 0,550	Caatinga: 0,214 Cajueiro: 0,247 Algaroba: 0,287 Eucalipto: 0,303	4,6
Casca de coco	Carga de caminhão (truck)	30	4,600	3,500	4,5
Serragem	Carga de caminhão (truck)	30	5,400	4,320	4,6
Palha de cana	Fardo prismático	2,6	0,450	0,400	4,5

ANEXO 2 - Quadros de critérios de projeção de oferta e demanda de biomassa em Sergipe.

Critérios e pressupostos adotados para a projeção das ofertas			
Fonte	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Eucalipto	As áreas de plantio crescem com taxas de 1,55% em 2015 até 1,02% em 2030, seguindo a evolução histórica no NE. A produtividade é constante.	As áreas de plantio crescem de 0,88% em 2015 até 0,35% em 2030, seguindo evolução histórica no NE, com ajuste logarítmico. A produtividade é constante.	As áreas de plantio crescem de 2,22% em 2015 até 1,69% em 2030, segundo a evolução histórica no NE, com ajuste linear. A produtividade é constante.
Algaroba	A oferta de algarobais é constante até 2030, porque: - os povoamentos espontâneos estão restritos a várzeas; e - não haverá aumento de áreas colonizadas; as várzeas sempre serão utilizadas para cultivos agrícolas e pastos. O Fator de acesso permanecerá alto e constante por ser espécie de exploração livre.	Haverá redução da área de algarobais com taxa anual de 2%, devida à sua erradicação - por ser espécie invasora - ou por retomada da agricultura nas áreas de várzeas.	Haverá aumento da área de algarobais com taxa anual de 1%, por abandono de cultivos agrícolas e maior colonização das várzeas.
Frutíferas diversas	Da série de área plantada (1994-2014) se obtiveram as equações linear ($R^2 = 0,60$) e logarítmica ($R^2 = 0,78$). A equação linear assume incrementos constantes, e a logarítmica supõe incrementos decrescentes, devido à limitada disponibilidade de áreas aptas. Adotou-se a média das duas.	Aumento da área conforme a equação logarítmica.	Até 2016, Sergipe não tinha nenhum Plano de Manejo Florestal Sustentável. Sem intervenção proposital, não há expectativa de mudança.
PMFS	Até 2016, Sergipe não tinha nenhum Plano de Manejo Florestal Sustentável. Sem intervenção proposital, não há expectativa de mudança.	Até 2016, Sergipe não tinha nenhum Plano de Manejo Florestal Sustentável. Sem intervenção proposital, não há expectativa de mudança.	No bioma Caatinga haverá desmate de 500 ha ano-1, igual ao menor valor da série 2002-2011 monitorada por MMA/IBAMA. A área inicial de Florestas é a estimada por Mapbiomas - 2016). A produtividade será constante, segundo estimado por Pareyn et al. (2015)

Critérios e pressupostos adotados para a projeção das ofertas

Fonte	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Cana-de-açúcar	Não foi considerada a oferta de resíduos de cana-de-açúcar nesta projeção uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	Não foi considerada a oferta de resíduos de cana nesta projeção uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	A área plantada segue no patamar de 2014, com leve aumento da produtividade. A mecanização da colheita subirá de 15% até 30%.
Coqueiro	Oferta nula, uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	Oferta nula, uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	Haverá redução da área plantada segundo projeção linear de 1994 a 2014.

Critérios e pressupostos adotados para a projeção das demandas

Setor	Subsetor / Ramo	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Domiciliar	Grande Urbano	O consumo de energia segue a tendência de declínio de 1990 - 2010 (PNUD-AP-NE) com redução de 42% no subsetor GU, 38% no PU e 28% no RU;	Redução de 10% da projeção Média.	Acréscimo de 10% da projeção Média.
	Pequeno Urbano	O número de domicílios aumenta 50% nos subsetores GU e PU e reduz 18% no RU;		
	Rural	Se mantém a participação relativa de GLP, CV e LE em cada subsetor.		
Não-energético	Cercas	Sem mudança significativa da distribuição fundiária no NE. A demanda de madeira para cerca permanecerá inalterada nos próximos 15 anos.	Igual à média.	Igual à média.

Critérios e pressupostos adotados para a projeção das demandas

Setor	Subsetor / Ramo	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Comercial		O consumo unitário se mantém em 0,010 t MS hab ⁻¹ ano ⁻¹ e a demanda acompanha o aumento da população.	O consumo unitário permanece em 0,009 t MS hab ⁻¹ ano ⁻¹ e a demanda aumenta com a população.	O consumo unitário cresce de 0,010 até 0,015 t MS hab ⁻¹ ano ⁻¹ entre 2015 e 2030 e a demanda aumenta com a população.
	Cerâmica vermelha	O consumo anual de peças "per capita" aumenta: 1) com tendência observada de 1990 a 2014 (ABDI); e 2) com o incremento da população (IBGE).	O consumo de biomassa fica 10% abaixo da projeção média.	O consumo de biomassa fica 10% acima da projeção média.
	Beneficiamento de mandioca	Produção de mandioca igual à média da série de dados (1995 a 2013). Consumo específico constante ao longo do tempo.	Adota-se a média das produções de mandioca nos anos abaixo da média. Consumo específico constante.	Adota-se a média das produções de mandioca nos anos acima da média histórica. Consumo específico constante.
	Têxtil	Assume-se consumo constante.	Assume-se consumo constante.	Assume-se consumo constante.
	Laticínios	Incremento do consumo na mesma taxa do crescimento da população (13% em 15 anos).	Consumo constante.	O incremento do consumo duplica com o aumento da população (26% em 15 anos).
	Sucos	Incremento com a tendência histórica do aumento da área plantada de frutíferas no estado (1% anual).	Incremento igual à metade do aumento da área plantada de frutíferas no estado (0,5% anual).	Incremento do consumo 50% maior que o aumento da área plantada (1,5% anual).





GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET



Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE