



A photograph of a forest canopy. The trees have thin, dark branches and bright yellow and green leaves. The sky is a clear, pale blue. The image is framed by a dark green border on the top and right sides, and a white border on the bottom and left.

BIOMASSA PARA ENERGIA NO NORDESTE: ATUALIDADE E PERSPECTIVAS

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

Biomassa para energia no Nordeste: atualidades e perspectivas

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 Diegues 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

Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio (UFPE-DEN)

Maria Auxiliadora Gariglio (MMA-SFB)

Manuel Anziani Paveri (FAO)

Projeto Gráfico | Selene Fortini

Fotos | Banco de Imagens APNE

Depositphotos

Apoio financeiro | GEF

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação - CIP

B823b Brasil. Ministério do Meio Ambiente

Biomassa para energia no Nordeste : atualidade e perspectivas [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. – Brasília, DF: MMA, 2018.

161 p. : il. (algumas color.) ; gráficos.

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

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

ISBN: 978-85-7738-339-9 (on-line)

1.Biomassa-Nordeste. 2.Energia-Nordeste. 3.Demanda de biomassa. 4.Emissão-Cenário. 5.Impactos econômicos e sociais. I.Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. II.Título.

CDU: 620.92:662.6(813)



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma do estudo e do desenvolvimento dos cenários de balanços de biomassa no NE. **19**

Figura 2. Sustentabilidade e legalidade de uso de distintas fontes de biomassa. **26**

Figura 3. Ocorrência de biomas na região Nordeste. **27**

Figura 4. Áreas plantadas com eucalipto no NE de 2006 a 2014 (exclui Maranhão). **30**

Figura 5. Municípios com plantios de Eucalipto no Nordeste (2014). **31**

Figura 6. Áreas de algarobais espontâneos nos municípios dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (2015). **35**

Figura 7. Áreas de cajueiro existentes no NE – 2015. **37**

Figura 8. Evolução da área de cajueiro (ha) no Nordeste entre 1994 e 2014. **38**

Figura 9. Ocorrência de frutíferas diversas no Nordeste (2014). **40**

Figura 10. Dinâmica da área de "frutíferas diversas" entre 1994 e 2014. **41**

Figura 11. Dinâmica da área de "frutíferas diversas" por estado entre 1994 e 2014. **41**

Figura 12. Distribuição das áreas de cana-de-açúcar no Nordeste (2014). **46**

Figura 13. Dinâmica da área colhida de cana-de-açúcar no Nordeste ($ha\ ano^{-1}$). **47**

Figura 14. Dinâmica do total colhido de cana-de-açúcar no Nordeste ($t\ ano^{-1}$). **47**

Figura 15. Distribuição da produção de coco (2014). **50**

Figura 16. Evolução da área de coqueiros no Nordeste 1994-2014. **51**

Figura 17. Evolução da área de coqueiros por estado, 1994-2014. **52**

Figura 18. Número de domicílios urbanos e rurais por sub-região. **60**

Figura 19. Distribuição geográfica da amostragem de domicílios. **61**

Figura 20. Diagrama de Pareto do consumo industrial em PE, PB, CE, RN e SE (dados de 1990-2010). **68**

Figura 21. Municípios com amostragem no ramo de padaria. **77**

Figura 22. Localização do polo gesseiro em Pernambuco. **81**

Figura 23. Polos produtivos de mandioca no NE. **84**

Figura 24. Dinâmica da produção de oleaginosas e consumo de biomassa no ramo de óleos vegetais. **89**

Figura 25. Diagrama de Pareto da demanda total de biomassa no NE – 2015 ($10^6\ tMS\ ano^{-1}$). **95**

Figura 26. Balanço entre a oferta legal e demanda total de biomassa energética nos municípios do NE. **98**

Figura 27. Balanço entre a oferta total e demanda total de biomassa energética no NE, em geral e conforme classes de déficit e superávit. **98**

Figura 28. Balanços com oferta legal atual a 50, 100, 150 e 300 km. **102**

Figura 29. Balanços com oferta potencial total a 50, 100, 150 e 300 km. **103**

Figura 30. Participação das fontes de biomassa em três projeções de oferta total no NE. **108**

Figura 31. Participação das fontes de biomassa em três projeções de oferta atual no NE. **109**

LISTA DE TABELAS

Figura 32. Projeção da demanda total de biomassa no NE. **110**

Figura 33. Projeções da demanda de biomassa por setor no NE. **111**

Figura 34. Fluxo físico de biomassa para energia no NE. **117**

Figura 35. Custos finais de biomassa de diversas fontes "posta no consumidor". **118**

Figura 36. Custos comparados de biomassas e respectivas cadeias de valor. **118**

Figura 37. Valor de mercado dos fluxos de biomassa para energia, 2015 (10^6 R\$ ano $^{-1}$). **119**

Figura 38. Dinâmica dos estoques de C orgânico em três usos da terra. **127**

Figura 39. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta total. **130**

Figura 40. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta legal. **131**

Figura 41. Cenários com 100% de fontes legais. **136**

Figura 42. Áreas necessárias para atender a demanda adicional de biomassa com fontes 100% legais e sustentáveis. **138**

Figura 43. Emissões diretas de CO₂ pela queima de biomassa nos cenários BAU e "100% legal", ano 2015. **140**

Tabela 1. Equivalências de diversas unidades de medida de biomassa no NE. **25**

Tabela 2. Disponibilidade potencial de biomassa da vegetação nativa no NE. **28**

Tabela 3. Produtividade da caatinga por classe de precipitação média anual. **28**

Tabela 4. Situação dos PMFSs no Nordeste em 2015. **29**

Tabela 5. Disponibilidade de biomassa a partir de plantios de eucalipto no NE. **32**

Tabela 6. Disponibilidade de biomassa de povoamentos espontâneos de algaroba, 2015. **34**

Tabela 7. Áreas de plantio de cajueiro nos estados do Nordeste. **36**

Tabela 8. Disponibilidade de biomassa a partir de derrubada de cajueiros. **37**

Tabela 9. Área com plantios de "frutíferas diversas" por estado (2014). **39**

Tabela 10. Disponibilidade de biomassa de poda e substituição de "frutíferas diversas". **40**

Tabela 11. Grau de mecanização atingido até 2015 em uma amostra de usinas do NE. **42**

Tabela 12. Área colhida de cana-de-açúcar (2014). **43**

Tabela 13. Disponibilidade de biomassa de pontas e folhas de cana-de-açúcar, atual (2015) e potencial (2030). **44**

Tabela 14. Áreas de plantio de coqueiro nos estados contemplados (2014). **49**

Tabela 15. Disponibilidade de biomassa a partir de resíduos de coqueiro (2014). **51**

Tabela 16. Área e produção de bambu implantado no NE. **54**

- Tabela 17.** Disponibilidades de biomassa no NE, 2015. **55**
- Tabela 18.** Consumo médio de energéticos nos domicílios de três sub-regiões do NE (tep dom.¹ ano⁻¹). **62**
- Tabela 19.** Saturação com combustíveis na amostra de domicílios de três sub-regiões do NE. **63**
- Tabela 20.** Consumo de combustíveis (gás de cozinha, GLP; carvão vegetal, CV; e lenha) nos domicílios do Nordeste, em função de três localizações: Grande Urbana (GU), Pequeno Urbana (PU) e Rural (RU) (ano 2015). **63**
- Tabela 21.** Formas de obtenção de biomassa no setor domiciliar (lenha e carvão vegetal, em tMS ano⁻¹) (ano 2015). **64**
- Tabela 22.** Consumo de biomassa florestal no ramo de celulose e papel do NE, ano 2015. **71**
- Tabela 23.** Consumo de biomassa para energia no ramo de siderurgia no NE, 2015. **73**
- Tabela 24.** Consumo de biomassa pela indústria de cerâmica vermelha na região de estudo, estimado pelos cadastros do INT e APNE. **75**
- Tabela 25.** Estimativa do consumo de biomassa nas padarias do NE, 2015. **78**
- Tabela 26.** Evolução da produção de gesso no período 2008-2013. **81**
- Tabela 27.** Origem da biomassa utilizada nos fornos das casas de farinha no NE. **84**
- Tabela 28.** Número de municípios e produção de mandioca (t ano⁻¹) por UF em 1994 e 2014. **85**
- Tabela 29.** Produção, processamento e consumo de lenha no ramo de beneficiamento de mandioca, por estado do Nordeste. **86**

- Tabela 30.** Demanda de biomassa total por setor e subsetor na região NE. **92**
- Tabela 31.** Balanço e relações entre a demanda e a oferta legal de biomassas na região NE. **95**
- Tabela 32.** Balanço e relações entre a demanda e a oferta total de biomassas na região NE, por estado. **97**
- Tabela 33.** Importância da oferta legal de biomassa no NE. **98**
- Tabela 34.** Emissões brutas e líquidas de CO₂, renovabilidade e emissões específicas por tipo de energético. **124**
- Tabela 35.** Níveis de emissão direta de CO₂ por diversas fontes energéticas. **125**
- Tabela 36.** Estoques de biomassa e carbono (Mg ha⁻¹) em diversos usos da terra do bioma Caatinga. **125**
- Tabela 37.** Dinâmica dos estoques de carbono após 15 anos de uso da terra. **126**
- Tabela 38.** Situação atual estimada de legalidade e sustentabilidade da biomassa para energia. **145**
- Tabela 39.** Situação desejada de legalidade e sustentabilidade da oferta de biomassa. **146**



SIGLAS



APNE | Associação Plantas do Nordeste

APP | Área de Preservação Permanente

ASP | Agrossilvipastoril

BAU | "Business As Usual" – Cenário sem intervenções

CO₂ | Dióxido de carbono

FA | Fator de Acesso

FC | Fator de Colheita

FISET | Fundo de Investimento Setorial

FR | Fator de Renovabilidade

FUE | Fator de Uso Energético

GEE | Gases de Efeito Estufa

GLP | Gás Liquefeito de Petróleo (mistura de propano e butano)

GN | Gás Natural (metano) distribuído por encanamentos ou gasodutos

ha | hectare

IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMA | Incremento Médio Anual

INDC | Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada

INT | Instituto Nacional de Tecnologia (MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações e Comunicações)

MFS | Manejo Florestal Sustentável

Mg | Mega grama

MMA | Ministério do Meio Ambiente

mst | metro estéreo

MUT | Mudança do Uso da Terra

NE | Nordeste do Brasil

OEMA | Organização Estadual do Meio Ambiente

PIFI | Plano Integrado Floresta Indústria

PMFS | Plano de Manejo Florestal Sustentável

PNUD | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RL | Reserva Legal

SIN | Sistema Interligado Nacional (de energia elétrica)

tMS | tonelada de Matéria Seca

USD | Dólares dos Estados Unidos da América

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 12

01 | PORQUE O USO DE BIOMASSA PARA ENERGIA É IMPORTANTE? 14

- Breve histórico de uso da biomassa para energia no Brasil e no NE 16
Objetivo do livro 18

02 | OFERTAS DE BIOMASSA 22

- 2.1. Oferta de florestas nativas 27
- 2.2. Oferta de plantios florestais 30
- 2.3. Oferta de algarobais espontâneos 33
- 2.4. Oferta de cajueiro 36
- 2.5. Oferta de frutíferas diversas 39
- 2.6. Oferta de cana-de-açúcar 42
- 2.7. Oferta de coqueiros 48
- 2.8. Oferta de bambu 53
- 2.9. Quadro geral da oferta de biomassa 55

03 | DEMANDAS DE BIOMASSA 58

- 3.1. Setor domiciliar 59
- 3.2. Setor comercial 66
- 3.3. Setor industrial 68
 - 3.3.1. Ramo de celulose e papel 71
 - 3.3.2. Ramo de siderurgia 73
 - 3.3.3. Ramo de cerâmica vermelha 75
 - 3.3.4. Ramo de padaria 77
 - 3.3.5. Ramo de gesso 81
 - 3.3.6. Ramo de beneficiamento de mandioca 83
 - 3.3.7. Ramo têxtil 87
 - 3.3.8. Ramo de óleos vegetais 89
 - 3.3.9. Outros ramos 91
- 3.4. Quadro geral da demanda de biomassa 92

04 	BALANÇO DE OFERTA E DEMANDA 94
4.1. Balanço atual de Oferta e Demanda 95	
4.2. Balanços nos principais polos consumidores de biomassa 101	
05 	PROJEÇÕES DE OFERTAS E DEMANDAS 106
5.1. Projeções das ofertas 107	
5.2. Projeções das demandas 110	
06 	IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS ASSOCIADOS AO USO DA BIOMASSA 114
07 	EMISSÕES DE CO₂ PELO USO DE DIVERSAS FONTES DE ENERGIA 120
08 	CENÁRIOS PROVÁVEIS 128
09 	CENÁRIOS DESEJADOS COM 100% DE OFERTA LEGAL 132
10 	CONSIDERAÇÕES FINAIS 142
	REFERÊNCIAS 150
	GLOSSÁRIO 151
	ANEXO 1. Matriz com os critérios e indicadores considerados nas projeções de oferta das fontes de biomassa 152
	ANEXO 2. Matriz de tendências consideradas nas projeções de demanda por setor ou ramo de consumo 156
	ANEXO 3. Emissões de GEE por mudanças de uso da terra na caatinga 158

APRESENTAÇÃO

Este estudo é resultado da parceria firmada com a Associação Plantas do Nordeste – APNE, no âmbito do Projeto de Cooperação Manejo do Uso de Terras do Semiárido Brasileiro - Sergipe (Projeto BRA/14/G32), 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.

Intitulado "Biomassa para energia no Nordeste: atualidade e perspectivas", o estudo técnico realizado pela APNE é o resultado do levantamento de dados, principalmente secundários, visitas e entrevistas em campo, com análise e considerações de especialistas da área de desenvolvimento florestal. O principal objetivo foi atualizar a estimativa de demanda e oferta de biomassa para a região Nordeste. Entendendo-se a biomassa como "todo o material sólido constituinte das partes aéreas de vegetais (cultivados ou nativos) que possa ter uso energético, notadamente no bioma Caatinga.

Essencialmente, o estudo responde às seguintes questões: Qual é a demanda por biomassa? Qual é a demanda por lenha? Quais são as tendências e perspectivas futuras das demandas? Quais as fontes atuais e potenciais de biomassa? Todas as fontes são igualmente sustentáveis? Há fontes suficientes de biomassa para atender as demandas? É possível usar biomassa sem gerar emissões de carbono? Como o uso sustentável da biomassa pode contribuir para o alcance das metas do iNDC sobre desmatamento e emissões? Como a demanda de lenha causa desmatamento? É possível assegurar o fornecimento legal de biomassa com mínimas emissões de CO₂?

Os conteúdos técnicos apresentados e os cenários desenhados para os próximos 25 anos oferecem subsídios que poderão ser utilizados no aprimoramento da política energética brasileira, promovendo a contribuição do uso da biomassa, fonte renovável de energia, na matriz energética nacional. A importância desta fonte de economia regional, bem como o papel no manejo sustentável, a eficiência energética no uso da lenha nas indústrias, o combate à desertificação, a gestão da biodiversidade e a redução de emissões de carbono devem ser consideradas.

Espera-se que a presente publicação seja útil para orientar os diversos públicos envolvidos com as questões da utilização da biomassa vegetal como fonte energética, especialmente técnicos, pesquisadores, gestores públicos e empreendedores de setores produtivos usuários de biomassa de base florestal.

Por fim, deseja-se que os conteúdos técnicos apresentados sirvam de elementos para reforçar as bases para o uso e conservação de recursos florestais.

Boa leitura!

Juliana Simões
Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável



01

PORQUE O USO DE BIOMASSA PARA
ENERGIA É IMPORTANTE?





O uso da biomassa como alternativa na luta global contra mudanças climáticas e a procura de alternativas para o desenvolvimento sustentável, têm se mostrado promissoras a curto prazo, visto que:

- a biomassa é uma fonte de energia renovável, disponível, de emissões muito baixas, que pode substituir combustíveis fósseis em muitas aplicações que requerem alta temperatura (eletricidade, sinterização, fusão, calcinação, etc.);
- a biomassa é biodegradável, não gera resíduos contaminantes de alto risco e tem baixa permanência no ambiente;
- está disponível em quase todos os lugares, minimizando a distância de transporte e reduzindo o custo monetário, o gasto de energia e as emissões de GEE por logística;
- sua utilização promove a criação de cadeias de valor locais, gera muitos empregos e alavanca o desenvolvimento regional;
- sua comercialização transfere renda desde as indústrias e consumidores urbanos para o campo e os produtores rurais.

O **Brasil** faz parte da Convenção das Nações Unidas para Combate às Mudanças Climáticas e em 2015 informou sua Contribuição Nacional Pretendida. A meta geral é reduzir suas emissões de GEE até o ano 2030, em 38% em relação ao nível do ano 2005. Para atingir esta meta, o País prevê desenvolver um conjunto de ações, políticas e normativas para aumentar a parcela de bioenergéticos na matriz energética, incrementar



a produção de eletricidade de fontes renováveis como biomassa, solar e eólica, e reduzir o desmatamento e as emissões do setor agropecuário. É muito importante reduzir as emissões por Mudanças de Uso da Terra, que são a maior parcela das emissões de GEE do País.

A **região Nordeste** está numa situação de privilégio em termos de potencial para mitigar emissões de GEE e produzir energia renovável, porque detém os maiores potencias de energia solar e eólica do País, e também um considerável potencial de aproveitamento de biomassa, tanto de fontes cultivadas (como cana-de-açúcar, eucalipto, soja) como de fontes nativas (recursos florestais do bioma Caatinga e Cerrado). Atualmente, no NE, já se utiliza a biomassa como fonte importante de energia primária no processamento de minerais metálicos e não metálicos, alimentos e bebidas, açúcar e álcool, e em outras atividades do setor industrial. Uma parcela significativa da energia consumida no setor domiciliar é oriunda dela. Sua produção para energia é uma importante fonte de trabalho e renda na zona rural, que carece de outras alternativas.

Breve histórico de uso da biomassa para energia no Brasil e no NE

A pós o primeiro choque de preços do petróleo em 1974, o Brasil iniciou um drástico programa para reduzir o consumo de derivados petrolíferos. Criou-se o Conselho Nacional do Petróleo, que estabeleceu um

regime de quotas decrescentes e até a proibição de uso do óleo BPF nas indústrias como cimento, cerâmica vermelha e outras. Também se reforçou o Proálcool e se intensificou a construção de hidroelétricas. O objetivo prioritário na época era reduzir as despesas com importações de petróleo, que já consumiam um terço das divisas obtidas com as exportações. No NE, o impacto maior desta política de substituição do petróleo se deu nas indústrias de cerâmica vermelha, cimento e outras, que passaram a depender quase exclusivamente de lenha e carvão vegetal como fonte energética.

O aumento do consumo de lenha e carvão vegetal verificado a partir de 1975, aumentou as preocupações com o desmatamento, um processo então percebido como um resultado direto da demanda por energéticos florestais. Assim, se estabeleceram mecanismos legais e financeiros para controlar o consumo de lenha e carvão vegetal provenientes de matas nativas; e substituí-los por biomassa de plantios florestais. Alguns destes mecanismos foram o cadastramento dos consumidores, a exigência de elaboração de um Plano Integrado Floresta Indústria (PIFI) para grandes consumidores, e a Obrigação de Reposição Florestal (ou pagamento de taxa equivalente) para médios e pequenos consumidores.

Em geral, estas medidas tiveram pouco sucesso, diante da limitada capacidade de monitoramento, controle e repressão dos órgãos responsáveis (inicialmente o IBDF, depois o IBAMA e atualmente as OEMAs). De fato, um grande número de pequenos consumidores não foi registrado e muitos dos que foram cadastrados





não cumpriram suas obrigações ou declararam consumos menores que os reais. O grau de “legalidade” dos consumidores foi sempre parcial, com poucas exceções e em alguns ramos com estabelecimentos de grande porte.

Por outro lado, um mecanismo de incentivos fiscais do Fundo de Investimentos Setoriais (FISET) permitiu aplicar grandes recursos financeiros para estabelecer plantios florestais. Na maior parte da região NE, os plantios de espécies madeireiras deram poucos resultados positivos. Aliás, a maior parte do investimento aplicou-se em plantios de cajueiro, coqueiro e algodão, para produzir frutas e forragem. Somente no estado da Bahia (sul e Recôncavo) tiveram sucesso os plantios de Pinus e Eucaliptos, em grandes áreas, que foram utilizados mais por novas indústrias de celulose e papel que com fins energéticos. Uma pequena parte dos plantios foi destinada à produção de carvão vegetal e, junto aos resíduos de serraria e madeiras não aptas para celulose, constituem atualmente uma contribuição pequena ao fornecimento de biomassa para energia.

A partir da assinatura da Convenção de Mudanças Climáticas lançada na Rio-92, o foco de atenção no uso de biomassa para energia foi reorientado para:

- a.** maximizar a substituição de energéticos fósseis, para reduzir emissões de GEE; e
- b.** minimizar o desmatamento como processo gerador de emissões de GEE biogênicos.



O segundo assunto gerou grande preocupação internacional e fortes pressões sobre o Brasil, devido à continua expansão da fronteira agropecuária no Cerrado e na Amazônia, mesmo que o desmatamento ali realizado tenha sido e continua a ser para aumentar áreas de pastos e cultivos e não para atender demandas energéticas.

Já na atualidade, e especificamente no Nordeste, o uso de biomassa para energia está pautado por dois processos:

1. a produção de biocombustíveis, principalmente etanol de cana-de-açúcar e biodiesel de soja, este último associado à expansão de fronteiras agropecuárias nos Cerrados da Bahia, do Piauí e do Maranhão;
2. o uso de lenha e carvão vegetal em alguns ramos industriais e nos setores domiciliar e comercial das cidades de todo o NE.

O primeiro processo gera desmatamento para fins agropecuários no Cerrado, onde a biomassa lenhosa é pouco utilizada. O segundo tem levado a crer que existe uma pressão insustentável sobre a vegetação nativa pela extração não autorizada de madeira na caatinga, assunto que é analisado com detalhe nos capítulos a seguir.

Paralelamente, a concentração da agricultura nos polos de irrigação, o desaparecimento dos cultivos tradicionais (como por exemplo o algodão), a baixa rentabilidade da agricultura temporária (ex. milho e feijão)

e o êxodo rural, reduziram o desmatamento para fins agrícolas no bioma Caatinga. A pecuária voltou a ser a atividade produtiva rural dominante, ocupando basicamente matas nativas, capoeiras e roçados abandonados que viraram pastos naturais.

As áreas de pastos plantados também aumentaram nos biomas Caatinga e Cerrado, em muitas delas sem autorização dos órgãos ambientais, fornecendo assim lenha e carvão vegetal de origem ilegal. Porém, no bioma Caatinga, áreas iguais ou maiores que as desmatadas são ao mesmo tempo abandonadas e recolonizadas por vegetação arbórea e arbustiva. Assim, nos últimos dois decênios, não se observou redução da cobertura de vegetação nativa, que se manteve pouco acima de 50% da área total do bioma.

Objetivo do livro

Este livro apresenta os resultados obtidos por um estudo realizado entre março de 2016 e março de 2017, cujo objetivo foi atualizar a estimativa da demanda e oferta de biomassa para energia na região Nordeste. Esta estimativa visa fornecer subsídios para definir políticas de manejo sustentável das terras, gerar energia limpa e renovável e minimizar emissões de GEE. A área de pesquisa, aqui denominada de "Nordeste", compreende os estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia e não corresponde estritamente ao Nordeste legal porque exclui o Maranhão.

Essencialmente, trata-se de responder às seguintes perguntas:

- ❑ Qual é a demanda por biomassa?
- ❑ Qual é a demanda por lenha?
- ❑ Quais são as tendências e perspectivas futuras das demandas?
- ❑ Quais as fontes atuais e potenciais de biomassa?
- ❑ Todas as fontes são igualmente sustentáveis?
- ❑ Há fontes suficientes de biomassa para atender as demandas?
- ❑ É possível usar biomassa sem gerar emissões de carbono?
- ❑ Pode-se atingir as metas do iNDC sobre desmatamento e emissões?
- ❑ A demanda de lenha causa desmatamento?
- ❑ É possível assegurar o fornecimento legal de biomassa com mínimas emissões de CO₂?

O fluxograma do estudo é apresentado na Figura 1.



Figura 1. Fluxograma do estudo e do desenvolvimento dos cenários de balanços de biomassa no NE.

01 | PORQUE O USO DE BIOMASSA PARA ENERGIA É IMPORTANTE?



Com os resultados obtidos e com os cenários desenhados, tem-se subsídios suficientes para definir estratégias que assegurem o atendimento sustentável das demandas de biomassa energética na região. Para

facilitar a apresentação e compreensão dos estudos realizados e dos cenários projetados, organizou-se os conteúdos do livro em dez capítulos.



01

O Capítulo 1 **PORQUE O USO DE BIOMASSA PARA ENERGIA É IMPORTANTE?**, apresenta o histórico e a importância atual do uso de biomassa para energia no Brasil e no NE;



02

No Capítulo 2, **OFERTAS DE BIOMASSA**, são analisadas as fontes de biomassa atuais e potenciais, suas produtividades e disponibilidades;



03

No Capítulo 3, **DEMANDAS POR BIOMASSA**, são apresentados os resultados das estimativas de consumo de biomassa nos setores Comercial, Domiciliar e Industrial;



04

No Capítulo 4, são apresentados os **BALANÇOS DE OFERTA E DEMANDA** atuais por setor, por município e nos polos consumidores;



05

No Capítulo 5, são abordadas as **PROJEÇÕES ESTIMADAS DE OFERTA E DEMANDA** em três situações: Otimista, Média e Pessimista para o período 2015-2030;



06

No Capítulo 6, são descritos a **IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL DA CADEIA DE BIOMASSA** na região e os fluxos físicos envolvidos;



07

No Capítulo 7, é apresentada uma **ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂** com o uso da biomassa em comparação com outras fontes energéticas;



08

No Capítulo 8, são discutidos **CENÁRIOS PROVÁVEIS** para o período 2015 - 2030 a partir das projeções de ofertas e demandas.



09

No Capítulo 9, é apresentado o **CENÁRIO DESEJADO** que visa atingir zero emissões e 100% de legalidade das fontes de biomassa no NE até o ano 2030;



10

O último capítulo apresenta algumas considerações finais a respeito das principais **ALTERNATIVAS E CAMINHOS PARA ALCANÇAR O CENÁRIO DESEJADO**.





02

OFERTAS DE BIOMASSA





A biomassa é entendida neste livro como "todo material sólido constituinte das partes aéreas de vegetais, que possa ter uso energético". As fontes de biomassa são as populações de plantas, cultivadas ou nativas, conforme resumido no quadro abaixo.

Algumas fontes que têm baixa ou nula disponibilidade efetiva, como bagaço de cana-de-açúcar, ou baixo potencial técnico de utilização, como vinhaça da cana-de-açúcar, resíduos urbanos e resíduos do beneficiamento de madeira, não foram consideradas no estudo.

	FONTES TRADICIONAIS	FONTES NOVAS
Florestais	Caatinga	Reflorestamentos com eucalipto
	Cerrado	Algarobais espontâneos
Não florestais	Bambu	
	Cajueiro gigante	Coqueiros
		Frutíferas diversas
		Cana-de-açúcar (palha)

A biomassa de florestas nativas (caatinga e cerrado) pode ser obtida por:

1. corte autorizado em Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), sem mudanças de uso da terra (MUT);
2. corte autorizado, com MUT; e
3. corte não autorizado, com pousio, na caatinga (MUT temporário).



Para poder comparar distintas fontes de biomassa é fundamental usar tonelada de matéria seca como unidade de medida de referência.

Para estimar a oferta total potencial disponível de cada fonte utilizou-se sua área total e produtividade média, afetada por três fatores: (a) fator de acesso (FA); (b) fator de colheita sustentável (FC) e (c) fator de uso energético (FUE). O fator de colheita é a razão entre a biomassa efetivamente colhida e a existente; o fator de acesso é a fração da área que pode ser atingida pela colheita; e o fator de uso energético é a fração da biomassa colhida que é utilizada para obter energia. A oferta potencial ou disponibilidade efetiva de cada fonte ($tMS\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) resulta da fórmula:

Fórmula

Oferta potencial disponível para energia
 $(tMS\ ano^{-1}) = \text{Área (ha)} \times \text{produtividade (tMS ha}^{-1}\ ano^{-1}) \times \text{fator de acesso} \times \text{fator de colheita} \times \text{fator de uso energético}$



Exemplo

A área total da caatinga florestada é de $19,05\ 10^6\ ha$. Sua produtividade média é $3,03\ tMS\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. As limitações de acesso são determinadas pela exclusão de 20% de Reserva Legal e 5% de Área de Preservação Permanente (APP). Logo o fator de acesso é $= 0,75$. O fator de colheita médio é de $0,75$ porque uma parte das árvores ou das áreas em PMFS não é cortada. Considerando que 10% da madeira são utilizados para estacas e mourões, o fator de uso energético é $0,9$.

O produto $(19,05\ 10^6\ ha) \times (3,03\ tMS\ ha^{-1}\ ano^{-1}) \times (0,75) \times (0,75) = 32,5\ 10^6\ tMS\ ano^{-1}$. Este é o valor total estimado de oferta potencial de biomassa de caatinga disponível. Considerando um fator de uso energético de $0,9$ resulta $32,5\ 10^6\ tMS\ ano^{-1} \times (0,9) = 29,2\ 10^6\ tMS\ ano^{-1}$ disponíveis para energia.

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 e de mercado.

A unidade de medida é a tonelada de Matéria Seca (tMS). As equivalências com outras unidades são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equivalências de diversas unidades de medida de biomassa no NE.

Tipo de Biomassa	Unidades tradicionais	Volume empilhado m³	Peso verde da unidade tradicional (t)	Peso Seco da unidade tradicional (tMS)	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

A sustentabilidade do uso da biomassa é muitas vezes confundida com sua legalidade. Porém, o uso legal da biomassa depende do contexto normativo, nacional ou estadual, que muda no decorrer do tempo. Por outro lado, a sustentabilidade é uma condição permanente, que depende basicamente do nível de renovabilidade próprio de cada forma de uso (Figura 2). Uma mesma fonte pode gerar biomassa de modo sustentável ou não sustentável, dependendo do grau de renovabilidade da forma específica de seu aproveitamento.



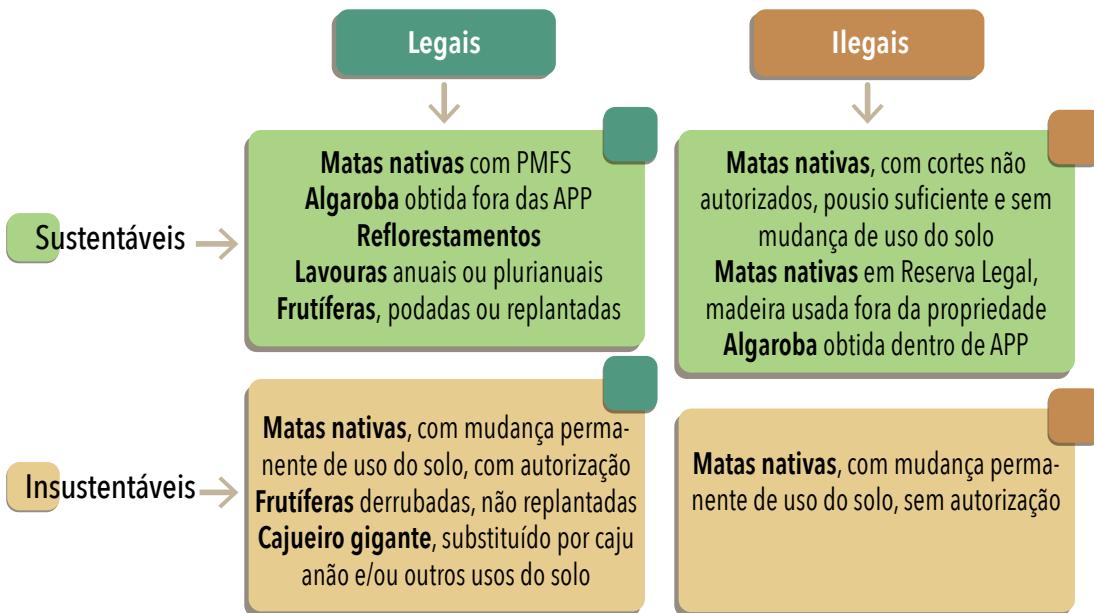


Figura 2. Sustentabilidade e legalidade de uso de distintas fontes de biomassa.

Atualmente, parte da demanda de biomassa na região é atendida por ofertas ilegais, principalmente de vegetação nativa. Nos balanços que serão apresentados nos capítulos específicos, essas ofertas são representadas pelo déficit no balanço demanda/oferta.





2.1. Oferta de florestas nativas

Considerou-se que apenas os biomas Caatinga e Cerrado são fornecedores atuais e potenciais, uma vez que restrições legais praticamente excluem a produção de biomassa da vegetação nativa de Mata Atlântica. A Figura 3 apresenta a distribuição geográfica dos biomas. Na área de estudo, os biomas Caatinga e Cerrado representam 67 e 20 %, respectivamente.

A disponibilidade potencial de biomassa de florestas nativas para uso energético é apresentada na Tabela 2.



Figura 3. Ocorrência de biomas na região Nordeste.



No bioma Caatinga é recomendável implantar o manejo florestal sustentável (MFS) apenas nas áreas com precipitação média acima de 500 mm ano⁻¹, onde a produtividade média ponderada é de 3,03 tMS ha⁻¹ ano⁻¹. As áreas com menos de 500 mm ano⁻¹ têm produtividade muito baixa, conforme apresentado na Tabela 3, e não são recomendadas para manejo florestal.

Tabela 2. Disponibilidade potencial de biomassa da vegetação nativa no NE.

Bioma	Área (10 ⁶ ha)	Produtividade (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita
Caatinga	19,05	3,03	0,75	0,75
Cerrado	2,44	0,9	0,75	0,70
Bioma	Fator de uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para usos não energéticos (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
Caatinga	0,9	32,5	29,2	3,3
Cerrado	0,9	1,2	1,0	0,2

A disponibilidade atual de biomassa legal de caatinga limita-se aos PMFSs ativos¹. Em 2015, esta oferta foi de 1,24 10⁶ tMS ano⁻¹, ou somente 3,8 % do potencial do recurso.

Tabela 3. Produtividade da caatinga por classe de precipitação média anual.

Precipitação média anual	< 500 mm	500 - 700 mm	> 700 mm
Produtividade (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,5	1,4	3,7

Fonte: Pareyn *et al.*, 2015.

O Cerrado do NE pouco contribui para a fornecimento sustentável de biomassa porque existem poucos PMFSs neste bioma. Por outro lado, os desmatamentos autorizados para mudança do uso da terra (MUT) no cerrado geram uma oferta de lenha legal que não foi quantificada.

¹ A disponibilidade de biomassa a partir de autorizações para desmatamento (uso alternativo do solo) é muito limitada e não ultrapassa 1% da demanda.

Tabela 4. Situação dos PMFSs no Nordeste em 2015.

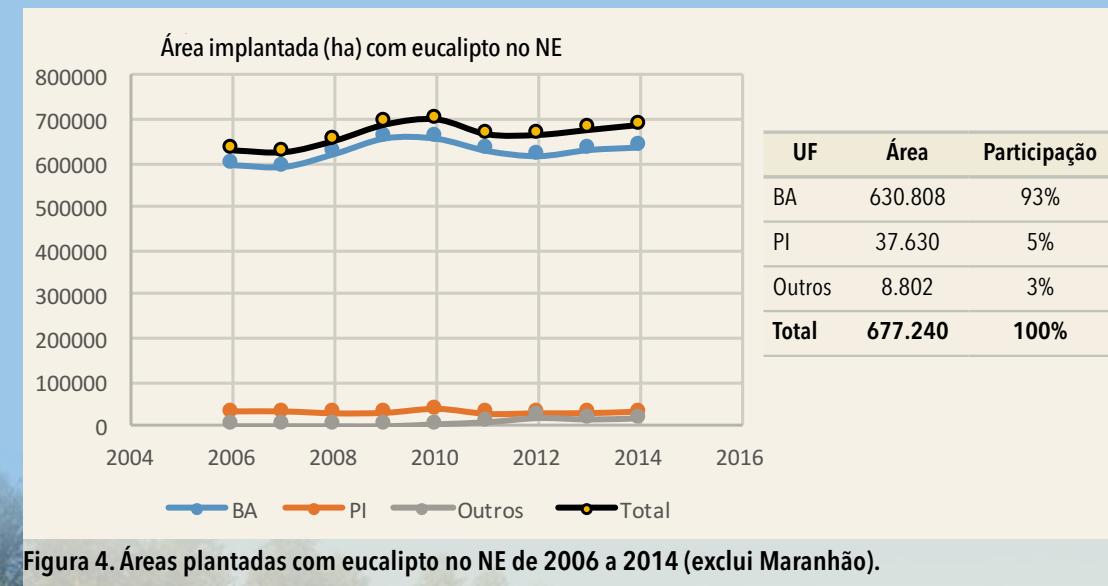
Aspecto	Total	Ativos	Ativos/Total
Número de PMFS	874	588	67%
Área de PMFS (ha)	579.679	393.996	68%
Volume autorizado (10^6 st ano$^{-1}$)	8,05	5,80	72%
Biomassa autorizada (10^6 tMS ano$^{-1}$)	1,72	1,24	72%

Fonte: APNE, 2015.



2.2. Oferta de plantios florestais

Os plantios florestais no Nordeste são quase unicamente com *Eucalyptus* spp. e estão localizados principalmente na Bahia. As áreas implantadas cresceram pouco nos últimos anos (Figura 4).



A distribuição geográfica das áreas de eucalipto é apresentada na Figura 5 (elaborado a partir de dados do Ibá e do IBGE).

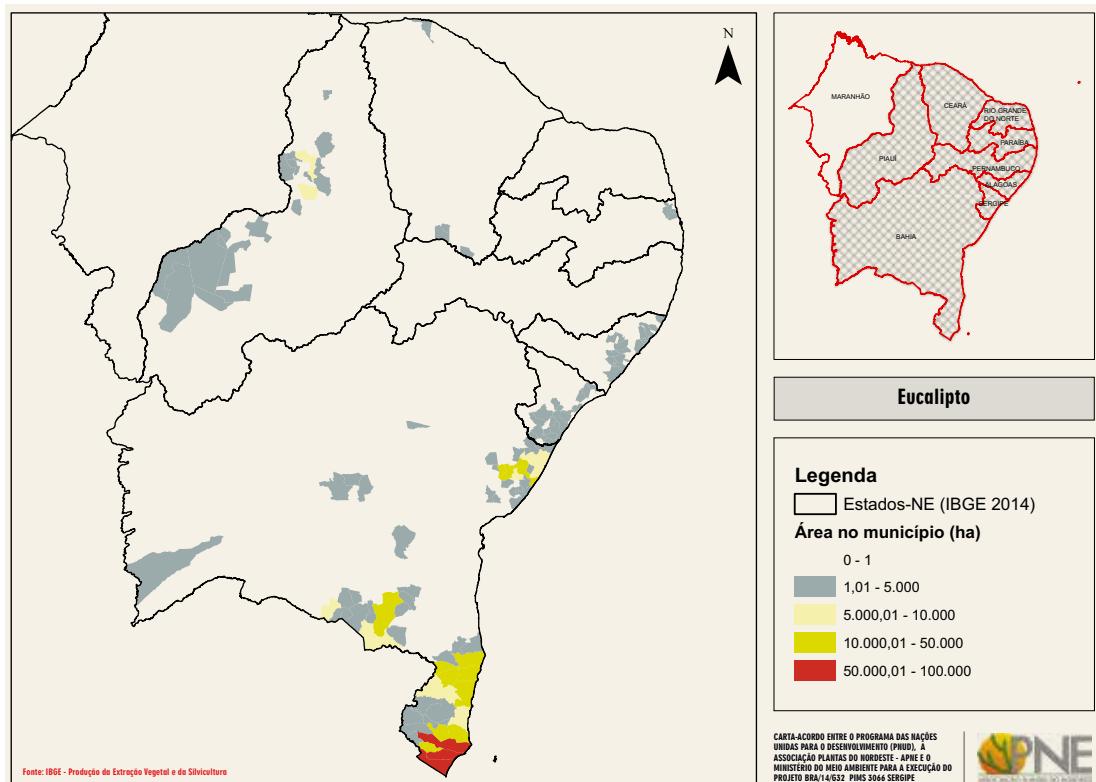


Figura 5. Municípios com plantios de eucalipto no Nordeste (2014).





Os usos da madeira obtida dos plantios de eucalipto são:

- ⦿ Usos primários: a) toras para serraria (diâmetro >14 cm); b) toras e toretes para celulose ou carvão vegetal (diâmetro >6 < 14 cm); e c) lenha (diâmetro <6 cm). Parte da madeira celulósica pode ser vendida como lenha quando o preço para esse uso é maior que o preço pago para celulose ou carvão vegetal.
- ⦿ Usos secundários: mais de 30% da madeira destinada à serraria fica como sarrafos ou aparas que podem ser vendidos como lenha ou transformados em cavacos. Uma parte desses cavacos se destina à celulose e outra parte a combustível, dependendo da qualidade, dos preços e das distâncias até o consumidor.
- ⦿ Desperdícios: uma parte importante dos ponteiros e outros restos da colheita de eucalipto não são recuperados e ficam no campo. Podem ser utilizados como combustível por usuários locais.

A Tabela 5 apresenta a estimativa de disponibilidade de biomassa de eucalipto na região.

Tabela 5. Disponibilidade de biomassa a partir de plantios de eucalipto no NE.

Área (10 ⁶ ha)	Produtividade (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita	Fator de Uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
0,677	18,9	1,00	0,95	0,27*	12,15	3,25

*Estimado considerando a proporção de áreas implantadas pelas empresas de celulose e papel no total.





2.3. Oferta de algarobais espontâneos

A algaroba (*Prosopis juliflora* Griseb.) é uma espécie difundida e estudada em muitas regiões semiáridas do mundo visando produção forrageira e madeireira. Foi introduzida no semiárido brasileiro nos anos quarenta do século passado e fez parte de programas oficiais de reflorestamento (FISET) entre 1970 e 1985.

A espécie adequou-se muito bem às condições ambientais de várzeas e baixios no semiárido, colonizando áreas onde a agricultura foi descontinuada. É dispersada pelos animais, criando povoamentos homogêneos, densos e com rápido crescimento. Atualmente, a espécie está classificada como exótica invasora, porém, com dispersão restrita às áreas de várzeas e baixios.

A algaroba, como fonte de energia apresenta as seguintes vantagens:

- é uma espécie exótica e não há restrições legais para a sua exploração (exceto na Paraíba, onde é necessário inventário e autorização prévia);
- sua madeira é muito adequada para uso energético, pelo tamanho e densidade;
- suas taxas de crescimento altas permitem sistemas de manejo simples e eficazes, com ciclos de corte curtos e diversidade de produtos (lenha, estacas e mourões);
- o uso é uma forma de controle dos povoamentos.

Até o momento, sua disponibilidade foi levantada em três estados (Tabela 6) onde os seus povoamentos ocorrem na maioria dos municípios do Sertão e do Agreste (Figura 6) (Fonte: dados próprios).

**Tabela 6. Disponibilidade de biomassa de povoamentos espontâneos de algaroba, 2015.**

UF	Área (ha)	Produção (tMS ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita	Fator de Uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
RN	17.465	74.356	0,67	1	0,87	0,050	0,043
PB	28.530	126.695	0,72	1	0,87	0,091	0,079
PE	67.159	288.261	0,82	1	0,87	0,236	0,206
Total	113.154	489.312				0,377	0,328

Fonte: APNE, 2016.

A estimativa apresentada abrange só três estados dos oito onde a algaroba pode ocorrer. Assim, a extensão total dos algarobais no NE pode ser de 3 a 5 vezes maior, com disponibilidade de biomassa entre 1,0 a 1,5 10⁶ tMS ano⁻¹. Existem trabalhos já iniciados para mapear e avaliar os algarobais existentes em mais três estados: CE, AL e SE.



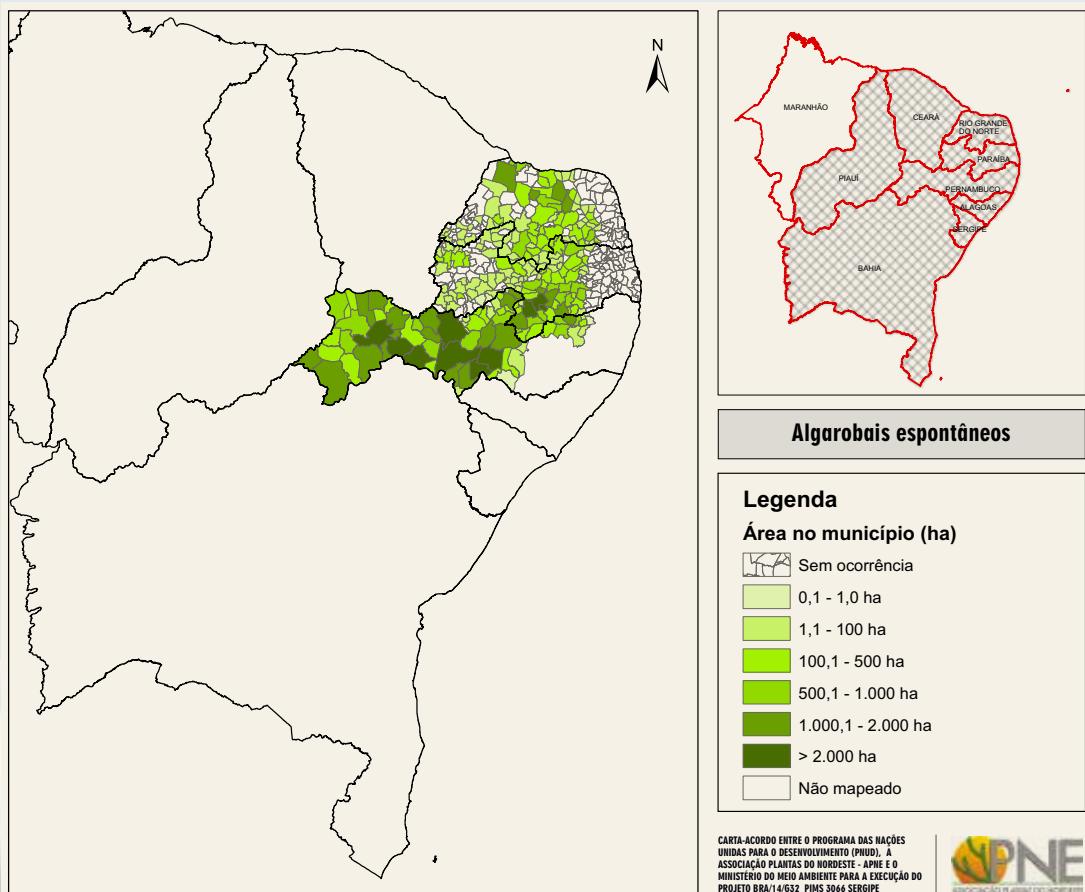


Figura 6. Áreas de algarobais espontâneos nos municípios dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (2015).





2.4. Oferta de cajueiro

Os plantios de cajueiro (*Anacardium occidentalis* L.) são estabelecidos visando a produção do pseudo-fruto e da castanha. A lavoura teve grande ampliação nas décadas de 70 e 80 devido aos incentivos do FISET. Esses plantios utilizavam cajueiros gigantes que, sendo árvores de grande porte, acumularam muita biomassa lenhosa. Desde o início dos anos 2000, foram introduzidos novos genótipos de cajueiros anões, de maior produtividade, qualidade e facilidade de colheita, já quase não sendo mais plantados cajueiros gigantes.

Como a maioria dos plantios já tem idade avançada (20 a 40 anos), é necessária sua poda para promover a frutificação. As podas podem produzir biomassa de forma sustentável, sempre que as árvores podadas continuem crescendo. Na atualidade, com o advento de novas tecnologias (cajueiro anão e substituição de copa) ocorre a derrubada de árvores velhas. Também ocorrem derrubadas dos plantios de cajueiro para mudança de uso da terra, quando a renda desses plantios já não interessa a seus proprietários. Isso já ocorre na Serra de Santana (RN) e Serra de Cuité (PB).

A Figura 7 e a Tabela 7 apresentam as áreas de cajueiro existentes nos estados do Nordeste (ano base 2014).

Tabela 7. Áreas de plantio de cajueiro nos estados do Nordeste.

UF	Área (ha)
PI	92.338
CE	378.094
RN	107.020
PB	4.125
PE	3.571
AL	1.169
SE	0
BA	22.690
Total	609.007

Fonte: IBGE



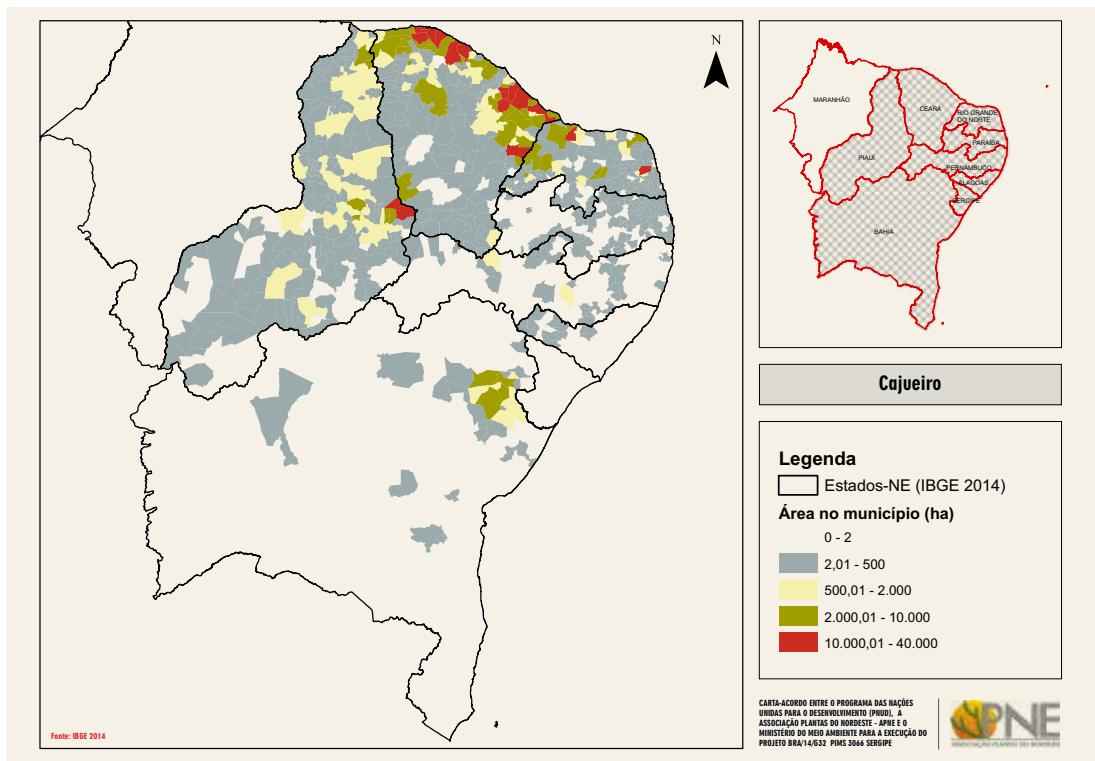


Figura 7. Áreas de cajueiro existentes no NE (2014).

A Tabela 8 apresenta as estimativas de biomassa disponível e explorável nos plantios de cajueiro. A biomassa disponível limita-se ao estoque atual, visto que após a derrubada dos cajueiros gigantes, ainda onde haja substituição de copa ou replantio com cajueiro anão, a produção de biomassa é insignificante. Estima-se que toda essa biomassa será utilizada nos próximos 10 anos, conforme estimativas dos extensionistas de EMATER e comerciantes de lenha.

Tabela 8. Disponibilidade de biomassa a partir de derrubada de cajueiros.

Área (10 ⁶ ha)	Estoque (tMS ano ⁻¹)	Extração 2015 a 2025 (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita	Fator de uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
0,609	36,6	3,7	1,00	0,90	1,00	2,0	2,0



A grande demanda por esta biomassa é devida a três fatores:

- seu preço por unidade de volume é menor que o de outras lenhas;
- não há restrições legais para o seu uso;
- está disponível ao longo do ano, sem sazonalidade da oferta.

A Figura 8 apresenta a dinâmica da área de cajueiro destinada à colheita de frutos (IBGE) de 1994 a 2014. Observa-se o declínio de 2012 a 2014, que coincide com a última grande seca e com o uso intensivo da lenha de cajueiro. Deve-se ressaltar que a proporção de cajueiro gigante na área total vem caindo rapidamente, um fato não indicado nas estatísticas e não visualizado no gráfico.

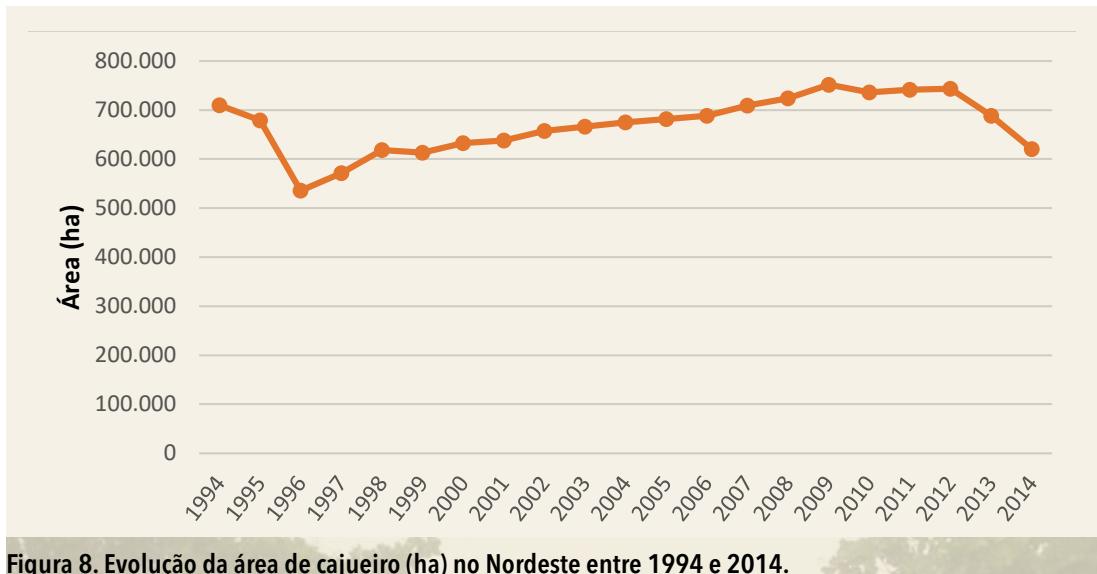


Figura 8. Evolução da área de cajueiro (ha) no Nordeste entre 1994 e 2014.



2.5. Oferta de frutíferas diversas

A biomassa de "frutíferas diversas" – lenha de poda de mangueira, goiabeira, etc. – ganhou importância e interesse dos consumidores de biomassa devido à inexistência de restrições legais para o seu uso. Sua oferta é mais ampla no litoral oriental e nas áreas de cultivos irrigados no sertão.

A Tabela 9 apresenta as áreas plantadas na região Nordeste com abacate, goiaba, laranja, limão, tangerina, manga, e uva, lavouras que tem podas frequentes com produção de biomassa útil. A Figura 9 apresenta a distribuição geográfica. As áreas de frutíferas são grandes, porém as produtividades médias são menores que as de outras fontes.

Tabela 9. Área com plantios de "frutíferas diversas" por estado (2014).

UF	Área (ha)
PI	1.427
CE	11.101
RN	3.847
PB	5.225
PE	22.423
AL	5.441
SE	55.106
BA	96.312
Total	200.882

Fonte: IBGE



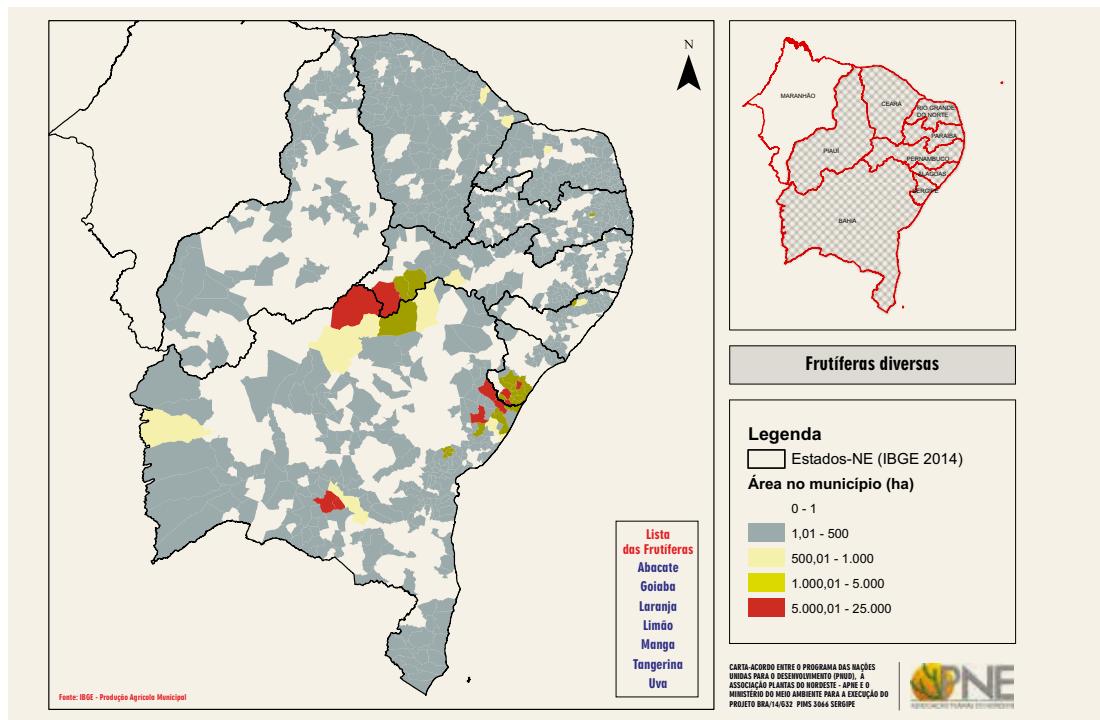
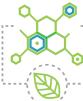


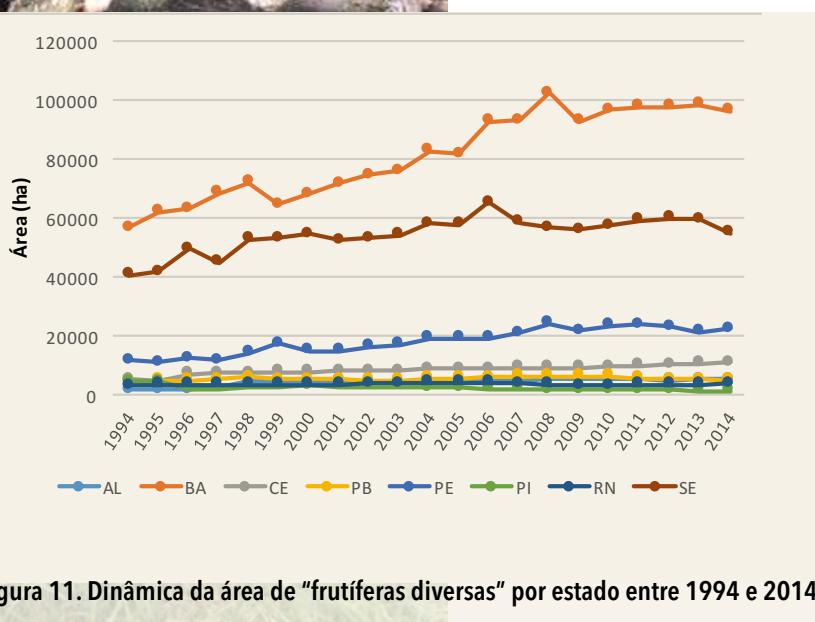
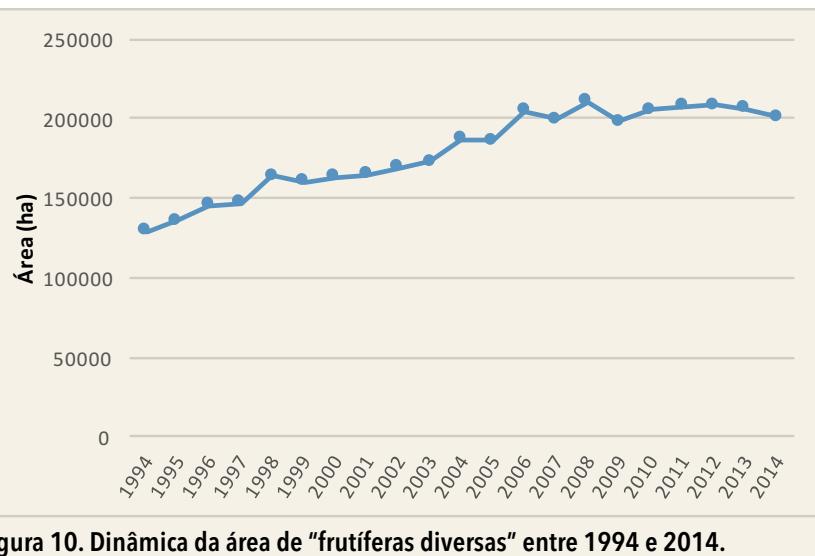
Figura 9. Ocorrência de frutíferas diversas no Nordeste (2014).

A disponibilidade de biomassa de frutíferas foi estimada com base na área plantada e uma estimativa conservadora de produtividade a partir de poda e renovação (Tabela 10).

Tabela 10. Disponibilidade de biomassa de poda e substituição de “frutíferas diversas”.

Área (10 ⁶ ha)	Estoque (tMS ano ⁻¹)	Produtividade (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita	Fator de uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
0,201	sd	1,8	1,00	0,90	1,00	0,33	0,33

A Figura 10 apresenta a dinâmica da área de “frutíferas diversas” destinada à colheita, de 1994 a 2014. Houve uma tendência crescente de 1994 a 2006 e depois, a área manteve-se estável. A Figura 11 apresenta a dinâmica nos diversos estados: Bahia, Sergipe e Pernambuco tem 48%, 27% e 11% da área plantada e os demais estados áreas pouco significativas (13%).





2.6. Oferta de cana-de-açúcar

A lavoura de cana-de-açúcar é uma importante fonte de biomassa no Nordeste. Ocorre na região litorânea oriental, com pequenos encraves no sertão. Produz duas biomassas combustíveis: o bagaço e as pontas e folhas ("palha"), além do caldo transformado em álcool.

O bagaço já foi utilizado por vários setores industriais. Na atualidade, não é acessível para outros ramos fora do sucro-energético por dois motivos: 1) a alta demanda das próprias usinas para cogeração de eletricidade e 2) a alta demanda e altos preços para forragem e celulose.

As pontas e folhas de cana são uma fonte potencial de biomassa. Onde se faz colheita manual de cana, as folhas secas e boa parte das folhas verdes são queimadas antes e depois do corte e não ficam disponíveis. Ao contrário, nas áreas de colheita mecanizada, as folhas secas, folhas verdes e ponteiros não são queimados e deixam em torno de 140 kg de matéria seca por tonelada de cana colhida no campo (CORTEZ; LEAL, 2010).

A colheita mecanizada vem substituindo a colheita manual, devido à:

- ⇒ falta de mão-de-obra;
- ⇒ pressão ambiental e social para reduzir a queima de canaviais;
- ⇒ legislação estadual e federal que objetiva reduzir ao mínimo a queima de canaviais.

A Tabela 11 apresenta o grau de mecanização da colheita mecanizada atingido em 2015 em alguns estados do NE.

Tabela 11. Grau de mecanização atingido até 2015 em uma amostra de usinas do NE.

UF	Usinas	Colheita 2015 (t)	Colheita mecanizada (t)	Mecanizada / Total UF
RN	1	1.400.000	856.000	61%
PB	2	2.600.000	760.000	29%
PE	4	4.750.000	318.000	7%
AL	3	4.400.000	330.000	7,5%
No conjunto	10	13.150.000	2.264.000	17%

A tecnologia de recuperação da palha está sendo utilizada em SP, MS, MG e AL, onde é misturada com o bagaço para aumentar a cogeração de eletricidade nas usinas. O custo estimado em 2005 era de 9,60 USD t⁻¹ de palha seca, compactada em fardos, posta na usina (CORTEZ; LEAL, 2010). Com respeito às distâncias de transporte, e considerando que: a) o peso específico dos fardos de palha (155 a 210 kg MS m⁻³) (CORTEZ; LEAL, 2010) é pouco menor que o peso da lenha de caatinga (210 kgMS mst⁻¹); b) atualmente se transporta lenha a mais de 300 km; e c) boa parte dos polos consumidores de biomassa florestal estão a menos de 300 km das áreas canavieiras. Pode-se concluir que o transporte de palha de cana em fardos é tão viável quanto o transporte da lenha.

A Tabela 12 apresenta a área de cana-de-açúcar em 2014. A Figura 12 traz a distribuição da área colhida.

Tabela 12. Área colhida de cana-de-açúcar (2014).

UF	Área (ha)
PI	14.774
CE	25.190
RN	65.887
PB	119.877
PE	302.932
AL	420.072
SE	48.799
BA	118.645
Total	1.116.176





A disponibilidade atual de biomassa de resíduos da colheita mecanizada de cana é baixa, devido à pouca penetração da colheita mecanizada, que deverá aumentar nos próximos anos, gerando uma ampla oferta potencial de resíduos. A Tabela 13 apresenta as disponibilidades estimadas, admitindo 140 kgMS de pontas e folhas por tonelada de cana colhida.

Tabela 13. Disponibilidade de biomassa de pontas e folhas de cana-de-açúcar, atual (2015) e potencial (2030).

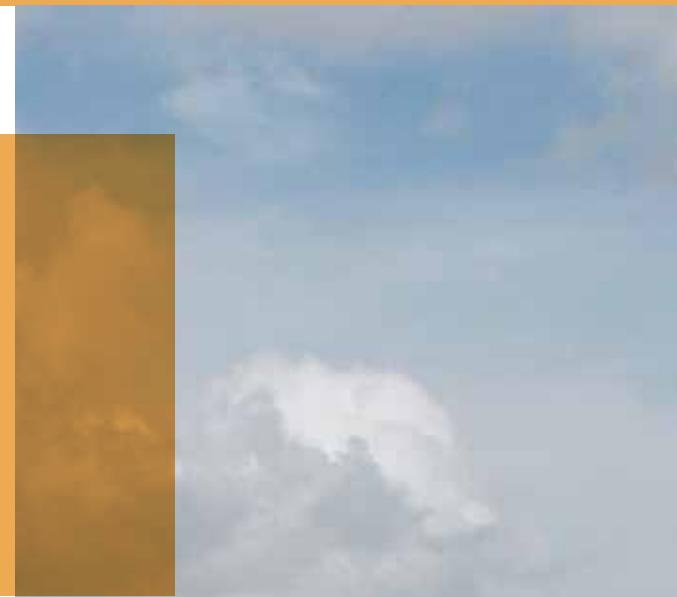
Ano	Área	Cana colhida (t ha ⁻¹)	Pontas e folhas (tMS t ⁻¹ cana)	Fator de acesso
2015	1,116	56,3	0,14	0,17*
2030	1,1	60	0,14	0,30**
Ano	Fator de colheita	Fator de uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
2015	0,70	1,0	1,05	1,05
2030	0,7	1,0	1,94	1,94

* Estimado considerando a proporção de áreas mecanizadas pelas empresas no ano de 2014.

** estimado considerando projeções de aumento de colheita mecanizada.



O fator de acesso da palha de cana-de-açúcar dependerá da evolução da colheita mecanizada e o fator de colheita dependerá do interesse ou da necessidade de reduzir o volume de palha que fica no campo. Considerando que a legislação ambiental prevê a extinção de queima de canaviais e que existe crescente escassez de mão-de-obra para colheita manual, a colheita mecanizada e a necessidade de retirar a palha do campo só poderão aumentar no futuro.



Subsistem ainda dúvidas sobre o fator de colheita apropriado para manter a cobertura do solo e a reciclagem de matéria orgânica. Adotamos o valor de 0,7 recomendado e utilizado no Sul para argissolos e latossolos; porém no NE um valor 0,5 poderia ser adotado para solos mais arenosos considerando a maior taxa de decomposição da matéria orgânica e a maior demanda evaporativa (CORTEZ; LEAL, 2010).



Assumimos um fator de uso energético = 1,0, considerando que toda a palha colhida terá uso energético, seja nas próprias usinas ou fora delas. Contudo, existe ainda a possibilidade de que uma parte seja utilizada no futuro para produção de etanol de 2ª geração ou até para forragem.



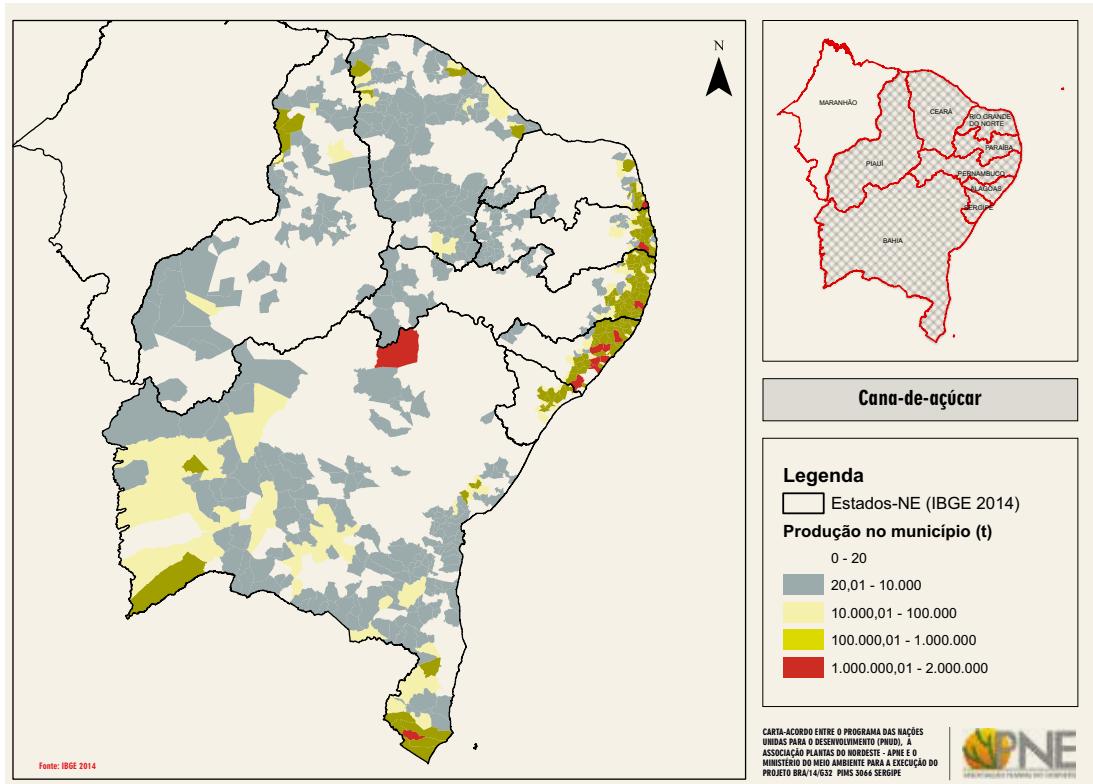


Figura 12. Distribuição das áreas de cana-de-açúcar no Nordeste (2014).

As Figuras 13 e 14 apresentam a dinâmica da área colhida e do total de cana colhida no NE, de 1994 a 2014. Houve redução da área colhida entre 1994 e 2006 com recuperação e manutenção a partir de 2008-2010. O total colhido, no entanto, apresentou uma dinâmica crescente ao longo do período, com aparente estagnação no final.

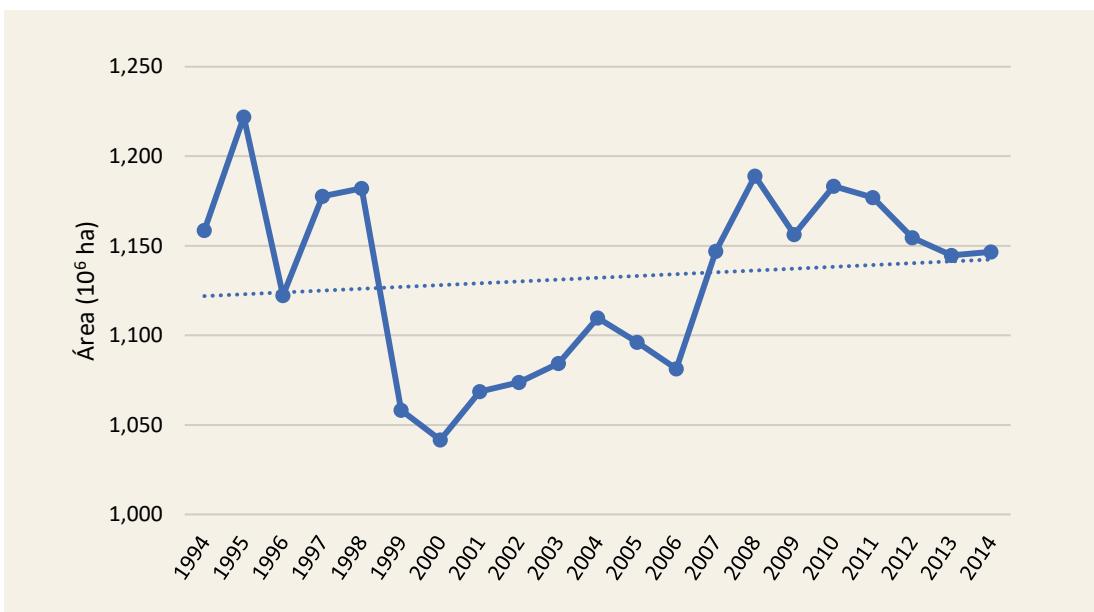


Figura 13. Dinâmica da área colhida de cana-de-açúcar no Nordeste (ha ano⁻¹).

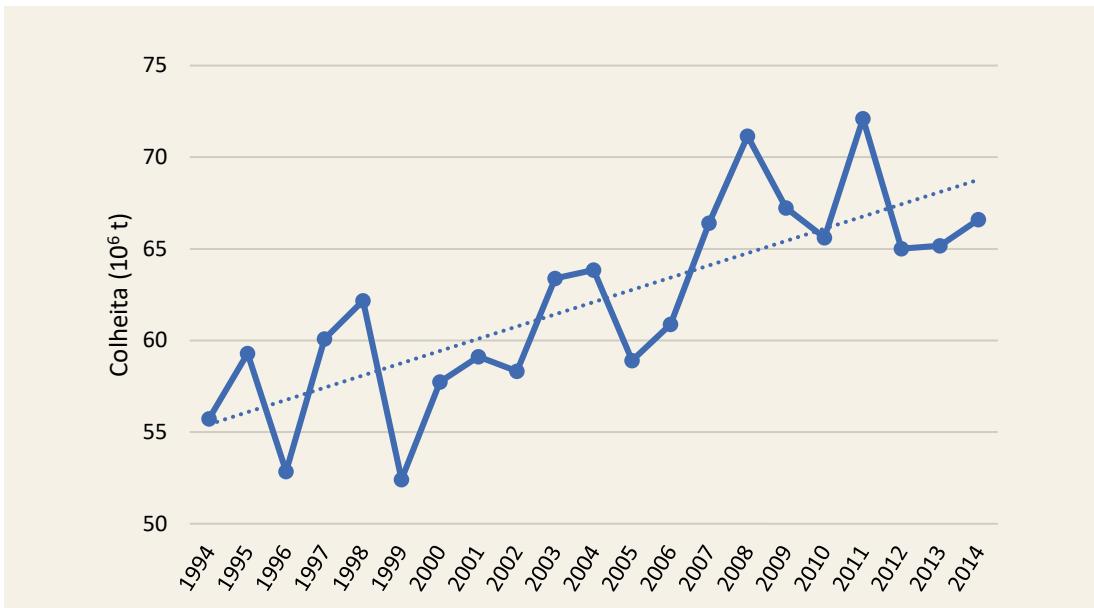


Figura 14. Dinâmica do total colhido de cana-de-açúcar no Nordeste (t ano⁻¹).



2.7. Oferta de coqueiros

Os plantios de coco-da-bahia (*Cocos nucifera* L.) são uma fonte potencial de biomassa, através dos seguintes resíduos:

1. cascas ou "buchas" de coco seco (epicarpo e mesocarpo do fruto dos cocos da variedade gigante, que são retirados para a venda de coco seco descascado);
2. folhas maduras, que são cortadas cada vez que ocorre a colheita de um cacho (tipicamente 12 a 13 vezes por ano) e ficam abandonadas no campo;
3. pedúnculos e espatas, cortados no ato da colheita, são abandonados ou queimados.

Atualmente só as "buchas" são utilizadas como biomassa combustível na indústria de cerâmica vermelha, adquiridas através de um sistema de troca. Os resíduos que ficam nas propriedades rurais (folhas, espatas, pedúnculos) geralmente são queimados (apenas uma grande empresa plantadora os tritura e usa como cobertura morta do solo nos plantios).

Os principais inconvenientes informados no uso dos resíduos de coco como fonte de energia são:

- ⦿ alta umidade das buchas, que devem ser estocadas em galpão para secar; e
- ⦿ baixa densidade e pouco peso individual das buchas.





O custo de aquisição da bucha de coco coletada nos depósitos que processam cocos secos é baixo. Nas fazendas não existem ainda sistemas organizados de coleta de folhas nem de outros resíduos, e, portanto, essa oferta ainda é nula.

Os cocos verdes, obtidos de variedades de coco anão, geram um resíduo diferente, que é o fruto completo menos a "água de coco". Este é coletado como lixo urbano e não foi considerado em nossa estimativa de oferta.

A Tabela 14 apresenta as áreas do cultivo de coqueiro. A Figura 15 apresenta a distribuição geográfica. Os estados mais importantes são Bahia, Ceará e Sergipe com 36%, 21% e 18% da área com coqueiros.

Tabela 14. Áreas de plantio de coqueiro nos estados contemplados (2014).

UF	Área coqueiro(ha)
PI	914
CE	42.168
RN	17.113
PB	8.845
PE	7.849
AL	14.832
SE	37.548
BA	73.697
Total	202.966

Fonte:IBGE



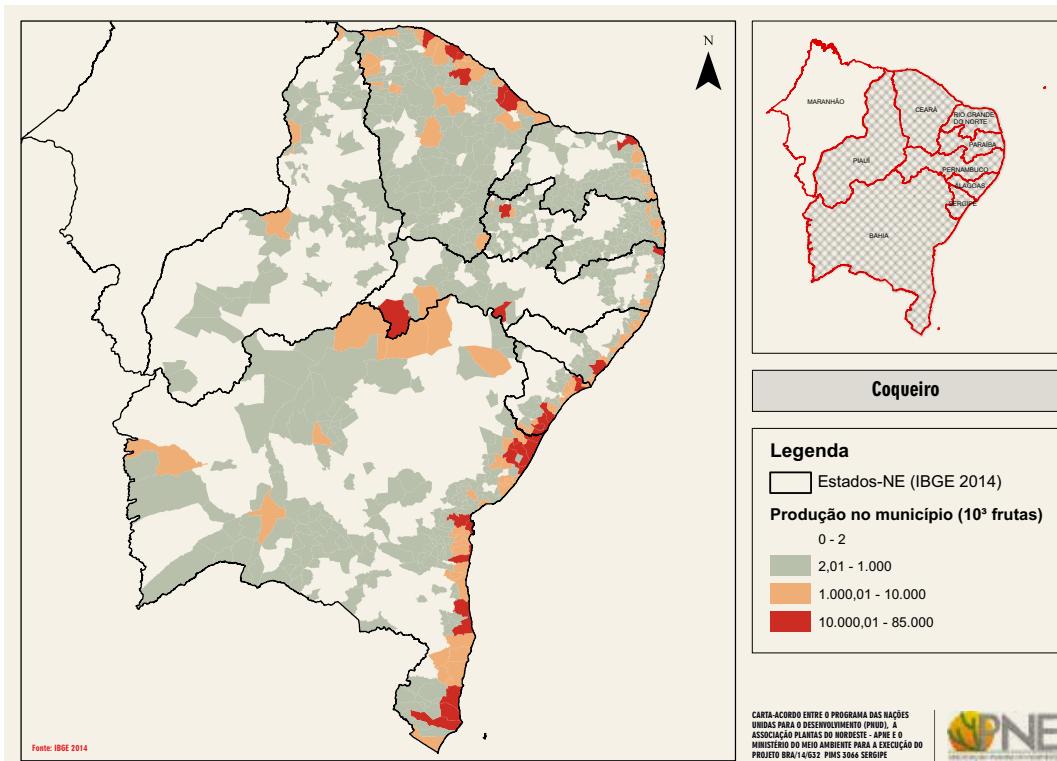


Figura 15. Distribuição da produção de coco (2014).

A Tabela 15 apresenta a disponibilidade de biomassa de resíduos de coqueiro a partir das seguintes estimativas próprias:

- ➔ produção média de 6 mil frutos de coco gigante por hectare por ano;
 - ➔ peso médio de uma bucha de coco seco = 0,509 kg (matéria seca);
 - ➔ produção média de folhas = 1,44 tMS por hectare e por ano;
 - ➔ produção média de espatas e pedúnculos = 0,6 tMS por hectare e por ano



Tabela 15. Disponibilidade de biomassa a partir de resíduos de coqueiro (2014).

Resíduo	Área (10 ⁶ ha)	Produtividade (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Fator de acesso	Fator de colheita	Fator de uso energético	Disponibilidade total (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Disponibilidade para energia (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)
Bucha	0,203	3,05	0,46*	0,8	0,8	0,23	0,18
Folha	0,203	1,44	1	0,5	1	0,15	0,15
Espata + pedún- culo	0,203	0,6	1	0,5	1	0,06	0,06
Total	0,203					0,44	0,39

* considerando só os cocos produzidos pelas variedades Gigante e Híbrido, vendidos como coco seco.

As buchas de coco já estão sendo utilizadas como combustível por vários ramos industriais (cerâmicas, casas de farinha, mineradoras de calcário) e uma parte da oferta potencial pode ser considerado como atual. Existem outros usos não energéticos como substratos para jardinagem, fibras para usos diversos, com demandas pouco significativas na atualidade. Estas demandas alternativas podem crescer no futuro, como ocorre em outros países.

A evolução da área de coqueiro no NE foi pouco expressiva de 1994 a 2014, como pode ser observado nas Figuras 16 e 17. Apenas na Bahia e no Ceará houve aumento da área de coqueiro até 2005. A partir desse momento, a área de coqueiro entrou em declínio.

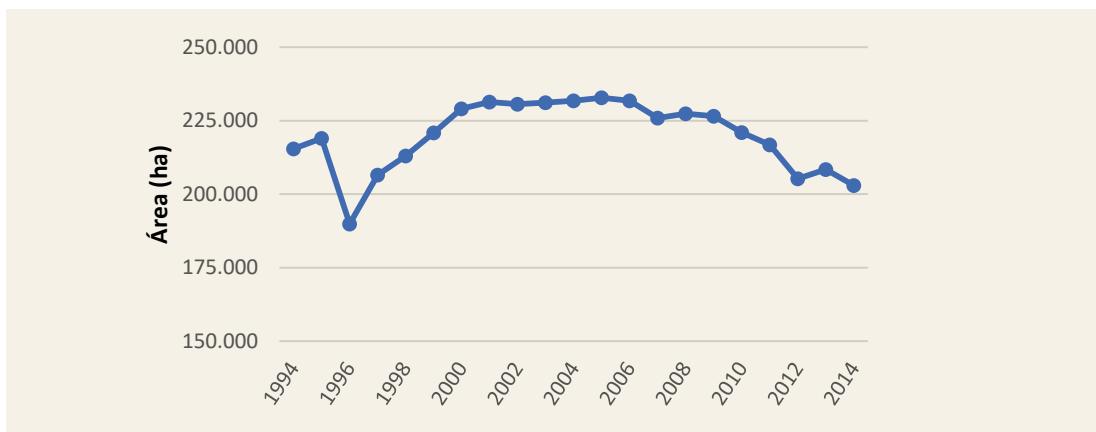


Figura 16. Evolução da área de coqueiros no Nordeste 1994-2014.

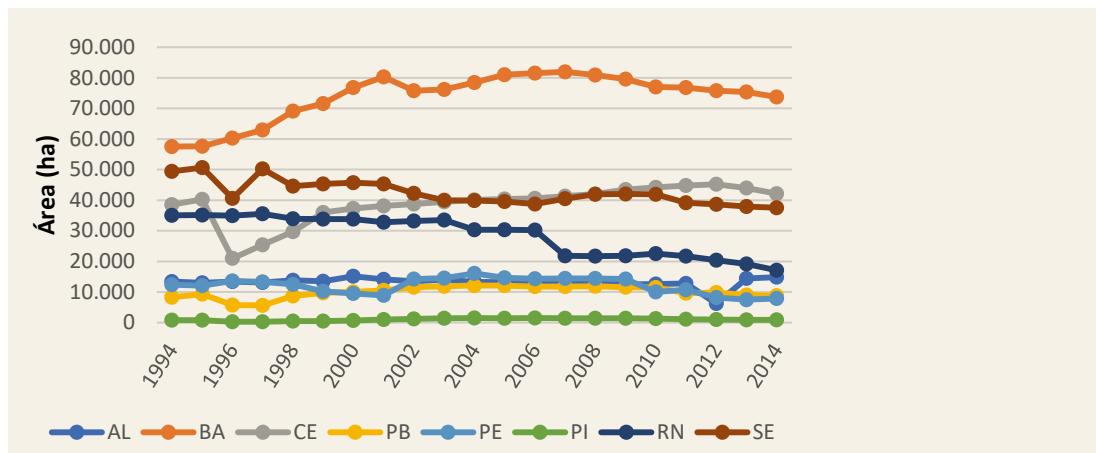


Figura 17. Evolução da área de coqueiros por estado, 1994-2014.

O uso da biomassa residual do coqueiro para fins energéticos confronta-se com vários desafios:

- ➊ é necessário desenvolver tecnologia de processamento que facilite a alimentação dos sistemas de queima nas indústrias, já que buchas, folhas e espatas são muito volumosas, porém de baixo peso individual;
- ➋ a densidade aparente destes resíduos é extremamente baixa (menos de $0,090 \text{ tMS m}^{-3}$) fato que torna o seu transporte muito oneroso;
- ➌ atualmente, o preço pago pelos resíduos de coco é muito baixo ou nulo, o que não incentiva os agricultores a realizar sua colheita e armazenamento em sítios apropriados e não favorece o processamento;
- ➍ é necessário desenvolver uma cadeia produtiva com preços atrativos para todos os envolvidos (coletor, intermediário, transportador e usuário final).





2.8. Oferta de bambu

O bambu ocorre no Nordeste de duas maneiras:

- ⦿ como plantios maciços, principalmente para atender à indústria de papel e celulose;
- ⦿ como plantios em faixas e linhas divisórias de propriedades, que se espalham em povoamentos de dispersão natural, como ocorre frequentemente no estado da Bahia.

Não existem estatísticas sobre as áreas de bambu o que torna as estimativas de disponibilidade muito difíceis. Em PE e PB, o Grupo João Santos possui quase 12.000 hectares de plantios maciços. Perto de mil hectares em cada estado localizam-se nas Reservas Legais e, portanto, não são explorados. São colhidas 9.500 ha com rendimento de 27 t ha^{-1} de bambu seco ao ar em PE e 18 t ha^{-1} na PB, a cada dois anos. Seu destino é uma fábrica de celulose, onde 8% (cavacos de rejeito) são utilizados como biomassa para energia. Na BA, a companhia Penha (antiga "Papéis Santo Amaro") aproveita 3.000 ha de plantios de bambu para produzir cavacos para caldeira. O bambu é colhido a cada 3 anos, com rendimento de 25 t de material fresco por hectare (Tabela 16).

**Tabela 16. Área e produção de bambu implantado no NE.**

Estado	Área (ha)	IMA (tMS ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Produção (tMS ano ⁻¹)	Consumo para energia (tMS ano ⁻¹)
Bahia	3.000	6	18.000	18.000
Pernambuco e Paraíba	9.398	8	75.184	6.015
Total	12.398		93.184	24.015

No litoral Norte de Bahia existem áreas de bambuzais originados por expansão de plantios lineares (divisas de propriedades). Estas fontes têm importância local, porém não existem estatísticas sobre sua extensão ou produção.



2.9. Quadro geral da oferta de biomassa

A Tabela 17 apresenta uma síntese das ofertas de biomassa, dividida entre fontes atuais e legais e fontes potenciais.

Tabela 17. Disponibilidades de biomassa no NE, 2015.

Tipo	Fonte	Área total (10 ⁶ ha)	Biomassa total disponível (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Biomassa energética (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Biomassa energética (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Na Biomassa total	Na Biomassa energética
Atual, de fontes legais	Planos de manejo florestal	0,39	0,79	0,71	0,08	2%	2%
	Eucalipto	0,68	12,15	3,25	8,9	24%	8%
	Cajueiro	0,61	2,00	2,00	0	4%	5%
	Algarobais	0,11	0,38	0,33	0,05	1%	1%
	Bambu	0,01	0,09	0,02	0,07	0%	0%
	Frutíferas diversas	0,2	0,33	0,33	0	1%	1%
Subtotal		2,00	15,74	6,64	9,10	32%	17%
Potencial	Palha de cana	1,12	1,05	1,05	0	2%	3%
	Coqueiro	0,20	0,44	0,39	0,05	1%	1%
	Caatinga	19,05	32,5	29,2	3,30	64%	76%
	Cerrado	2,44	1,20	1,00	0,20	2%	3%
Subtotal		22,81	35,19	31,64	3,55	69%	83%
Total Geral		24,81	50,93	38,28	12,65	101%	100%



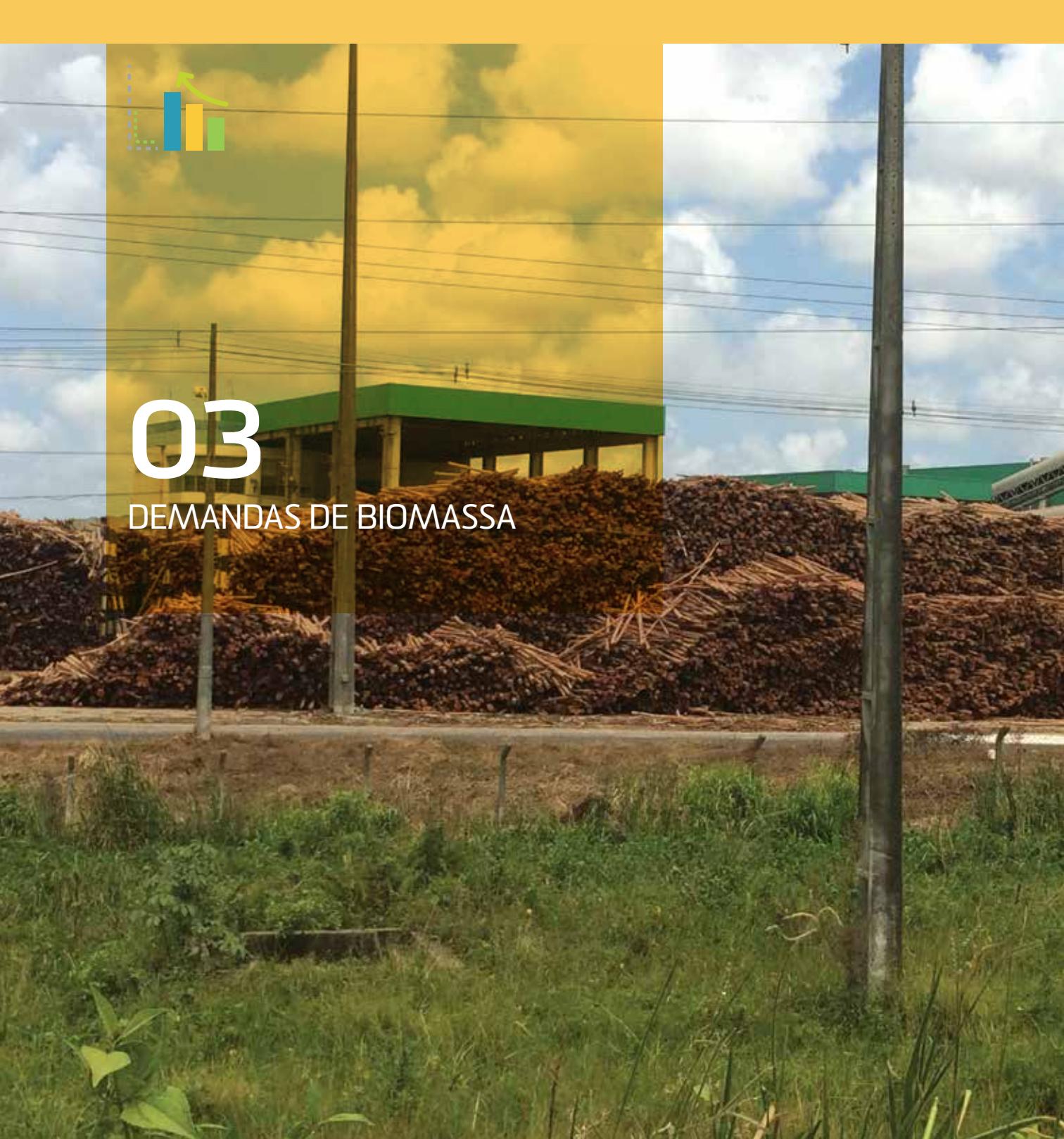
Considerando a Tabela 17, pode-se concluir que:

- menos de um décimo da área das fontes potenciais é atualmente utilizada para obter biomassa de forma legal;
- só uma sexta parte da biomassa potencialmente disponível entra legalmente no mercado;
- três quartos da biomassa potencialmente disponível poderiam ser utilizadas para energia.

Evidentemente, existem amplas oportunidades para aumentar a oferta de fontes legais, sobretudo com biomassa florestal de caatinga e cerrado, além de resíduos de cana e coqueiros.







03

DEMANDAS DE BIOMASSA



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

A demanda não-energética foi considerada só a madeira utilizada para reposição de cercas nas propriedades rurais, com um consumo anual estimado em $0,63 \cdot 10^6$ tMS, que resulta pouco significativo no total da região NE.

Na demanda de biomassa energética (que é consumida para gerar calor por meio da combustão), foram incluídos três setores consumidores, excluindo biocombustíveis líquidos do setor de transportes porque o foco deste estudo é em biomassas sólidas:

- 1.** Domiciliar
- 2.** Industrial
- 3.** Comercial

3.1. Setor domiciliar

O setor domiciliar está formado pelas residências onde os energéticos são utilizados para cozinhar e esquentar água, para uso dos moradores.

As residências onde são realizadas atividades comerciais ou de prestação de serviços para terceiros não foram consideradas na amostragem do setor domiciliar, porque seus consumos atendem a outras finalidades.



O número de domicílios do NE e sua localização foram obtidos do Censo Demográfico do IBGE, 2010. O número foi atualizado para o ano de 2015 conforme as projeções do IBGE (Figura 18).

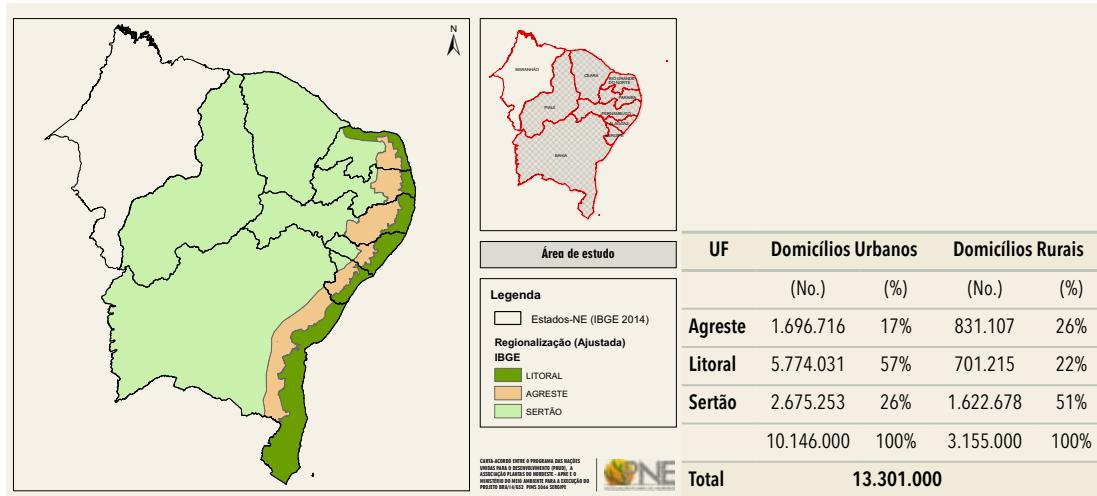


Figura 18. Número de domicílios urbanos e rurais por sub-região.



Para estimar o consumo de energéticos por domicílio, foi realizada uma pesquisa direta por amostragem em 1.532 domicílios, localizados em 66 municípios de quatro Estados: PB, PE, SE e BA (Figura 19). A amostragem foi distribuída em três faixas de renda (Alta = 76 casos; Média = 374 casos; Baixa = 1082 casos) e em três localizações (Grande Urbana - GU, Pequeno Urbana - PU, Rural - RU).

As variáveis levantadas foram:

- a. Número de moradores;
- b. Número de refeições preparadas por dia;
- c. Tipo, quantidade e preço do(s) combustível(is) utilizado(s) para cozinhar;
- d. Consumo de cada combustível por unidade de tempo (nas unidades declaradas pelo entrevistado);
- e. Origem da biomassa florestal, tanto a usada diretamente (lenha) como a utilizada para fabricar carvão.

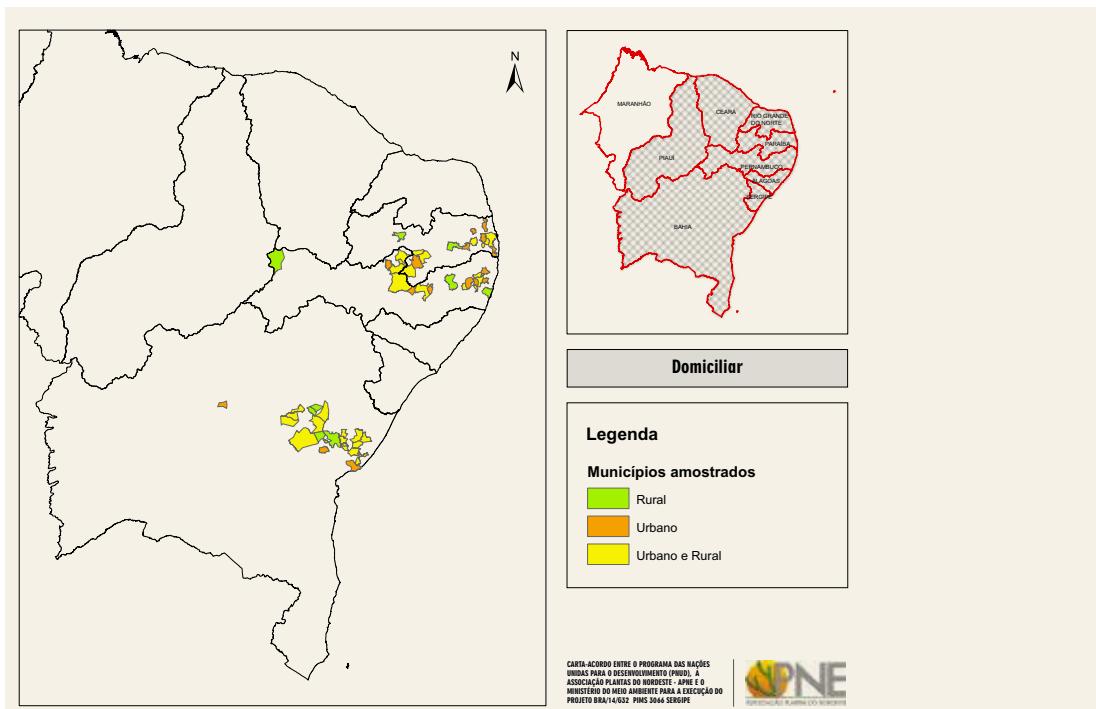


Figura 19. Distribuição geográfica da amostragem de domicílios.



Os resultados da pesquisa de campo são resumidos na Tabela 18.

Tabela 18. Consumo médio de energéticos nos domicílios de três sub-regiões do NE (tep dom.⁻¹ ano⁻¹).

		GLP	%	CV	%	LE	%	Total
Litoral	GU	0,108	91	0,009	8	0,001	1	0,118
Agreste	GU	0,147	95	0,007	5	0,000	0	0,154
Litoral	PU	0,152	80	0,022	12	0,016	8	0,190
	RU	0,139	28	0,029	6	0,332	66	0,500
Agreste	PU	0,136	78	0,027	15	0,011	7	0,174
	RU	0,134	20	0,035	5	0,489	74	0,657
Sertão	PU	0,130	76	0,034	20	0,008	5	0,172
	RU	0,110	20	0,078	14	0,377	67	0,566
Média		0,132	42	0,030	9	0,154	49	0,316

Localização dos domicílios: GU = Grande Urbana; PU = Pequeno urbana; RU = rural

O GLP teve consumos similares em todas as sub-regiões e nas localizações PU e RU. A lenha resultou importante apenas nos domicílios rurais. O carvão vegetal é pouco usado nas grandes cidades, sendo mais comum nos domicílios pequeno urbanos e rurais. A saturação com combustíveis é apresentada na Tabela 19.



É notório que o maior uso de lenha nos domicílios rurais não é acompanhado por menor consumo de GLP. Provavelmente, isto é devido 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%). Os energéticos florestais são sempre usados em combinação com GLP.

Tabela 19. Saturação com combustíveis na amostra de domicílios de três sub-regiões do NE.

Local	GLP+GE	GLP+CV	GLP+ LE	GLP+CV+LE	CV	CV+LE	LE	Total geral
GU	84%	16%	1%	0%	0%	0%	0%	100%
PU	64%	32%	3%	1%	0%	0%	0%	100%
RU	30%	25%	34%	8%	1%	0%	1%	100%
Total	50%	28%	17%	4%	0%	0%	1%	100%

Localização dos domicílios: GU = Grande Urbana; PU = Pequeno urbana; RU = rural

O consumo total de combustíveis no setor domiciliar, estimado com base nas médias da amostra, está apresentado na Tabela 20. Observa-se que GLP tem valor similar à lenha e ao carvão vegetal somados.

Tabela 20. Consumo de combustíveis (gás de cozinha, GLP; carvão vegetal, CV; e lenha) nos domicílios do Nordeste, em função de três localizações: Grande Urbana (GU), Pequeno Urbana (PU) e Rural (RU) (ano 2015).

Local	Nº de domicílios	GLP	CV	Lenha	Total
					tep ano ⁻¹ / %
GU	4.563.938	500.926	43.559		544.485
					92,0% 8,0% 100%
PU	6.302.581	987.095	328.523	21.675	1.337.294
					73,8% 24,6% 1,6% 100,0%
RU	4.003.144	367.482	309.277	1.457.314	2.143.074
					17,6% 14,4% 68,0% 100%
Total	14.869.662	1.864.503	681.359	1.478.990	4.024.852
					46,3% 16,9% 36,8% 100%

Localização dos domicílios: GU = Grande Urbana; PU = Pequeno Urbano; RU = Rural



A biomassa consumida foi classificada em três grupos, segundo sua forma de obtenção (Tabela 21):

1. Comprada: assume-se que foi cortada nas matas;
2. Cortada viva: o próprio usuário cortou a lenha de árvores vivas, em matas ou em áreas antropizadas;
3. Coletada morta: o usuário obteve a biomassa por catação de material morto (galhos, ramos e tocos).



Tabela 21. Formas de obtenção de biomassa no setor domiciliar (lenha e carvão vegetal, em tMS ano⁻¹) (ano 2015).

Subsetor	Comprada	Cortada viva	Coletada morta	Total	%
Grande urbano	268.506	0	0	268.506	4%
Pequeno urbano	1.031.287	14.827	212.338	1.258.451	19%
Rural	1.387.762	388.307	3.415.862	5.191.930	77%
Total NE	2.687.555	403.133	3.628.200	6.718.888	100%
%	40%	6%	54%	100%	



O levantamento revelou um padrão de saturação de combustíveis e intensidade de uso caracterizado da seguinte forma:

- ◆ nos domicílios urbanos, o GLP, combinado ou não, está em 99% dos casos, e a lenha tem participação muito baixa;
- ◆ nos domicílios rurais, o GLP "puro" ocorre em 30% dos casos, e combinado com lenha e carvão vegetal chega a 98% da população;
- ◆ o número médio de moradores por domicílio caiu de 4,5 (em 1990) para 3,2 (em 2015), em domicílios urbanos e rurais por igual;
- ◆ o consumo de biomassa era de 1,3 st hab⁻¹ ano⁻¹ nos anos 90 (Projeto PNUD/FAO) e agora é de 0,5.
- ◆ o GLP representa 46,3% da energia primária, e a biomassa fornece 53,7 %;
- ◆ 54% da biomassa consumida no setor domiciliar é coletada como lenha morta, sem gerar emissões de CO₂ ou redução dos estoques de carbono orgânico da vegetação.





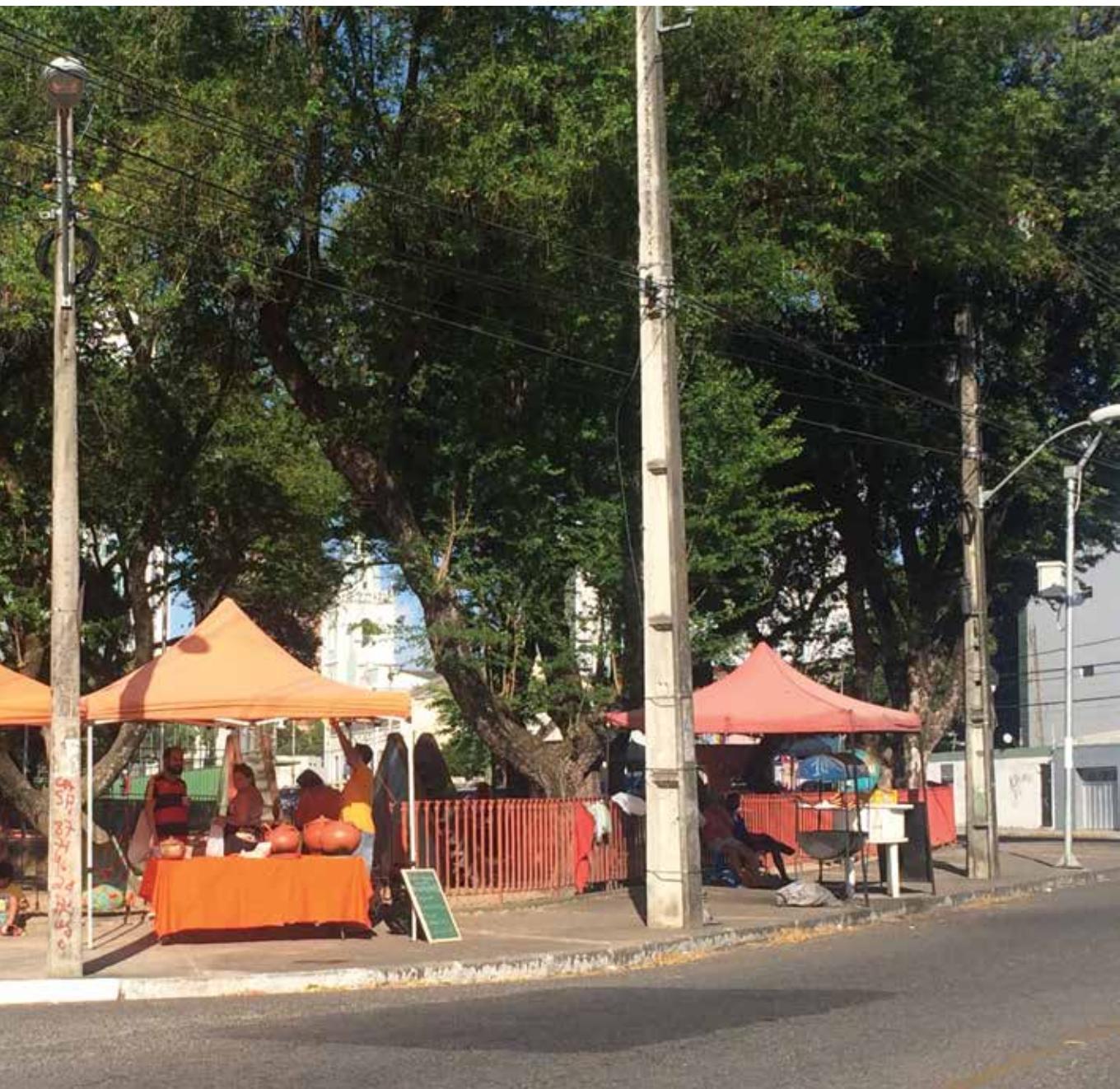
3.2. Setor comercial

O setor comercial é formado pelos estabelecimentos dedicados à preparação de alimentos para a venda. A estimativa de sua demanda confronta-se com diversas características que dificultam a quantificação do consumo:

1. A informalidade de grande número de empreendimentos torna qualquer tipo de cadastro praticamente impossível: a informalidade é comum em estabelecimentos medianos (restaurantes, lanchonetes) e quase total nas "comidas de rua" (galeto assado, espetinho, tapioca, milho cozido, entre outros);
2. A grande diversidade de porte dos estabelecimentos, tanto formais como informais, provoca grande dispersão no padrão de consumo de energia (fonte energética, equipamento utilizado, quantidade).

Uma estimativa pode ser feita adotando o consumo médio "per capita" encontrado em outros países de cultura alimentar similar (ex. México – 5 kg de carvão vegetal por habitante e por ano, ou $13,6 \text{ kgMS hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), considerando que o consumo de biomassa no setor comercial é principalmente de carvão vegetal como se verifica em quase todos os estabelecimentos informais e boa parte dos formais. Utilizando um valor médio de consumo "per capita" de 5 kg de carvão vegetal por ano, para uma população consumidora de 46,5 milhões de pessoas, obtém-se uma estimativa de $232,5 \cdot 10^6 \text{ kg carvão ano}^{-1}$. Isto equivale a $0,632 \cdot 10^6 \text{ tMS}$ de equivalente lenha, assumindo uma conversão de 4 kg de lenha para 1 kg de carvão vegetal.







3.3. Setor industrial

O setor industrial é formado por estabelecimentos que processam diversas matérias primas ou produtos semielaborados para obter produtos manufaturados, classificados em ramos e sub-ramos de atividade segundo o tipo de produto obtido ou a matéria prima utilizada.

Estudos anteriores no NE (Projeto PNUD/FAO e SEMARH/SE) identificaram até 26 ramos e sub-ramos industriais consumidores de biomassa energética e salientaram que oito destes respondiam por mais de 80% da demanda (Figura 20).

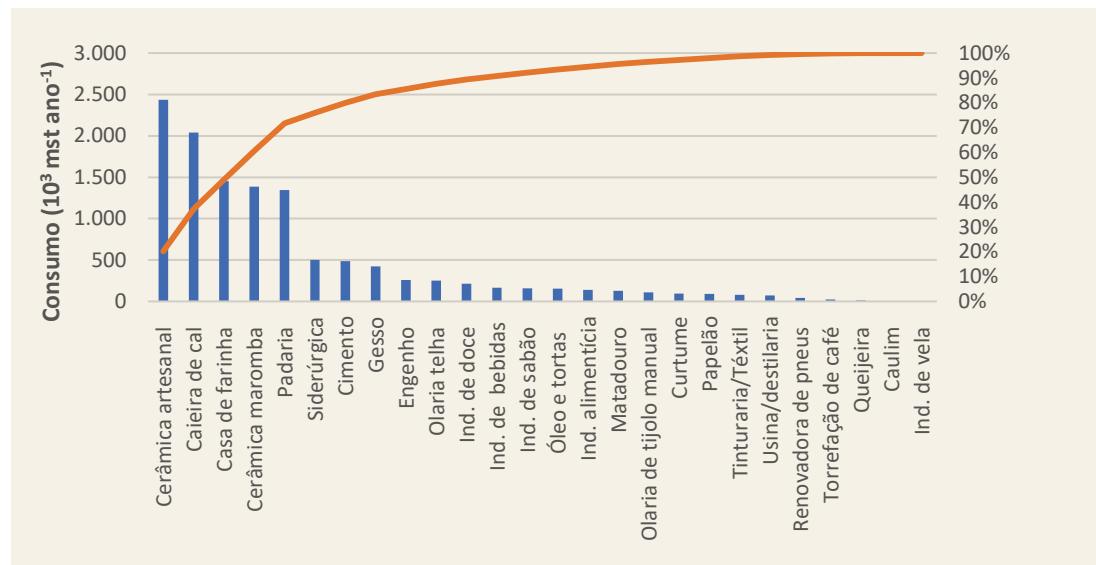


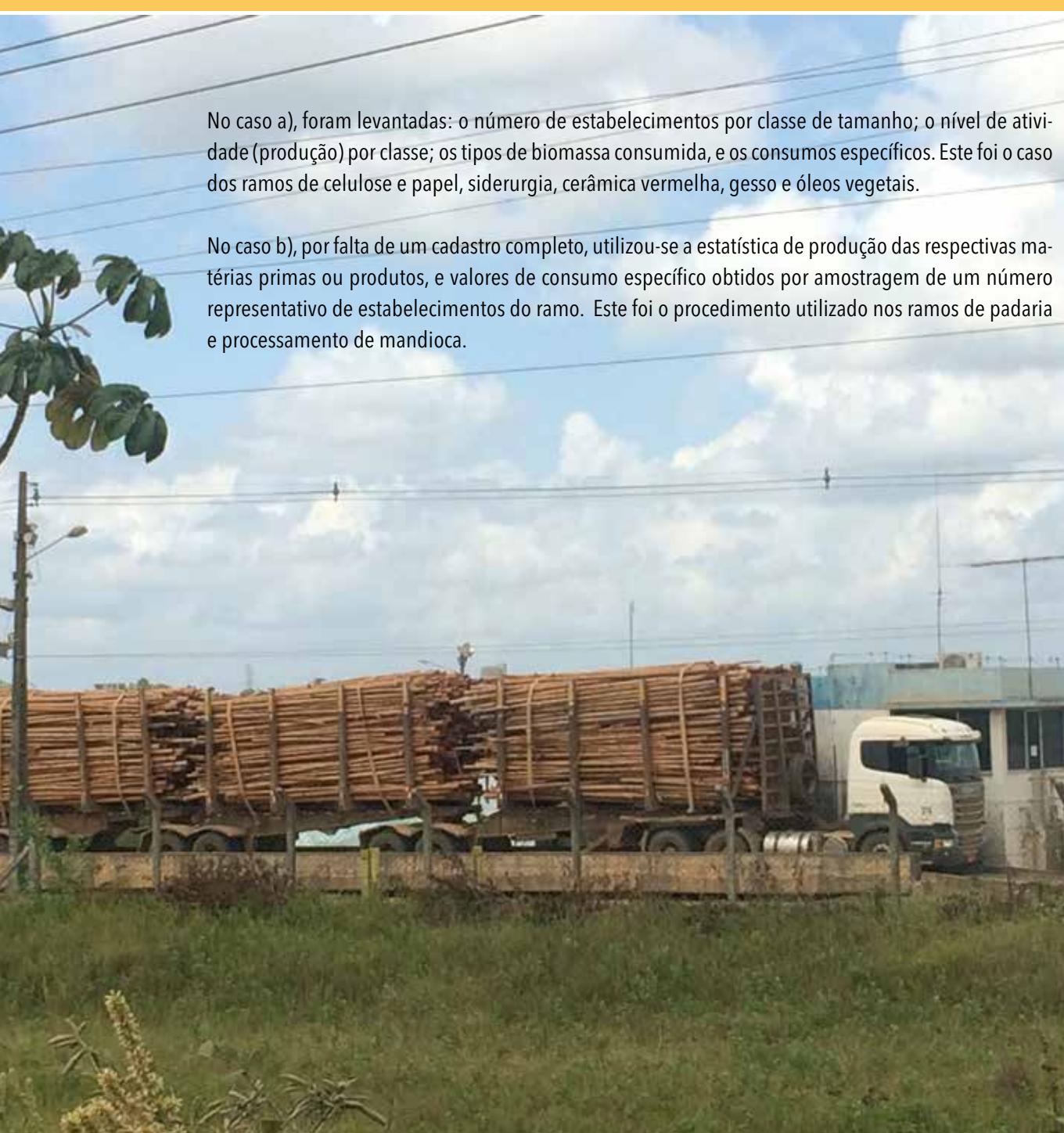
Figura 20. Diagrama de Pareto do consumo industrial em PE, PB, CE, RN e SE (dados de 1990-2010).

Já em 2015, o consumo de biomassa está concentrado em sete ramos industriais: cerâmica vermelha, celulose e papel, siderurgia, beneficiamento de mandioca, padaria, gesso e óleos vegetais. Considerando que estes acumulam 80% ou mais da demanda total, foram priorizados no estudo.

Dependendo do grau de formalidade dos estabelecimentos em cada ramo, foi utilizada uma de duas vias para estimar o consumo: a) com base no cadastro de estabelecimentos, ou b) com base no consumo específico de energéticos e o nível de produção ou de uso de matéria prima.

No caso a), foram levantadas: o número de estabelecimentos por classe de tamanho; o nível de atividade (produção) por classe; os tipos de biomassa consumida, e os consumos específicos. Este foi o caso dos ramos de celulose e papel, siderurgia, cerâmica vermelha, gesso e óleos vegetais.

No caso b), por falta de um cadastro completo, utilizou-se a estatística de produção das respectivas matérias primas ou produtos, e valores de consumo específico obtidos por amostragem de um número representativo de estabelecimentos do ramo. Este foi o procedimento utilizado nos ramos de padaria e processamento de mandioca.





Celulose e papel



3.3.1. Ramo de celulose e papel

Neste ramo utilizam-se dois tipos de matéria prima que sofrem processos diferentes:

- ⦿ fibra crua (de madeira, bambu ou bagaço de cana) para produzir celulose virgem e seus derivados;
- ⦿ fibra reciclada (de papel e papelão recuperado) para produzir papéis reciclados, papelão, celulose moldada.

Pela diferença de porte, tecnologias e tipo de gestão optou-se por dividir este ramo em dois "sub-ramos":

- quatro empresas que produzem celulose e papel de eucalipto que tem uma base florestal própria ou vinculada que fornece a matéria prima.
- três empresas que fazem papel de bambu e/ou de celulose reciclada. Uma delas integra a produção de sua matéria prima (o bambu) e compra bagaço e papel reciclado de terceiros. As outras utilizam fibras recicladas, ou misturas com celulose virgem comprada de terceiros.

Nas fábricas de celulose de eucalipto os cavacos sujos, cascas, rejeitos de celulose e lixívia são queimados para obter vapor de processo e gerar eletricidade, com excedentes importantes para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Nas fábricas de reciclados e de celulose de bambu, os cavacos de bambu, algaroba e frutíferas, são os combustíveis das caldeiras. No quadro de utilização de biomassa florestal, o uso energético é mais importante que o não energético (Tabela 22).

Tabela 22. Consumo de biomassa florestal no ramo de celulose e papel do NE, ano 2015.

Sub-ramo	Área de plantio (ha)	Consumo de biomassa (tMS ano ⁻¹)	Consumo não energético (tMS ano ⁻¹)	Consumo energético (tMS ano ⁻¹)
Celulose de eucalipto	494.220	2.539.640	1.142.838	1.396.802
Celulose e papel de reciclados	12.500	129.838	72.450	57.388
Total	506.720	2.669.479	1.215.288	1.454.191
Participação		100%	45,5%	54,5%



Siderurgia



3.3.2. Ramo de siderurgia

A indústria siderúrgica do Nordeste é composta por distintos estabelecimentos:

- a. Produtores de gusa, que transformam minério de ferro em gusa, utilizando como redutores e energéticos o coque de carvão mineral ou carvão vegetal;
- b. Produtores de ferro-ligas, que processam minérios de ferro e outros minerais (cromo, manganésio, silício) para produzir ferro-cromo, ferro-manganésio, ferro-silício, utilizando coque ou o carvão vegetal;
- c. Plantas integradas, que processam minério de ferro, gusa e sucata de ferro para obter aço. Podem usar coque, gás natural ou eletricidade como redutores e energéticos.
- d. Aciarias não integradas, que processam sucata e gusa para obter aço e seus produtos planos ou longos. Não utilizam redutores como coque ou carvão vegetal.

Dentro da área de estudo existem dois estabelecimentos em atividade e que consomem biomassa (carvão vegetal):

1. Na Bahia uma fábrica em Pojuca. Empresa totalmente integrada, com mineração, reflorestamento de eucaliptos, produção de carvão vegetal e altos fornos. Tem 3.200 trabalhadores em quatro unidades (florestal, cal, mineração, fundição).
2. No Ceará uma fábrica em Banabuiú. Empresa não integrada: tem mineração e fundição própria e compra carvão vegetal de terceiros. Tem aproximadamente 360 funcionários.

O consumo de biomassa para energia do ramo de siderurgia no NE foi estimado conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23. Consumo de biomassa para energia no ramo de siderurgia no NE, 2015.

	Carvão (t ano ⁻¹)	Biomassa (tMS ano ⁻¹)
Bahia (em 2015)	144.000	432.000
Ceará (em 2012)	9.310	37.240
Total	153.310	469.240



Cerâmica vermelha



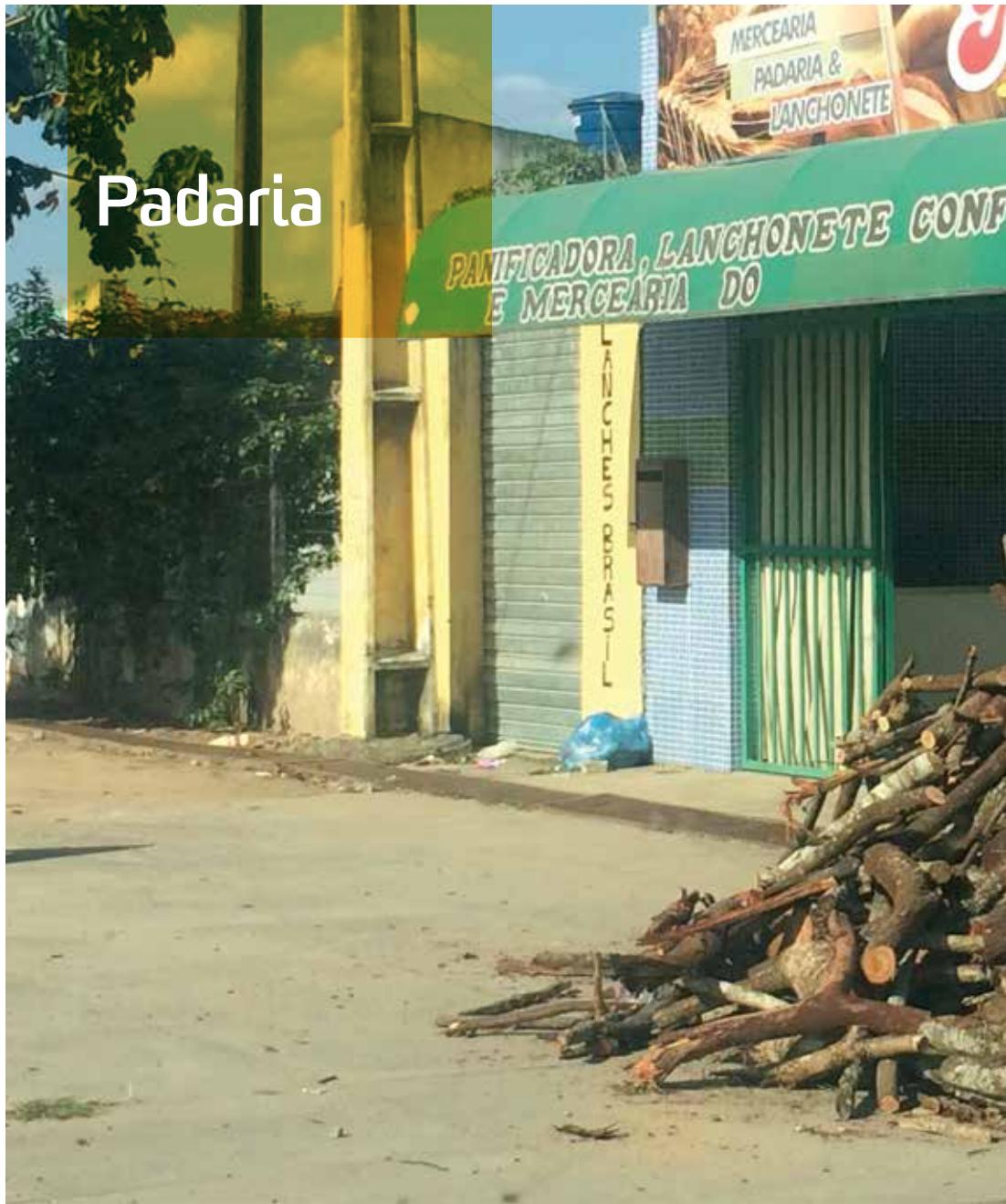
3.3.3. Ramo de cerâmica vermelha

A estimativa foi realizada a partir das médias de consumo anual por estabelecimento em cada estado (segundo o INT) multiplicado pelo número de estabelecimentos do cadastro da APNE. Os resultados estão na Tabela 24.

Tabela 24. Consumo de biomassa pela indústria de cerâmica vermelha na região de estudo, estimado pelos cadastros do INT e APNE.

UF	Número de estabelecimentos cadastro APNE	Número de estabelecimentos cadastro INT	Consumo total INT (tMS ano ⁻¹)	Consumo médio INT (tMS ano ⁻¹)	Consumo ajustado para APNE	
					(tMS ano ⁻¹)	%
PI	97	123	207.411	1.686	163.568	
CE	382	412	751.572	1.824	696.846	28%
RN	265	186	332.878	1.790	474.262	19%
PB	93	66	75.153	1.139	105.897	4%
PE	174	90	154.056	1.712	297.842	12%
AL	56	70	92.287	1.318	73.830	3%
SE	127	156	182.313	1.169	148.421	6%
BA	336	520	862.017	1.658	556.996	22%
Total	1.530	1.623	2.657.687	1.637	2.517.662	





3.3.4. Ramo de padaria

O consumo foi estimado a partir do consumo "per capita" de pão e o do consumo específico de combustível para produzir o pão. Para determinar a saturação e o consumo específico com lenha, foi realizada uma amostragem de campo em 80 estabelecimentos de 26 municípios, em seis estados. (Figura 21)

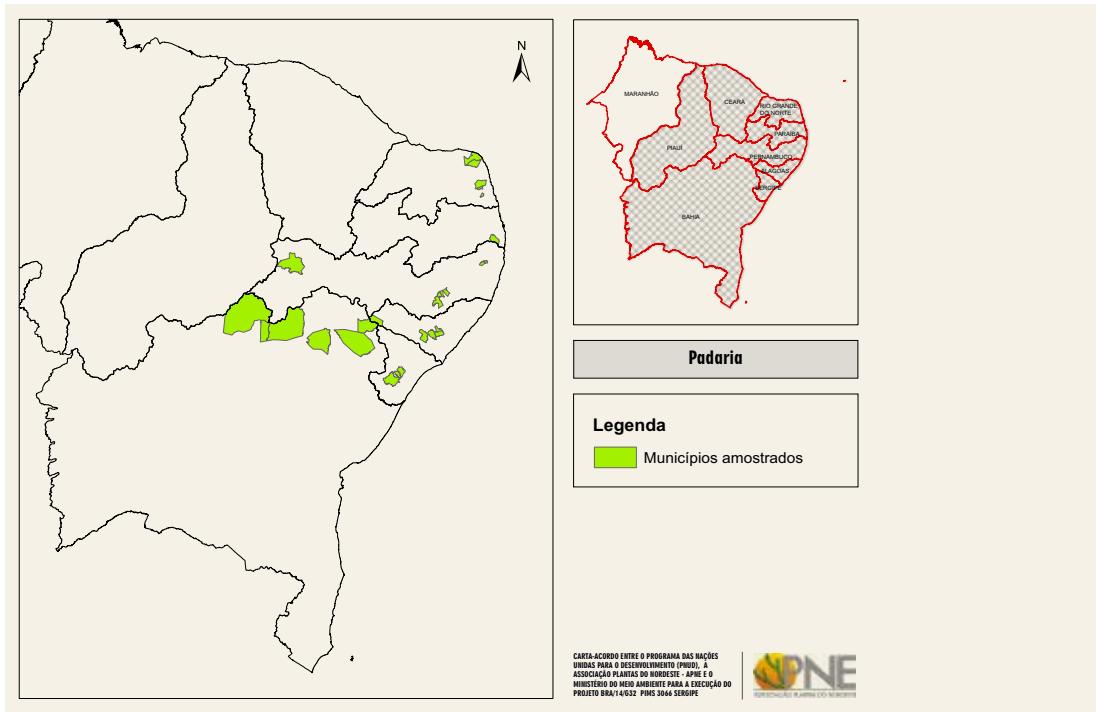


Figura 21. Municípios com amostragem no ramo de padaria.

A amostragem de campo permitiu quantificar que:

- ⇒ 1 saco de farinha de 50 kg rende, em média, 1.229 pães (média de 59 casos);
- ⇒ o consumo específico de biomassas na fabricação de pão é de:
 - ⇒ Lenha: média de 68,6 kg de lenha por saco de farinha (37 casos)
 - ⇒ Carvão vegetal: média de 12,5 kg de carvão por saco de farinha (2 casos)
 - ⇒ Briquetes e resíduos de serraria: média de 33,8 kg de briquetes por saco de farinha (4 casos)



O consumo de pão no Brasil, segundo ABIP (Thiagocompan, 2017) e PROPAN (BEMPARANÁ, 2017), tem média anual de 34 kg “per capita”, ou 1,8 pães habitante⁻¹ dia⁻¹. O IBGE (IBGE, 2017) informa o valor de 5,1 kg ano⁻¹, equivalente a 0,3 pães habitante⁻¹ dia⁻¹. Na amostragem da APNE, a média encontrada foi de 0,73 pães habitante⁻¹ dia⁻¹ para a população total dos municípios amostrados, que equivale a 1,77 pães habitante urbano⁻¹ dia⁻¹.

A demanda de biomassa foi calculada da seguinte forma:

- ⇒ em grandes centros urbanos, foi assumido que o pão é produzido em fornos elétricos ou a gás (GLP), sem consumo de biomassa para produção energética;
- ⇒ para o restante da população em cidades médias e pequenas, o consumo médio de pão é 1,77 pães habitante urbano⁻¹ dia⁻¹;
- ⇒ a participação da biomassa é: lenha (62%), carvão (1%), briquete/resíduos (2%). O restante corresponde a GLP e eletricidade.

A Tabela 25 apresenta a estimativa da demanda de biomassas, que totaliza 0,3 10⁶ tMS ano⁻¹.

Tabela 25. Estimativa do consumo de biomassa nas padarias do NE, 2015.

UF	Lenha (tMS ano ⁻¹)	Carvão (tMS ano ⁻¹ equivalente lenha)	Briquete/resíduos (tMS ano ⁻¹)	Total de biomassa (tMS ano ⁻¹)
PI	19.512	229	329	20.071
CE	47.988	564	810	49.362
RN	18.572	218	314	19.104
PB	26.616	313	449	27.378
PE	56.470	664	953	58.087
AL	20.764	244	351	21.358
SE *	-	-	-	-
BA	97.457	1.146	1.645	100.247
Total	287.378	3.378	4.851	295.608
	97%	1%	2%	100%

* No estado de SE é proibido o uso de biomassa nas padarias.





Gesso



3.3.5. Ramo de gesso

A produção de gesso no Brasil concentra-se em Pernambuco, com 95% do total (ano base 2008). O polo gesseiro do Araripe, nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouro Preto e Trindade (Figura 22), está formado por 39 minas de gipsita, 726 indústrias de pré-moldados e 139 indústrias de calcinação, sendo estas últimas que consomem biomassa energética em sua produção. A produção em 2013 foi de $5,5 \cdot 10^6$ de toneladas (SINDUGESSO, 2014).

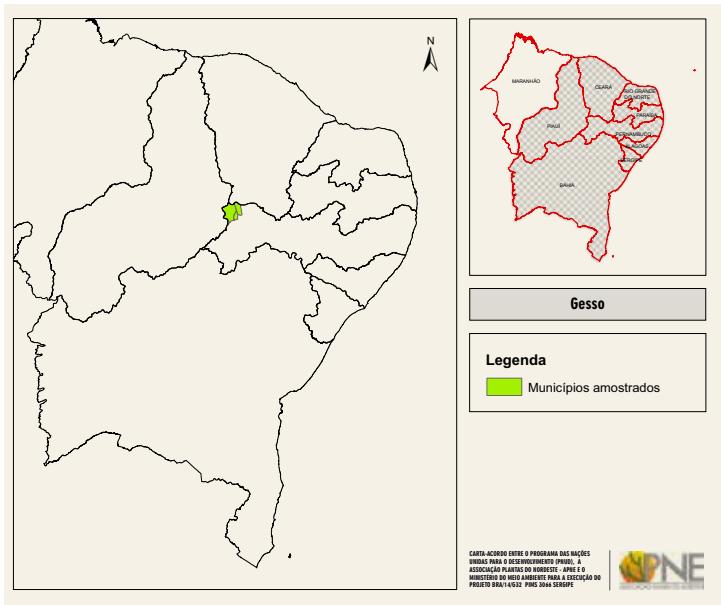


Figura 22. Localização do polo gesseiro em Pernambuco.

A SINDUGESSO informa um rápido crescimento da produção nos últimos anos (Tabela 26).

Tabela 26. Evolução da produção de gesso no período 2008-2013.

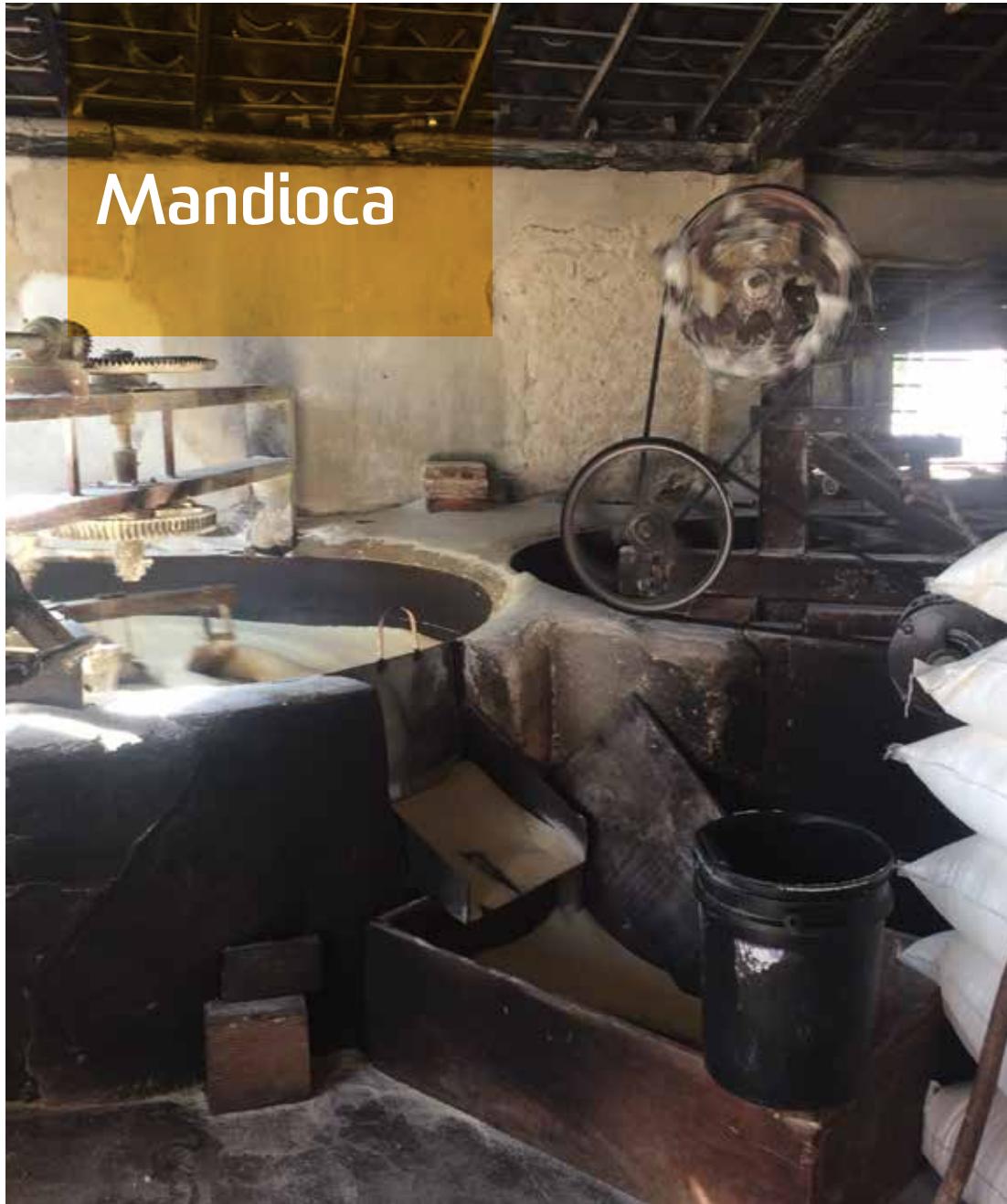
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013/2008
+28%	+15%	+28%	+20%	-4%	+4,5 %	226%

Para estimar o consumo de biomassa, foi adotado um consumo específico médio de $0,5 \text{ st t}^{-1}$ equivalente a $0,107 \text{ tMS t}^{-1}$ de gesso. A biomassa necessária para a produção de $5,5 \cdot 10^6$ t de gesso foi de $0,588 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$ em 2014.

Um recente levantamento de Ndagiijimana et al. (2015) e estimativas adicionais da APNE sobre origens de lenha indicam: PMFS 10%; algaroba e poda de frutíferas 20%; eucalipto 5%; e 65% de exploração florestal não autorizada e/ou de mudança do uso do solo.



Mandioca



3.3.6. Ramo de beneficiamento de mandioca

O beneficiamento da mandioca é uma importante atividade industrial e artesanal no Nordeste. Utiliza as raízes da mandioca cultivada (*Manihot flabelifolia* L.) para obter farinha, beiju e fécula de mandioca ("amido", "goma", "polvilho", "tapioca"). Uma parte da mandioca colhida não é beneficiada, mas utilizada como alimento para o gado. A biomassa fornece calor na etapa de secagem, na fase final do beneficiamento de farinha e de beiju.

Foram considerados quatro tipos de estabelecimentos:

- ⇒ casas de farinha artesanais, cuja única operação mecanizada é o ralado e que têm a Farinha como produto principal;
- ⇒ casas de farinha industriais, com várias operações mecanizadas (descascado, ralado, filtragem, secagem) e que têm a farinha e a goma (as vezes beiju) como produtos principais;
- ⇒ fecularias artesanais, cuja única operação mecanizada é o ralado e que têm amido, beiju e tapioca como produtos principais;
- ⇒ fecularias industriais, com várias operações mecanizadas (descascado, ralado, filtragem) e que têm féculas naturais e modificadas para usos industriais como produtos principais.

Como não foi possível construir um cadastro completo do ramo, foi utilizada a estatística de produção de mandioca do IBGE (SIDRA), combinada com dados sobre percentual da colheita beneficiada, consumo específico, tipos e origens da biomassa; todos eles por amostragem em campo nos polos produtivos. Foram visitados 73 estabelecimentos em 7 dos 14 polos de produção (Figura 23) (2 no RN; 1 na PB; 1 em SE; 1 em AL; 1 em PE e 1 no PI).

A média ponderada (em função do peso de cada polo) para o consumo específico foi de 0,54 st lenha t⁻¹ de mandioca, com desvio padrão de 0,29 e erro padrão de 0,04 (7% da média). Isto equivale a 0,115 tMS t⁻¹ de mandioca processada. O tipo e a origem da biomassa utilizada nos fornos são apresentados na Tabela 27.



Tabela 27. Origem da biomassa utilizada nos fornos das casas de farinha no NE.

UF	Lenha nativa corte	Lenha nativa coleta	Lenha de roçado	Poda de frutífera	Resíduo	Lenha de algaroba	Lenha de PMFS	Lenha eucalipto
PI	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RN	29%	0%	12%	41%	6%	12%	0%	0%
PB	80%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%
PE	50%	0%	2%	2%	10%	29%	2%	5%
AL	17%	0%	0%	11%	17%	56%	0%	0%
SE	33%	8%	0%	38%	13%	8%	0%	0%

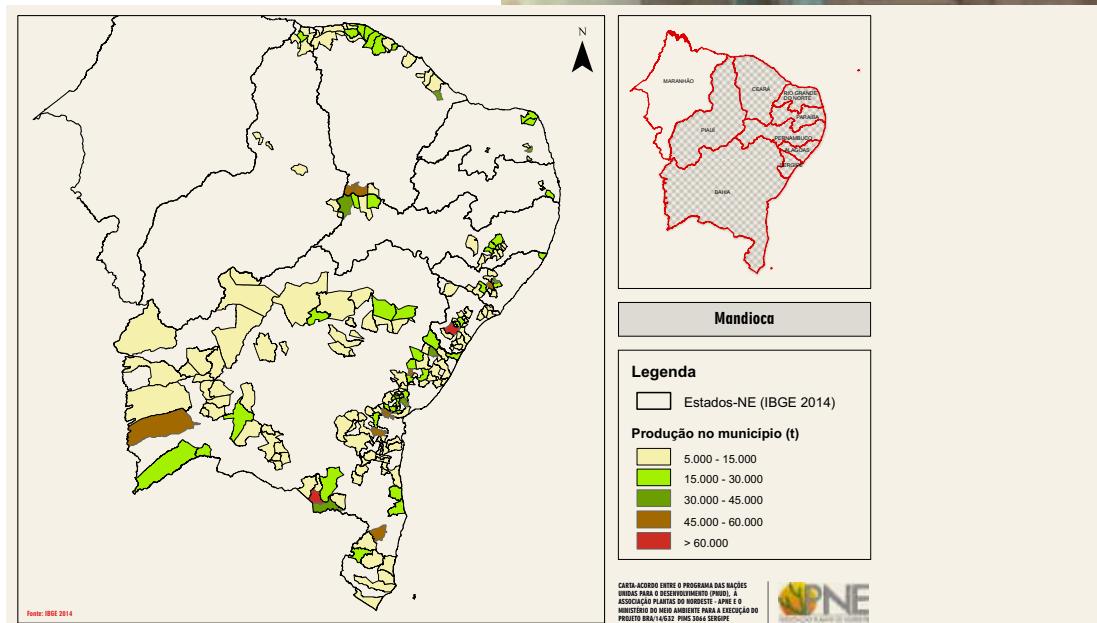


Figura 23. Polos produtivos de mandioca no NE.



A Tabela 28 compara os dados de IBGE de produção de mandioca para 1994 e 2014.

Tabela 28. Número de municípios e produção de mandioca (t ano⁻¹) por UF em 1994 e 2014.

UF	Municípios	Produção 1994	Municípios	Produção 2014
PI	141	644.001	214	174.931
CE	172	734.846	151	478.453
RN	107	477.348	102	160.286
PB	114	436.142	103	135.114
PE	164	729.350	127	302.361
AL	86	395.733	90	250.256
SE	74	605.999	70	415.910
BA	397	3.007.203	373	2.131.473
Total	1255	7.030.622	1230	4.048.784

A lenha de frutíferas é a biomassa mais importante para este ramo no RN (de cajueiro) e em Sergipe (de laranjeira). Os principais resíduos utilizados são casca de coco (RN) e pallets (SE). A algaroba utilizada em Alagoas tem origem em Pernambuco.

O consumo de biomassa do ramo para 2014 foi estimado em $0,4\ 10^6$ tMS ano⁻¹, equivalentes a $1,8\ 10^6$ st ano⁻¹. Para a média de produção do período 1994 – 2014, o consumo de biomassa foi de $0,6\ 10^6$ tMS ano⁻¹, equivalente a $3,0\ 10^6$ esteres de lenha (Tabela 29).

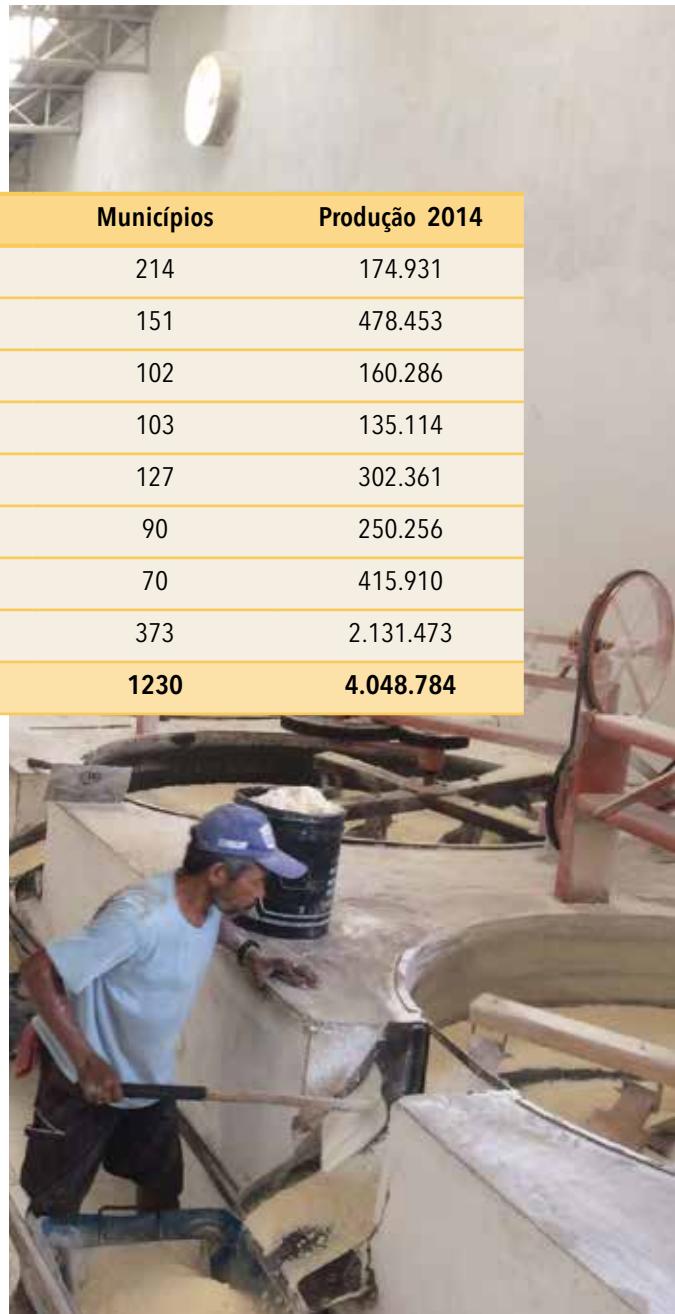




Tabela 29. Produção, processamento e consumo de lenha no ramo de beneficiamento de mandioca, por estado do Nordeste.

UF	Produção 2014 (t)	Processado total (t)	Processado como farinha (t)	Consumo de biomassa (tMS ano ⁻¹)	Consumo de biomassa geradora de GEE (tMS ano ⁻¹)
AL	250.256	230.236	211.817	24.359	10.718
BA	2.131.473	1.960.955	1.804.079	207.469	91.286
CE	478.453	440.177	404.963	46.571	20.491
PB	135.114	124.305	114.360	13.151	5.787
PE	302.361	278.172	255.918	29.431	12.949
PI	174.931	160.937	148.062	17.027	7.492
RN	160.286	147.463	135.666	15.602	6.865
SE	415.910	382.637	352.026	40.483	17.813
Total	4.048.784	3.724.881	3.426.891	394.092	173.401
UF	Produção média 1994-2014 (t)	Processado total (t)	Processado como farinha (t)	Consumo de biomassa (tMS ano ⁻¹)	Consumo de biomassa geradora de GEE (tMS ano ⁻¹)
AL	308.634	283.943	261.228	30.041	13.218
BA	3.408.654	3.135.962	2.885.085	331.785	145.985
CE	661.887	608.936	560.221	64.425	28.347
PB	246.553	226.829	208.682	23.998	10.559
PE	543.409	499.936	459.941	52.893	23.273
PI	453.994	417.674	384.261	44.190	19.444
RN	410.195	377.379	347.189	39.927	17.568
SE	494.081	454.555	418.190	48.092	21.160
Total	6.527.407	6.005.214	5.524.797	635.351	279.555



3.3.7. Ramo têxtil

Este ramo não foi identificado como importante na análise de Pareto. O consumo de biomassa existe nas lavanderias industriais, que atuam na parte final do processo produtivo da confecção. A secagem pode ser mecânica, com centrífugas, e/ou por vaporização térmica com secadoras. Estudos recentes sobre o ramo têxtil foram feitos em Sergipe (SEMARH) e em um polo de Pernambuco (BARBOSA, 2011) e indicam consumo de $0,216 \cdot 10^6$ st ano $^{-1}$ ou $0,046 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$.





Óleos vegetais



3.3.8. Ramo de óleos vegetais

Este ramo processa duas matérias primas principais (sementes de soja e de algodão) em grandes fábricas localizadas no PI e no sudoeste da BA. Outras oleaginosas como dendê, coco, ouricuri, mamona, gergelim e oiticica são processadas em estabelecimentos menores dispersos em todo o NE e de pouca importância em termos de consumo de energia.

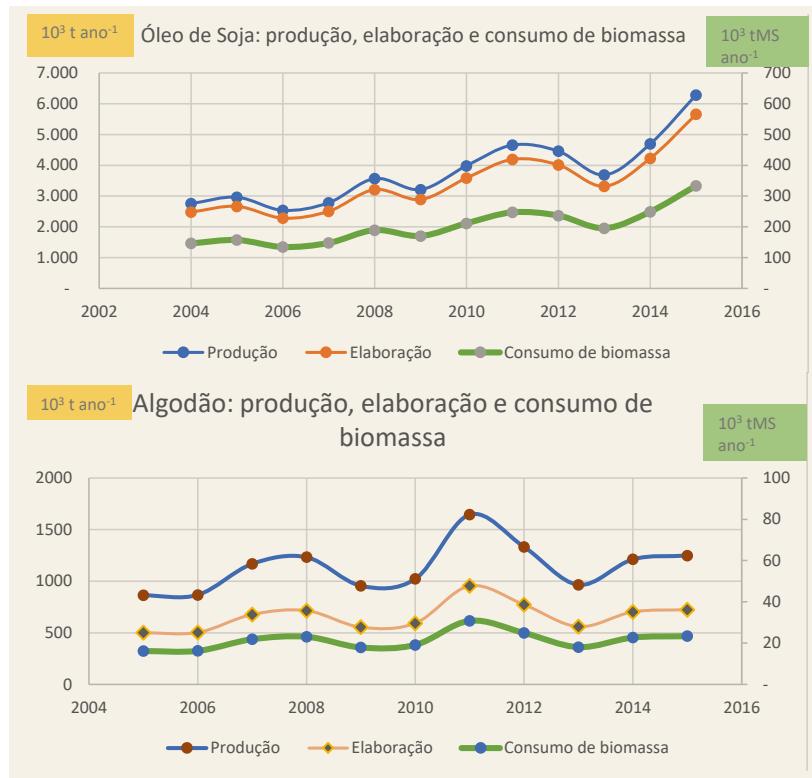


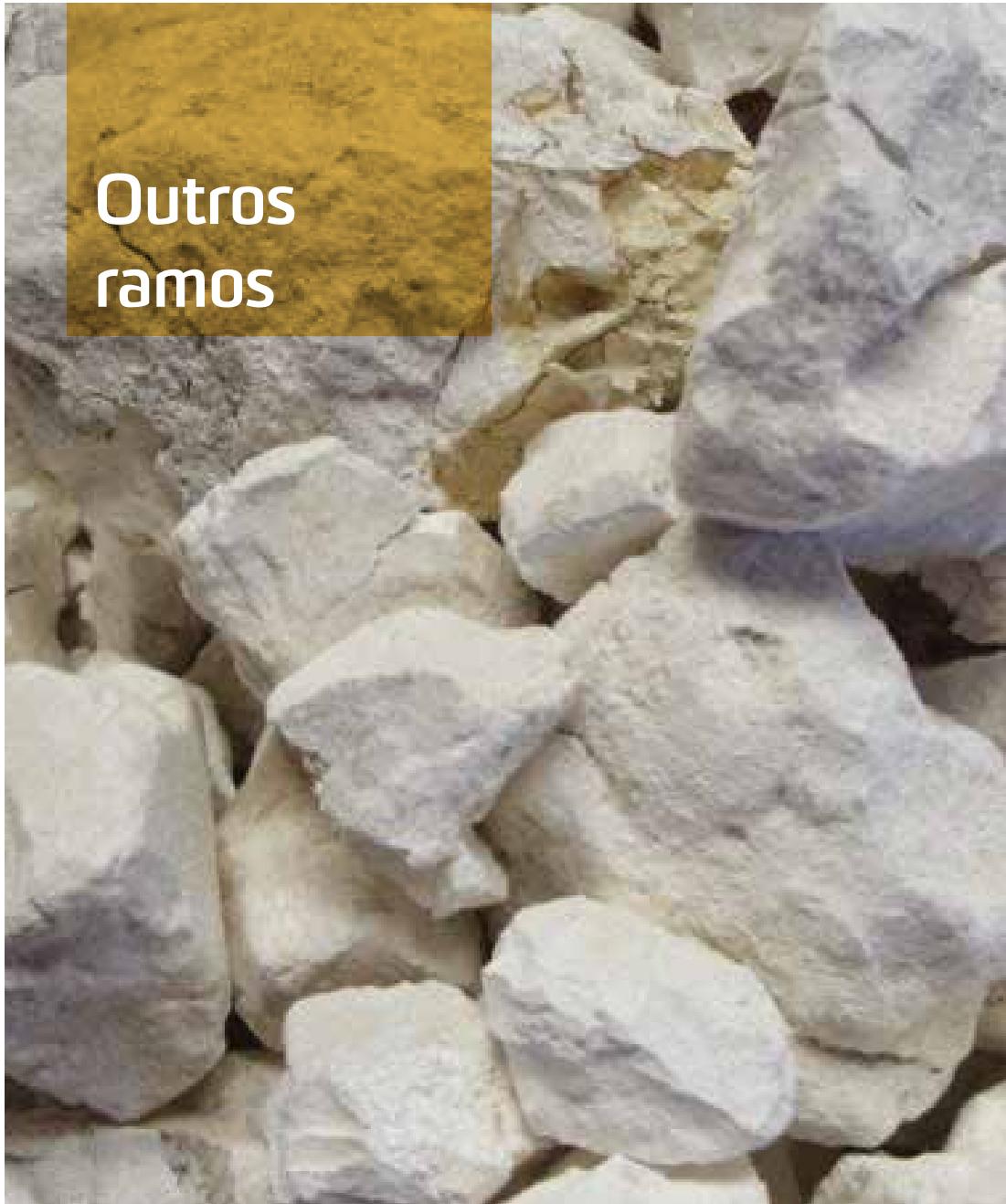
Figura 24. Dinâmica da produção de oleaginosas e consumo de biomassa no ramo de óleos vegetais.

Estima-se que o consumo total de biomassa nos estabelecimentos de grande porte do ramo de óleos vegetais foi de 0,357 10⁶ tMS em 2015.

Para estimar o consumo de biomassa nas indústrias de grande porte que produzem óleos vegetais de soja e algodão utilizaram-se os dados de produção de soja e caroço de algodão do IBGE e um consumo específico de 0,059 tMS de biomassa por tonelada de matéria prima processada, informado pelas empresas. A variação anual no consumo é apresentada na Figura 24.



Outros ramos



3.3.9. Outros ramos

Neste estudo não foram consideradas as demandas de biomassa de vários ramos industriais como cal, doces e bebidas e cimento.

O ramo de cal era o segundo na análise de Pareto de 1990, sendo composto principalmente por estabelecimentos informais, utilizando fornos abertos ("caieiras") com baixo uso de tecnologia e alto consumo específico. Na atualidade, esse ramo profissionalizou-se, há poucos estabelecimentos informais e o processo industrializou-se. Sua importância relativa no consumo de biomassa diminuiu muito, porém, ainda pode ser significativa em algumas áreas.

As indústrias de doces e bebidas, estão localizados na região litorânea, têm acesso ao gás natural e a sua demanda por biomassa foi muito reduzida. Os engenhos já eram pouco significativos nos anos 80-90 e atualmente têm menor importância devido à redução do número de estabelecimentos e do nível de atividade.

O ramo de cimento teve o seu consumo de biomassa drasticamente reduzido nos últimos vinte anos. A produção era suportada por carvão vegetal nos anos oitenta, porém foi substituída totalmente por coque de petróleo.



3.4. Quadro geral da demanda de biomassa

A Tabela 30 apresenta o resumo de todas as demandas por biomassa na região de estudo por setor e subsetor.

Tabela 30. Demanda de biomassa total por setor e subsetor na região NE.

Setor	Subsetor/Ramo	Universo	Demandas totais (10^6 tMS ano $^{-1}$)
Domiciliar	Grande Urbano	4.563.938 domicílios	0,27
	Pequeno Urbano	6.302.581 domicílios	1,26
	Rural	4.003.144 domicílios	5,19
	Total	14.869.662 domicílios	6,72
Não-energético	Cercas	2.044.900 prop	0,63
	Total	2.044.900 prop	0,63
Industrial	Celulose e papel (energético)	6 estabelecimentos	1,46
	Siderurgia	2 estabelecimentos	0,62
	Cerâmica vermelha	1.530 estabelecimentos	2,52
	Padaria	4.600 estabelecimentos	0,30
	Gesso	139 estabelecimentos	0,59
	Beneficiamento mandioca	-	0,64
	Têxtil	-	0,05
	Óleos vegetais	-	0,36
	Total		6,54
Comercial		-	0,63
	Total		0,63
Total Geral			14,52

A demanda total de biomassa na região de estudo é estimada em $14,52 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$, equivalente a aproximadamente $63,9 \cdot 10^6$ st ano $^{-1}$ (de lenha de caatinga).

A Figura 25 apresenta o diagrama de Pareto da demanda total de biomassa na região NE (2015). O diagrama permite concluir que sete sub-setores e ramos: domiciliar rural, cerâmica vermelha, celulose e papel, domiciliar pequeno urbano, beneficiamento de mandioca, comercial e não-energético (cercas) representam 85% do consumo e que os onze maiores totalizam 98% do consumo regional.

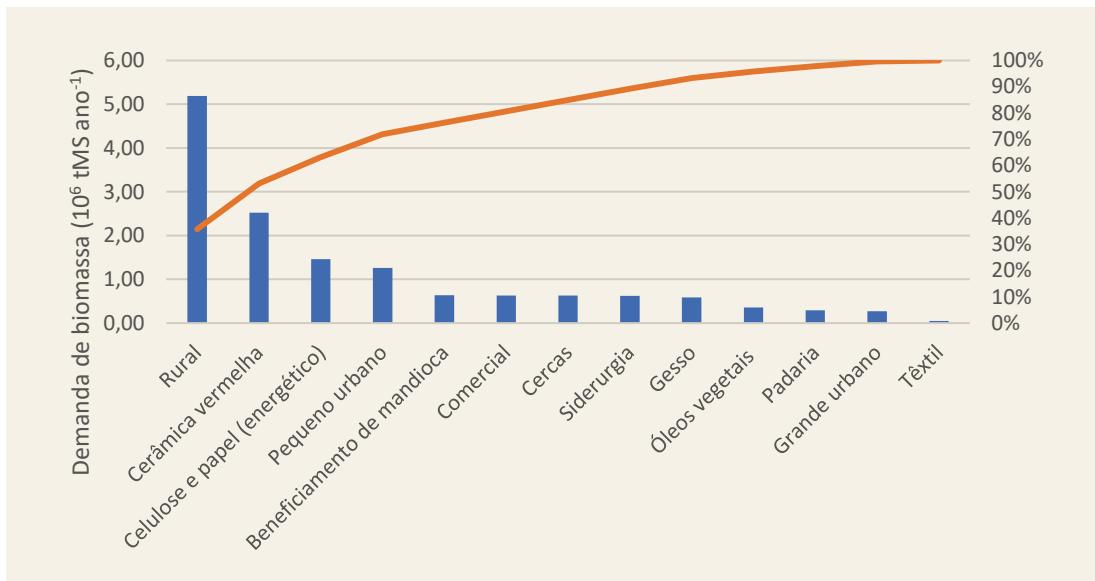


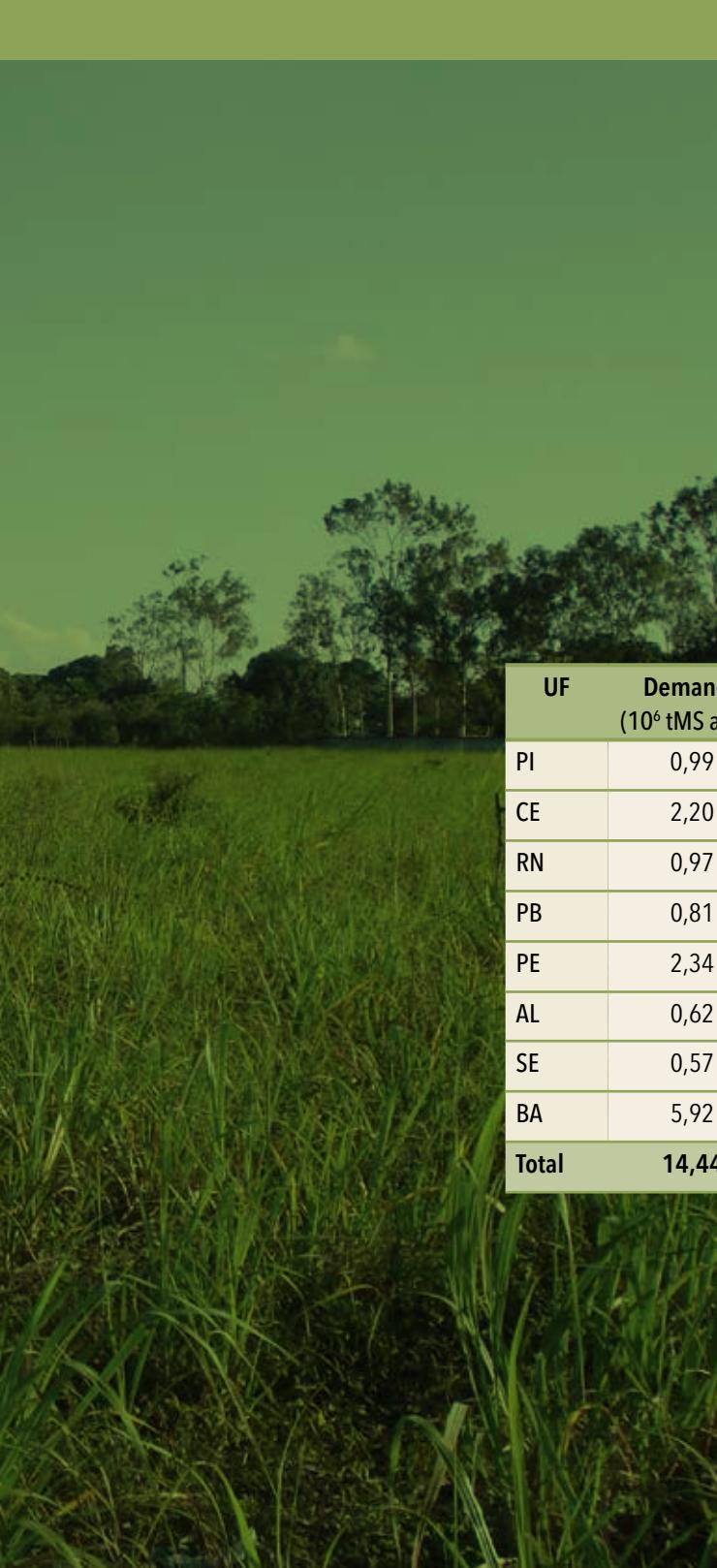
Figura 25. Diagrama de Pareto da demanda total de biomassa no NE - 2015 (10^6 tMS ano $^{-1}$).



04

BALANÇO DE OFERTA E DEMANDA





4.1. Balanço atual de Oferta e Demanda

Apartir das estimativas das ofertas e das demandas de biomassa na região, é possível realizar uma primeira análise dos balanços dos estados e da região NE (Tabela 31). O balanço é diferente considerando a oferta atual legal de biomassas ou considerando a oferta potencial.

Tabela 31. Balanço e relações entre a demanda e a oferta legal de biomassas na região NE.

UF	Demand ^a (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Oferta legal (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Balanço legal (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Relação demanda/oferta legal
PI	0,99	1,17	0,18	0,85
CE	2,20	1,55	-0,65	1,42
RN	0,97	0,46	-0,51	2,11
PB	0,81	0,14	-0,67	5,80
PE	2,34	0,34	-2,00	6,89
AL	0,62	0,11	-0,51	5,67
SE	0,57	0,15	-0,42	3,81
BA	5,92	2,76	-3,16	2,15
Total	14,44	6,68	-7,76	2,16

A demanda atual de biomassa é mais que o dobro da oferta atual de fontes legais. Apenas no Piauí existe uma oferta de fontes legais maior que a demanda. O Ceará tem 70% da demanda atendida por fontes legais e a Bahia e o Rio Grande do Norte quase 50%. O



estado com pior desempenho é Pernambuco (demanda atual quase sete vezes maior que a oferta legal). Alagoas e Paraíba apresentam déficits altos (suas demandas são quase seis vezes maiores que a oferta legal). A Figura 26 apresenta os balanços de oferta e demanda por município. Este panorama destaca a necessidade de avançar significativamente com a oferta de fontes legais e sustentáveis.

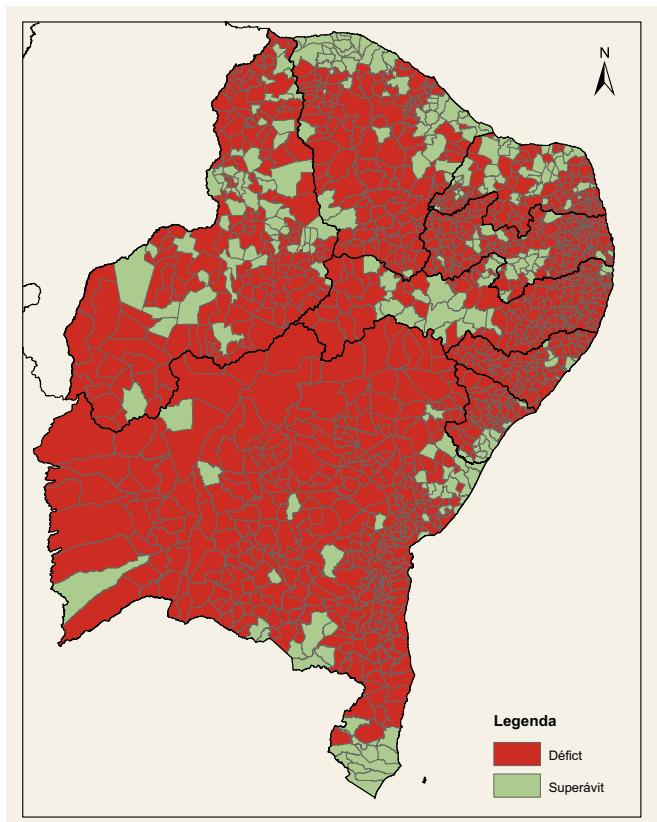


Figura 26. Balanço entre a oferta legal e demanda total de biomassa energética nos municípios do NE.

A Tabela 32 apresenta o balanço entre a demanda e a oferta total de biomassa para energia por estado.

Tabela 32. Balanço e relações entre a demanda e a oferta total de biomassas na região NE, por estado.

UF	Oferta total energética (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Balanço total energético (10 ⁶ tMS ano ⁻¹)	Relação demanda/oferta total
PI	10,04	9,05	0,10
CE	9,44	7,24	0,23
RN	1,72	0,75	0,56
PB	2,00	1,19	0,41
PE	1,90	-0,44	1,23
AL	0,59	-0,03	1,06
SE	0,25	-0,32	2,28
BA	5,75	-0,17	1,03
Total	31,69	17,25	0,46

Na região NE, a oferta total de biomassa disponível supera em duas vezes a demanda total. Portanto, não há, a princípio, escassez de biomassa para atender a demanda atual e o seu possível crescimento em proporções semelhantes ao que tem havido recentemente.

Considerando a oferta total, há quatro estados que apresentam déficit nos seus balanços. Esses estados (Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe) não têm fontes de biomassa suficientes para atender a toda sua demanda e já importam biomassa para atender o seu consumo. Somente poderão inverter esse quadro desenvolvendo fontes adicionais.

A Figura 27 apresenta esse balanço por município em geral e por classe.

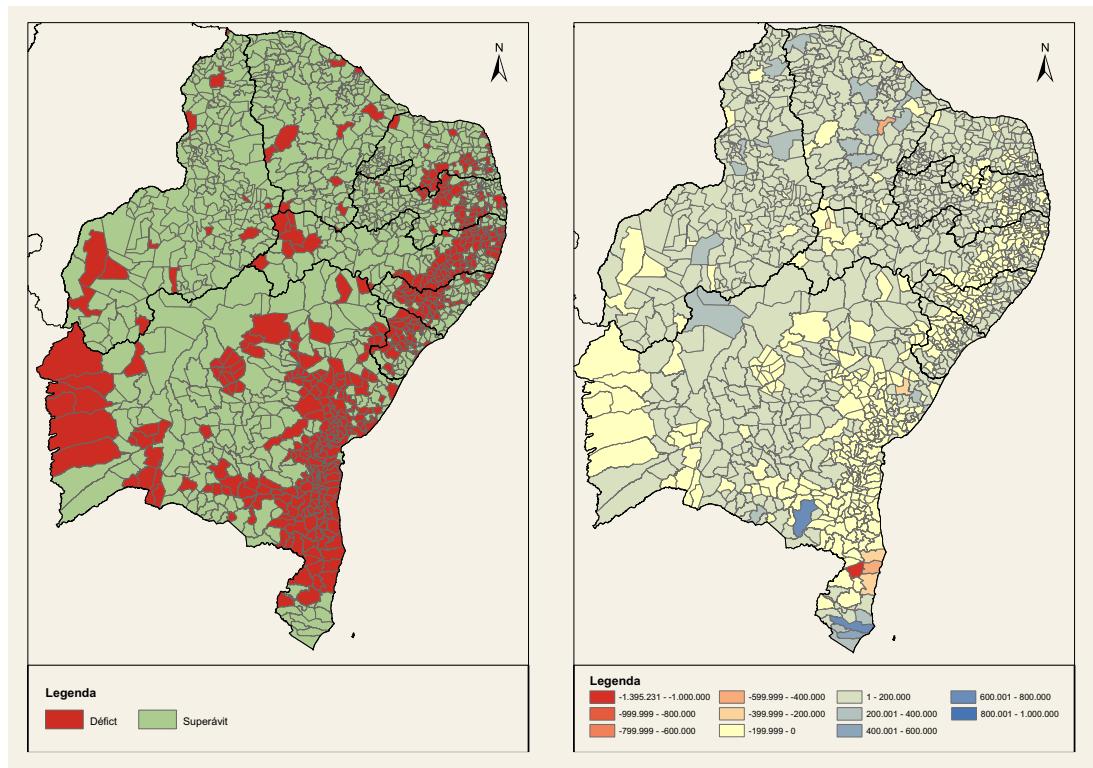


Figura 27. Balanço entre a oferta total e demanda total de biomassa energética no NE, em geral e conforme classes de déficit e superávit.

A importância da oferta legal é explicitada na Tabela 33.

Tabela 33. Importância da oferta legal de biomassa no NE.

UF	Relação oferta legal / oferta total	Relação oferta legal / demanda
PI	0,12	118%
CE	0,16	70%
RN	0,27	47%
PB	0,07	17%
PE	0,18	15%
AL	0,19	18%
SE	0,60	26%
BA	0,48	47%
Total	0,21	46%

A oferta legal de biomassa representou no ano de 2015 apenas 21% do consumo de biomassa, variando entre 7 e 60% nos diferentes estados. Isto indica que quase 80% da oferta ainda não foi enquadrada dentro das normas legais vigentes. Os estados com maior percentual de oferta legal são Sergipe e Bahia enquanto que os estados com menor percentual são Paraíba e Piauí.

- ⇒ Piauí é detentor de ampla reserva de biomassa, porém, tem pouca oferta legalizada. Apresenta uma situação confortável porque tem pouca demanda por biomassa.
- ⇒ Ceará, que também tem ampla reserva, apresenta um quadro de legalidade muito mais favorável.
- ⇒ Sergipe tem um déficit crítico de oferta de biomassa, mesmo que mais de 30% da oferta atual seja oriunda de fontes legais. Dispõe de duas alternativas: 1) criar fontes novas de biomassa legais e sustentáveis (ex. plantios energéticos), ou, 2) importar biomassa legal e sustentável dos estados vizinhos, provavelmente da Bahia.
- ⇒ Pernambuco também apresenta déficit crítico de oferta e ainda com baixa legalidade.
- ⇒ Alagoas e Bahia já aproveitam toda a sua oferta total de biomassa energética para atender a sua demanda e Alagoas apresenta baixo índice de legalidade da oferta. Logo, precisarão implementar políticas de promoção à legalidade e sustentabilidade das suas fontes de biomassa.
- ⇒ Rio Grande do Norte e Paraíba apresentam uma situação intermediária: têm um potencial de oferta interessante e já têm os melhores índices de legalidade de oferta. Isso se explica parcialmente pela oferta de lenha de cajueiro, amplamente disponível no Rio Grande do Norte e pela baixa demanda na Paraíba.



Na região Nordeste há suficiente oferta potencial de biomassa para atender toda a demanda energética atual, com muita sobra.



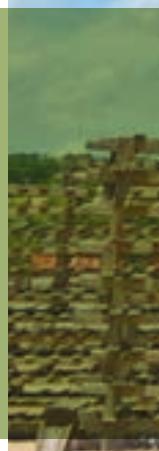
Na maioria dos estados da região, existem fontes suficientes para atender sustentavelmente as demandas atuais e futuras, com exceção de PE, SE, BA e em menor grau AL.



Porém existe um problema sério de insuficiente legalidade na oferta atual. A oferta legal precisaria ser duplicada para atender a demanda atual e crescer ainda mais para poder atender as demandas futuras.



Algumas fontes apenas precisam ser colocadas sob regimes de manejo sustentável para serem legalizadas, este é o caso da floresta nativa nos biomas Cerrado e Caatinga. Outras fontes requerem ainda um processo de desenvolvimento (tecnológico, logístico e de mercados) para poderem ser integradas como ofertas sustentáveis e competitivas, esse é o caso dos resíduos de cultivos de cana-de-açúcar e de coqueiros.





4.2. Balanços nos principais polos consumidores de biomassa.

Ainda que as Tabelas 32 e 33 e os mapas da Figura 27 ofereçam uma representação gráfica dos balanços em nível de municípios e estados, deve-se entender que os fluxos de biomassa não respeitam os limites das unidades político-territoriais. Uma análise espacial mais clara pode ser obtida com os balanços dos polos consumidores de biomassa, que também podem considerar a oferta legal e oferta total.

A Figura 28 apresenta os balanços nos onze polos consumidores principais do NE para a oferta legal e a Figura 29 apresenta esses balanços para a oferta total. Esses onze polos são:

- Teresina/PI (Cerâmica vermelha, domiciliar e comercial)
- Grande Fortaleza/CE (Cerâmica vermelha, Domiciliar e Comercial)
- Russas/CE (Cerâmica vermelha)
- Açu/RN (Cerâmica vermelha)
- Seridó/RN (Cerâmica vermelha)
- Grande Recife/PE (Cerâmica vermelha, celulose e papel, domiciliar e comercial)
- Araripe/PE (Gesso)
- Lagarto/SE (Mandioca)
- Itabaianinha (Cerâmica vermelha)
- Recôncavo Baiano (Cerâmica vermelha, celulose e papel, domiciliar e comercial)
- Oeste Baiano - Cerrado (Óleos vegetais)

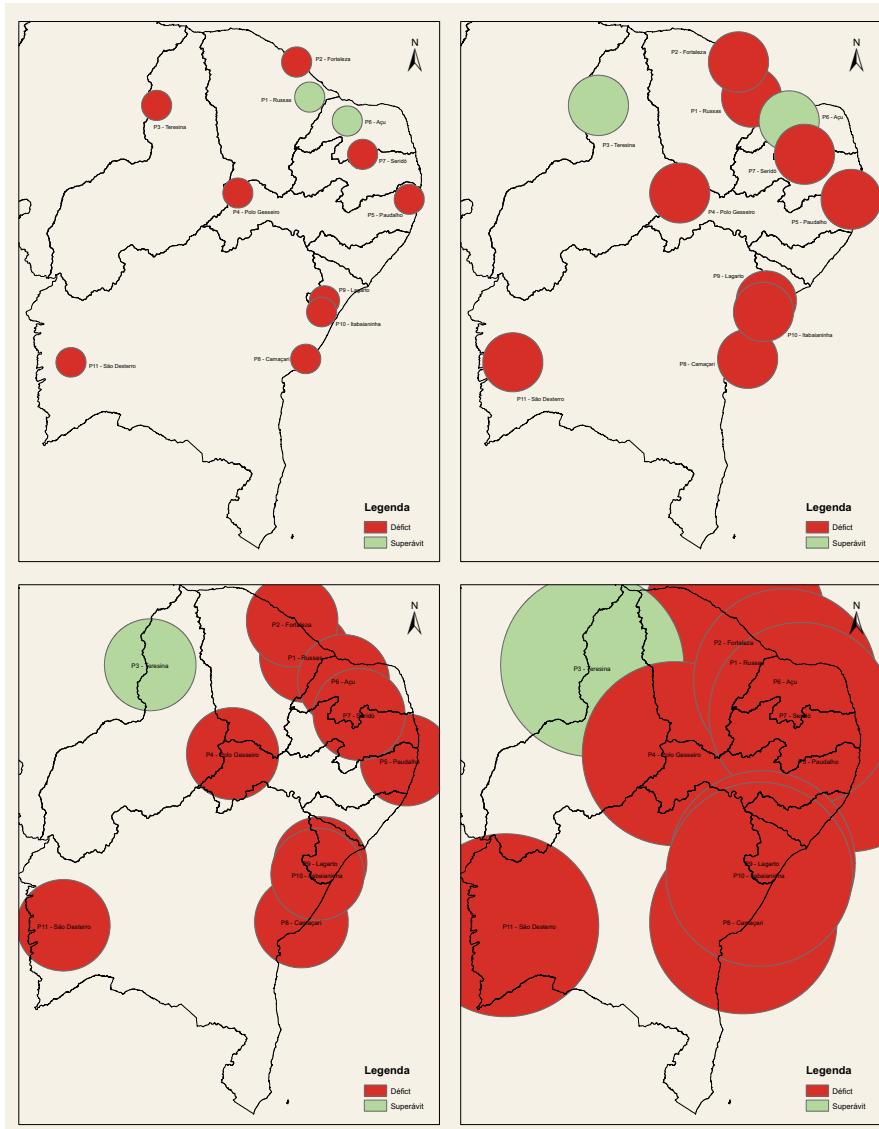


Figura 28. Balanços com oferta legal atual a 50, 100, 150 e 300 km.

Considerando somente a oferta de fontes legais e a demanda dos onze polos industriais consumidores de biomassa, existem apenas dois polos com excedentes para raios de abastecimento até 100 km e um polo com raio de 150 km. Com raios de 200, 250 e 300 km, a situação permanece igual. Os polos de Russas e Açu se tornam deficitários com aumento do raio porque a demanda adicional supera a oferta legal adicional.

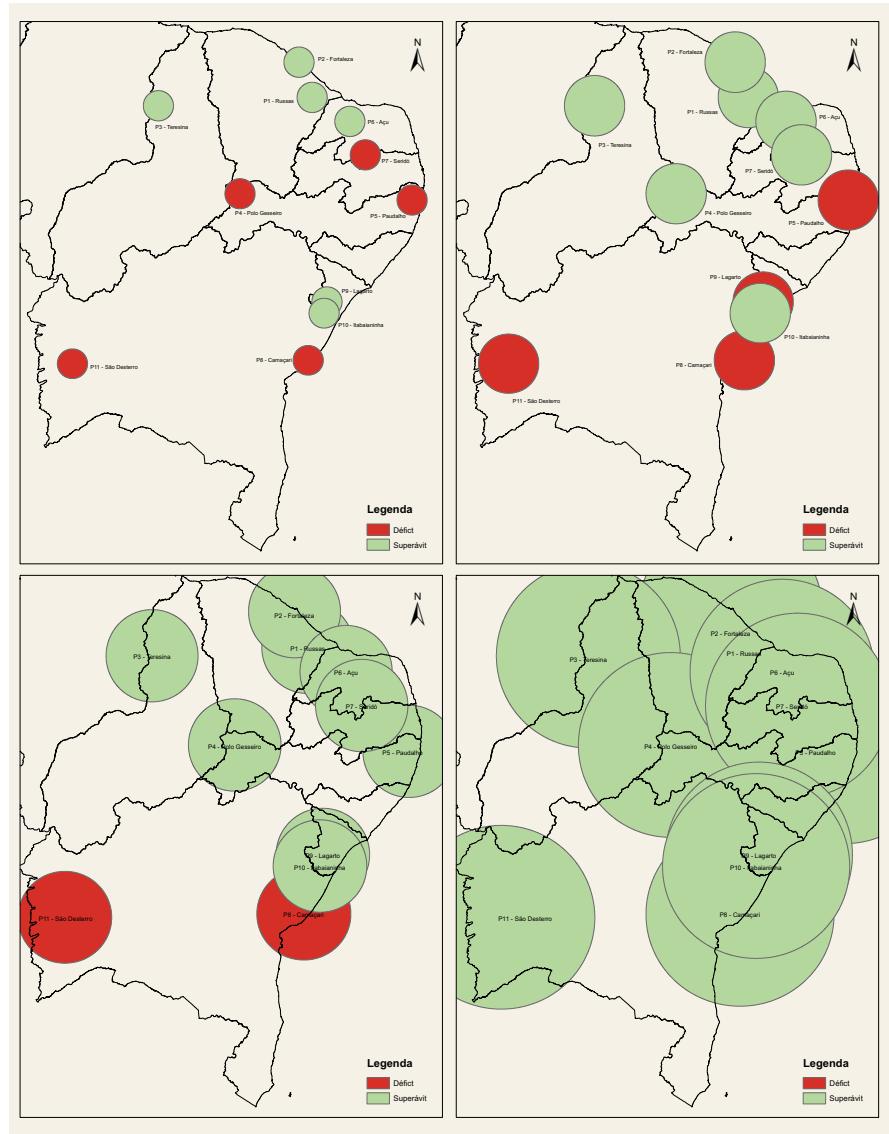


Figura 29. Balanços com oferta potencial total a 50, 100, 150 e 300 km.

Quando consideradas todas as fontes de biomassa disponíveis no raio de 50 Km, o déficit ocorre em quatro polos. Aumentando o raio de abastecimento, o número de polos deficitários diminui até desaparecer entre 250 e 300 km.



A existência dos polos consumidores é devida às demandas concentradas de alguns ramos industriais. Assim, ainda que os balanços dos polos nas Figuras 28 e 29 consideram a demanda total (domiciliar, industrial e comercial), os resultados são muito similares, considerando apenas a demanda industrial.

É evidente que as fontes legais são escassas e não conseguem abastecer todas as demandas, mesmo aumentando os raios de procura. Por isso, na prática, ocorre que as demandas são atendidas por fontes ilegais e pelo transporte a longas distâncias (até 500 km) de biomassa obtida de fontes legais como cajueiro ou algaroba.







05

PROJEÇÕES DE OFERTAS E DEMANDAS





Para poder desenhar os diversos cenários, foi necessário fazer projeções tendenciais das ofertas e demandas futuras, para 2015 – 2030, partindo-se dos dados históricos e perspectivas de evolução de cada fonte e dos setores e ramos industriais consumidores. No caso da demanda, também foram considerados indicadores específicos da evolução para cada setor/ramo.

Para cada fonte de oferta e cada setor ou ramo da demanda foram desenvolvidas três projeções:

- ➊ projeção "Média" que reflete a dinâmica esperada quando todos os processos mantêm o mesmo ritmo e tendências encontrados na situação atual ou no histórico recente;
- ➋ projeção "Baixa" que reflete uma dinâmica abaixo da média, devido à redução da base de recursos, recessão da atividade, baixo investimento, baixo interesse, substituição de fonte energética, etc.;
- ➌ projeção "Alta" que reflete uma dinâmica de processos acima da média, por mudanças tecnológicas ou de mercado previstas ou que razoavelmente podem acontecer.

Essas três projeções não incorporam políticas de intervenção propositais que procurem gerar mudanças nas dinâmicas das ofertas e demandas.

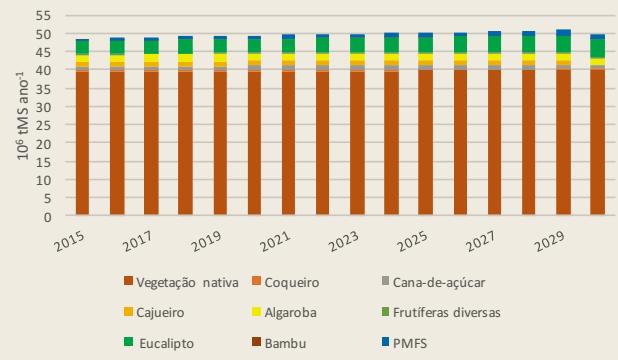
5.1. Projeções das ofertas

No Anexo 1 é apresentada a matriz de critérios e indicadores utilizados para elaborar as projeções alta, média e baixa para cada fonte de biomassa contemplada no estudo.

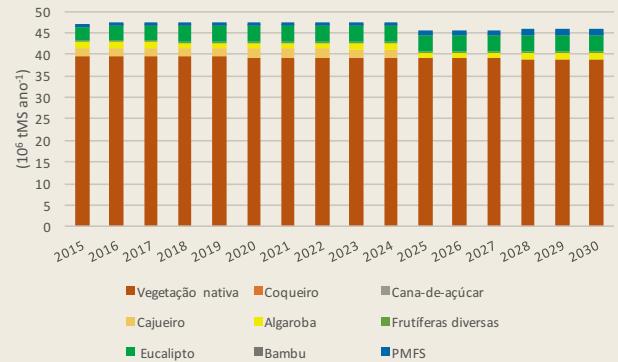


A Figura 30 apresenta as três projeções de oferta total desenvolvidas a partir da matriz.

Projeção alta



Projeção média



Projeção baixa

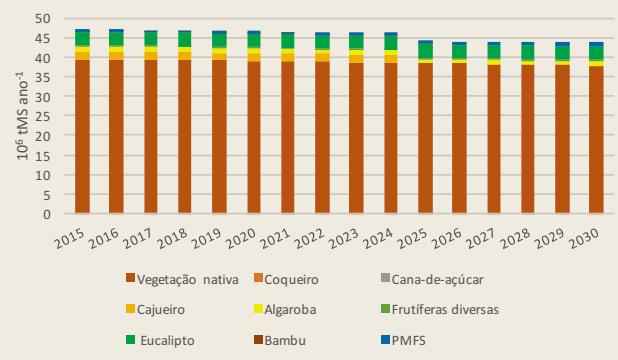
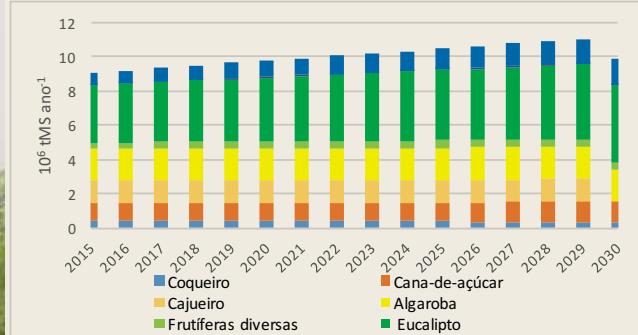


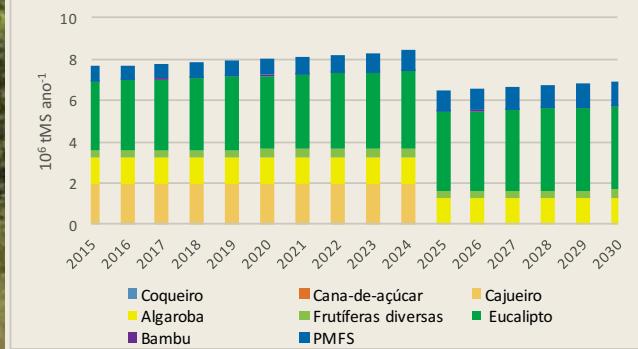
Figura 30. Participação das fontes de biomassa em três projeções de oferta total no NE.

A Figura 31 apresenta as projeções de oferta Legal.

Projeção alta



Projeção média



Projeção baixa

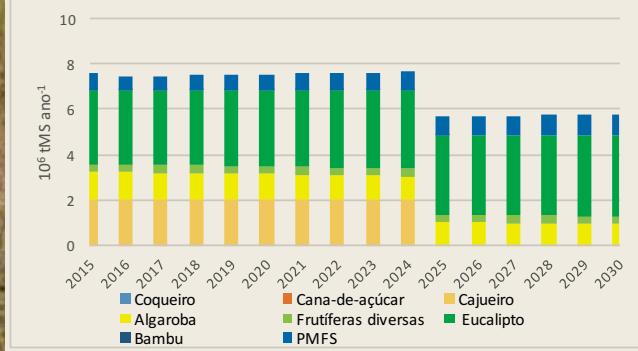


Figura 31. Participação das fontes de biomassa em três projeções de oferta atual no NE.

A oferta legal representou em torno de 16% da oferta total em 2015 e permaneceria assim até 2030 nas projeções alta e média. Porém, na projeção baixa reduz-se para 13%. Desta forma, não se espera nenhuma mudança positiva na participação da oferta de fontes legais sustentáveis no atendimento da demanda, sem uma intervenção proativa.

Não se observa muita diferença na participação das diferentes fontes de oferta legal nas projeções média e baixa. A projeção alta atinge um patamar mais alto principalmente devido à consideração das fontes potenciais (coqueiro e cana-de-açúcar), assumindo que as suas cadeias de produção sejam desenvolvidas.

Na evolução futura da oferta legal, percebe-se o impacto do desaparecimento da lenha do cajueiro nas três projeções, ainda que com defasagem na projeção alta. Praticamente não existem meios de controle ou intervenção na velocidade de exploração desses plantios e a sua oferta de biomassa terá de ser substituída por esgotamento da fonte, seja até 2024 (projeção média e baixa), seja até 2030 (projeção alta).



A oferta potencial total de biomassa é determinada pela vegetação nativa (que já é parcialmente utilizada atualmente sob forma de PMFS e oferta ilegal). Logo, a oferta potencial muda pouco entre as projeções desde um mínimo de $45\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ até um máximo de $52\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$, porque a base de recursos de vegetação nativa é projetada como quase constante em termos de área e produtividade.

5.2. Projeções das demandas

O Anexo 2 apresenta a matriz de critérios e indicadores utilizados para elaborar as projeções alta, média e baixa para cada setor, subsetor e ramo de consumo de biomassa. A Figura 32 apresenta as três projeções de demanda total de biomassa desenvolvidas a partir dessa matriz.

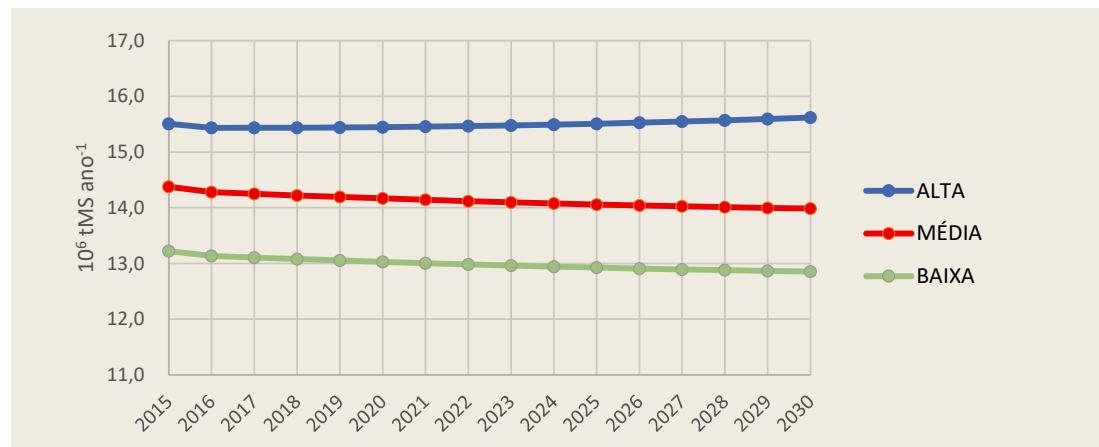


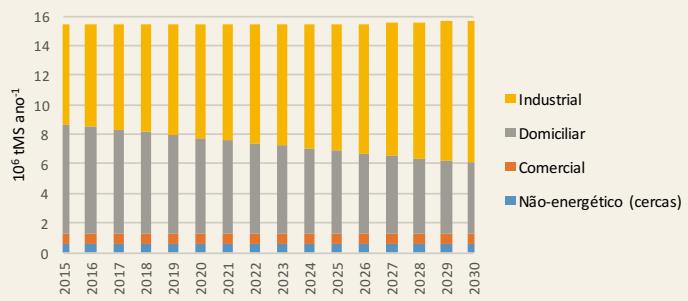
Figura 32. Projeção da demanda total de biomassa no NE.

Observa-se pouca dinâmica da demanda total, ainda que os níveis sejam distintos: aproximadamente $13, 14$ e $15,5\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ para as projeções baixa, média e alta, respectivamente.



A Figura 33 apresenta as projeções de demanda por setor.

Projeção alta



Projeção média



Projeção baixa



Figura 33. Projeções da demanda de biomassa por setor no NE.



A demanda total por biomassa tenderá a reduzir-se até 2030, de 14 para $13\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ nas projeções média e baixa. Na projeção alta se prevê um moderado aumento atingindo um nível de $15,5\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$.

A demanda do setor domiciliar diminuirá do atual nível de $7\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$, para níveis de 4 a $5\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ (com queda de 30 a 40%). Sua participação na demanda total cairá de 50% para 30%.

O setor industrial aumentará sua demanda de 7,0 para $9,5\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ (subindo 40%, na projeção alta) ou para $7,8\ 10^6\ \text{tMS\ ano}^{-1}$ (crescendo 20%, na projeção média e baixa). Sua participação na demanda total subirá de 50% para 66%. Dentro deste setor, o ramo da cerâmica vermelha é o maior consumidor de biomassa e tem a maior projeção de crescimento futuro.

Se as tendências do último decênio se mantiverem nos próximos 15 anos, não haverá grandes mudanças na demanda total de biomassa energética porque a redução no setor domiciliar será compensada pelo aumento do setor industrial. Na oferta também não são previstas grandes mudanças, salvo o desaparecimento do cajueiro como fonte.







06

IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS ASSOCIADOS AO USO DA BIOMASSA





É importante avaliar a contribuição da biomassa na economia regional, como um recurso energético local, basicamente renovável e com um potencial importante para gerar trabalho e renda, principalmente na zona rural.

Esse potencial diverge de outras fontes renováveis de energia (ex. solar, eólica) nas quais o investimento externo é dominante e onde os benefícios financeiros e sociais para a própria região são limitados.

Para caracterizar a cadeia de valor da biomassa do NE, é necessário conhecer três aspectos básicos:

- ⇒ o fluxo físico que caracteriza os produtos, as demandas e os atores para cada fonte;
- ⇒ o fluxo econômico com os preços e custos vinculados a cada fonte;
- ⇒ a geração de trabalho e renda de cada fonte e da cadeia como um todo.

Em 2015, o fluxo físico de biomassa para energia no NE foi de $14,3 \cdot 10^6$ tMS, conforme detalhado na Figura 34. As principais sub-regiões de origem foram o Sertão (S) e o Litoral (L) e os destinos foram o próprio Sertão, o Agreste (A) e o Litoral.

Fontes	Produtos	Demandas	10 ⁶ tMS ano ⁻¹	Uso Final	Origem	Destino	Polos consumidores
Eucalipto	Cavaco "limpo"	Celulose	11,05	Celulose e energia ²	L	L	Camaçarí e SE Bahia
	Cavaco "sujo"	Celulose Cogeração	0,35	Vapor e energia	L	L	Camaçarí e SEB
	Lenha	Cerâmica, gesso, óleos	0,40	Calor industrial	L	L e A	Camaçarí + OBA
	Madeira para carvão	Siderurgia,	0,70	Termo redutor	L	L	Camaçarí e SEB
Subtotal eucalipto energético 1,45							
Algaroba	Lenha	Cerâmica, gesso, celulose e papel, padaria, mandioca	0,25	Calor industrial	S	S+A+L	Todos - Camaçarí
	Madeira para carvão	Comercial	0,05	Cozinhar	S	S+A+L	Difuso
	Madeira para carvão	Domiciliar	0,03	Cozinhar	S	S+A+L	Difuso
Subtotal algaroba 0,33							
Cajueiro gigante	Lenha	Cerâmica, gesso, padaria, mandioca	2,00	Calor industrial	S PI-CE-RN	S+A+L	Todos
Subtotal cajueiro 2,00							
Outras frutíferas	Lenha	Cerâmica, celulose e papel, gesso, padaria, mandioca	0,33	Calor industrial	L e S Irrigados	Le S	Litorais
Subtotal frutíferas 0,33							

2 Parte da biomassa utilizada também gera energia térmica e elétrica pela combustão da lixívia nas fábricas de celulose.

Fontes	Produtos	Demandas	10 ⁶ tMS ano ⁻¹	Uso Final	Origem	Destino	Polos consumidores
Nativas	Lenha	Cerâmica, celulose e papel, gesso, padaria, mandioca	2,27	Calor industrial	S	S+A+L	
		Domiciliar	4,24	Cozinhar	S	S	Difuso
	Madeira para carvão	Comercial	0,48	Cozinhar e termo redutor	S	SCE	
	Madeira para carvão	Domiciliar	2,46	Cozinhar	S	S+A+L	Difuso
Subtotal nativas 9,45							
PMFS Caatinga	Lenha	Cerâmica, celulose e papel, gesso, padaria, mandioca	0,65	Calor industrial	S	S + A + L	
	Madeira para carvão	Comercial Siderurgia	0,06	Cozinhar	S	S + A + L	
Subtotal algaroba 0,33							
Cajueiro gigante	Lenha	Cerâmica, gesso, padaria, mandioca	2,00	Calor industrial	S PI-CE-RN	S+A+L	Todos
Subtotal PMFS 0,71							
Cana	Palhada	Cerâmica, gesso, celulose e papel		Calor industrial	É fonte potencial, não utilizada ainda fora das usinas		
Total			14,30	Fluxo total			
			10,00		Fluxo comercial (exclui Lenha Domiciliar)		

Figura 34. Fluxo físico de biomassa para energia no NE.



O fluxo econômico da biomassa é importante porque 70% da biomassa usada é comprada pelos usuários. Somente no setor domiciliar rural, a lenha consumida é catada ou cortada diretamente pelos próprios usuários sem envolver transações monetárias. As fontes mais importantes de biomassa comercial, tanto legal como ilegal, são as matas nativas (caatinga e cerrado), seguidas pelos plantios de eucalipto e cajueiro.

Os custos finais de biomassa, posta no consumidor, são resumidos na Figura 35.

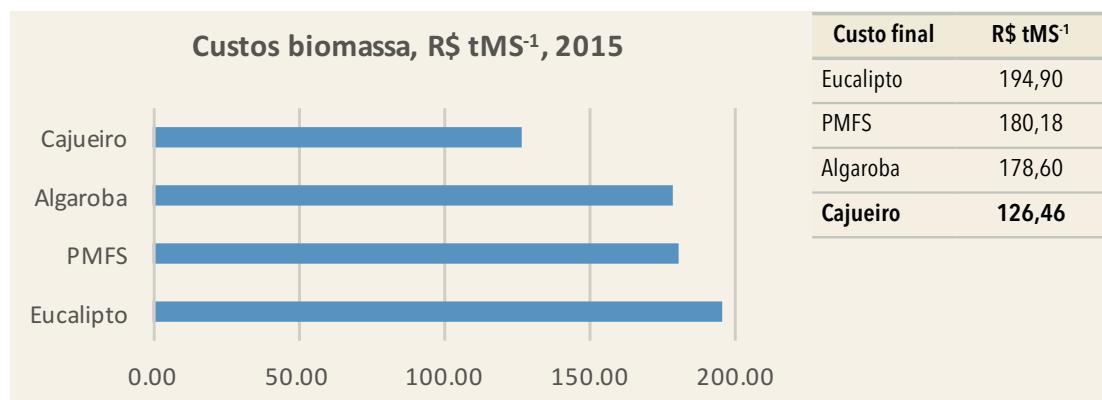


Figura 35. Custos finais de biomassa de diversas fontes “posta no consumidor”.

A composição dos custos nas cadeias de valor é diferenciada principalmente no valor pago pela madeira em pé (que pode ser nulo, como no caso do cajueiro gigante). As diferenças de custos de mão-de-obra e de transporte são pequenas quando a distância é a mesma. A comparação é apresentada na Figura 36.

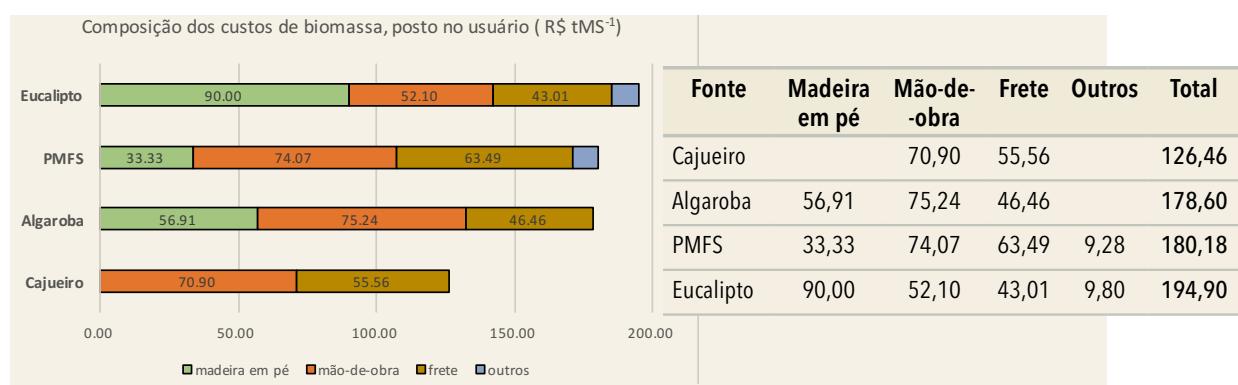


Figura 36. Custos comparados de biomassas e respectivas cadeias de valor.

A biomassa de cajueiro é a mais barata devido ao valor nulo pago pela madeira em pé. Há pouca diferença no preço da biomassa de algaroba e de vegetação nativa. O eucalipto é a biomassa mais cara (54% mais que a biomassa do cajueiro).

A Figura 37 apresenta o valor de mercado de toda a biomassa consumida no NE na condição de "posta no consumidor" que inclui o valor do frete para uma distância média de 200 km.

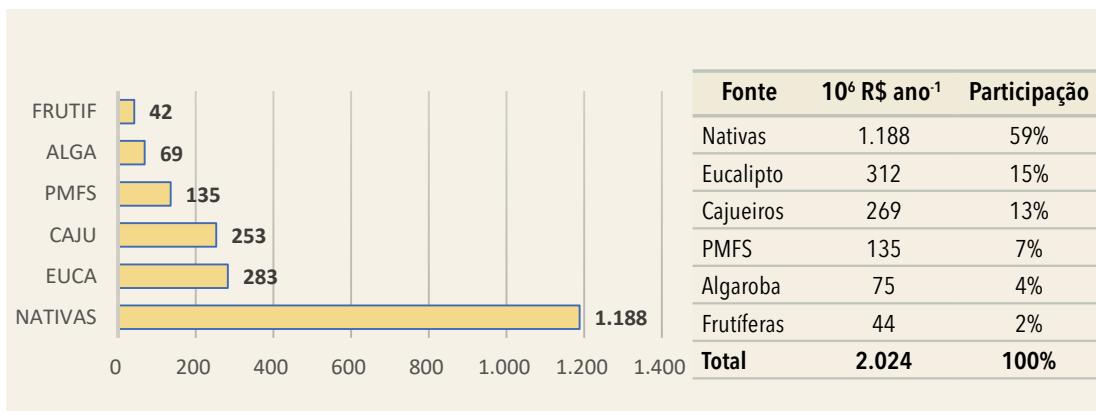


Figura 37. Valor de mercado dos fluxos de biomassa para energia, 2015 ($10^6 \text{ R\$ ano}^{-1}$).

O valor total da biomassa comercializada no NE foi de aproximadamente 2 bilhões de R\$ em 2015. O trabalho utilizado no corte, transporte, carregamento, descarregamento e gestão foi de $8,36 \cdot 10^6$ homem.dia por ano, o que equivale a aproximadamente 35.000 postos de trabalho permanentes. Logo, o valor agregado médio por posto de trabalho é de R\$ 57.000 por ano.

Essa análise comprova o papel importante que a cadeia da biomassa desempenha no NE em termos socioeconômicos. Considerando que ainda quase 50% da demanda de biomassa é atendida por fontes ilegais, a metade dos atores da cadeia encontra-se marginalizada e opera na ilegalidade. Logo, a cadeia produtiva tem alta vulnerabilidade e enfrenta um desafio para legalizar os atores sem maiores custos que inviabilizem seu funcionamento.



07

EMISSÕES DE CO₂ PELO USO DE DIVERSAS FONTES DE ENERGIA





Quando os combustíveis fosseis são queimados, o carbono contido neles é emitido para a atmosfera como CO₂. Quando a biomassa é queimada, o seu carbono também vira CO₂, contudo, esta emissão pode ser compensada pela absorção do CO₂ organogênico pela mesma fonte.

Nem sempre a capacidade de reabsorção de CO₂ no curto ou médio prazo, é igual ou maior que a emissão prévia. Dependendo da fonte de biomassa, o balanço de emissões de carbono tem os seguintes padrões:

- ⇒ Nas lavouras anuais, todo o carbono emitido em um ano é reabsorvido no ano seguinte sempre que a mesma lavoura permaneça.
- ⇒ Nas lavouras perenes e plantios florestais, o ciclo de reabsorção total pode durar 7, 15 ou até 30 anos.
- ⇒ Nas áreas de caatinga com manejo florestal sustentável o ciclo pode durar de 12 a 30 anos.
- ⇒ Nos Sistemas Agrossilvipastoril (ASP) que não geram uma mudança permanente do uso da terra, o ciclo de reabsorção pode durar de 15 a 30 anos contados desde o momento do corte.
- ⇒ No caso de podas, a biomassa extraída corresponde ao incremento periódico e o carbono será reabsorvido no período entre podas.



A lenha de caatinga de sistemas ASP, que vem de cortes não autorizados, pode ser oriunda de:

- ⦿ Corte seguido de pousio florestal, sem outros usos da terra;
- ⦿ Corte seguido de queima, para uso pecuário ou agrícola transitório, de curto prazo;
- ⦿ Corte com queima e destoca para uso pastoril ou agrícola de longo prazo (> 15 anos);

Um estimador do nível de reabsorção de carbono emitido por uma fonte sob uma forma específica de uso é o “fator de renovabilidade” da biomassa, que representa a fração de carbono emitido inicialmente que será reabsorvido pela mesma fonte em um certo período de tempo. Nesse caso, utilizou-se o período de 15 anos que corresponde ao intervalo 2015-3030.

Neste estudo, somente foram consideradas as emissões diretas de CO₂ na queima, devido à falta de estudos detalhados nacionais sobre outras emissões geradas no ciclo de vida. Através de referências de outros países, sabe-se que as emissões indiretas devidas ao corte, transporte e processamento final da biomassa para energia são moderadas, tipicamente variando entre 2 e 6% acima das emissões diretas.

Por outro lado, vale salientar que as emissões indiretas causadas por mudanças de uso da terra definitivas podem ser muito altas, até várias vezes superiores às emissões diretas (SAMPAIO; COSTA, 2011). Elas não foram consideradas neste estudo, por falta de informações consistentes e completas sobre o alcance das distintas formas de mudanças de uso da terra na região.







A Tabela 34 compara as emissões específicas de cada fonte energética, por unidade energética e por unidade de massa. A emissão líquida depende da emissão bruta e do fator de renovabilidade (igual à capacidade de uma fonte de recapturar o carbono emitido na combustão). Algumas fontes de biomassa têm renovabilidade zero, como todas as fontes fósseis.

Tabela 34. Emissões brutas e líquidas de CO₂, renovabilidade e emissões específicas por tipo de energético.

	Unidade	Emissão bruta (tCO ₂ unidade ⁻¹)	Fator de renovabilidade	Emissão líquida (tCO ₂ unidade ⁻¹)	PCI (GJ unidade ⁻¹)	Emissão específica (kg CO ₂ GJ ⁻¹)
Lenha de poda de frutíferas	tMS	1,760	1,0	0,00	18	0
Lenha de eucalipto	tMS	1,760	1,0	0,00	18	0
Palha de cana-de-açúcar	tMS	1,577	1,0	0,00	16	0
Bucha de coco	tMS	1,577	1,0	0,00	16	0
Carvão vegetal de PMFS	tCV	5,280	1,0	0,00	28	0
Lenha de PMFS	tMS	1,760	0,9	0,18	18	10
Lenha de algaroba	tMS	1,760	0,9	0,18	18	10
Lenha de caatinga, sistema ASP	tMS	1,760	0,7	0,53	18	29
Gás liquefeito de petróleo	t	2,870	0,0	2,87	45	64
Gás natural	10 ³ m ³	2,629	0,0	2,63	41	64
Óleo BPF	t	3,143	0,0	3,14	40	79
Carvão vegetal de sistema ASP	tCV	5,280	0,5	2,64	28	94
Lenha de cajueiro	tMS	1,760	0,0	1,76	18	98
Lenha de cerrado, sem autorização	tMS	1,760	0,0	1,76	18	98
Coque de petróleo	t	3,300	0,0	3,30	32	103

Nos casos de "lenha de algaroba" e "lenha de PMFS" foi adotado um fator e renovabilidade = 0,9 assumindo que o estoque de biomassa original não é completamente recuperado. Para sistemas ASP, o cálculo de fator de renovabilidade está detalhado no Anexo 3.

Observa-se que existem valores de emissão direta muito diferentes entre os energéticos, que podem ser agrupados em quatro níveis (Tabela 35).

Tabela 35. Níveis de emissão direta de CO₂ por diversas fontes energéticas.

	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo
kgCO ₂ GJ ⁻¹	75 a 100	50 a 75	25 a 50	0 a 25
Energéticos	Óleo BPF	Gás Liquefeito de	Lenha de caatinga de	Lenha de algaroba
	Lenha de cerrado	Petróleo	sistemas agrossilvipastoril (FR = 0,7)	Lenha de frutíferas
	Lenha de cajueiros	Gás natural		Lenha de PMFS
	Carvão vegetal de			Eucalipto
	sistemas agrossilvipastoril (FR = 0,5)			Palha de cana
	Coque de petróleo			Casca de coco
				Resíduos

Os estoques de C na vegetação e no solo também são diferentes, segundo o tipo de uso das terras. As Tabelas 36 e 37 e a Figura 38 ilustram estas diferenças, salientando as perdas de C originadas por distintos casos de mudanças de uso da terra.

Tabela 36. Estoques de biomassa e carbono (Mg ha⁻¹) em diversos usos da terra do bioma Caatinga.

Estoques	Mata nativa	Pasto Nativo	Pasto Plantado	Lavouras
BM aérea	40	10	0	0
BM subterrânea	7	5	2	1
BM total	47	15	2	1
C na biomassa	23,5	7,5	1	0,5
C no solo	100	90	80	70
C total	123,5	97,5	81	70,5
C no solo / C total	81%	92%	99%	99%

**Tabela 37. Dinâmica dos estoques de carbono após 15 anos de uso da terra.**

Usos da Terra	Estoque médio tC ha ⁻¹	Diferença tC ha ⁻¹	Perda relativa	Emissão tCO ₂ ha ⁻¹
Caatinga alta, sem MUT	123,5	0,0	0%	0
PMFS ou pousio longo	111,3	-12,2	10%	45
Silvipastoril	101,5	-22,0	18%	81
Agrossilvipastoril	84,0	-39,5	32%	145
Pasto nativo	97,5	-26,0	21%	95
Pasto plantado	81,0	-42,5	34%	156
Lavouras anuais	70,5	-53,0	43%	195

Levando em conta os valores da Tabela 34, no prazo de 15 anos, adotado como horizonte de tempo dos cenários, os valores dos índices de renovabilidade são:

- ◆ para lenha de PMFS = 0,9
- ◆ para lenha de cortes não autorizados em sistema tradicional agrossilvipastoril = 0,7
- ◆ para carvão vegetal de cortes não autorizados = 0,5 (adicionando o CO₂ equivalente das emissões de metano na conversão de lenha a carvão).

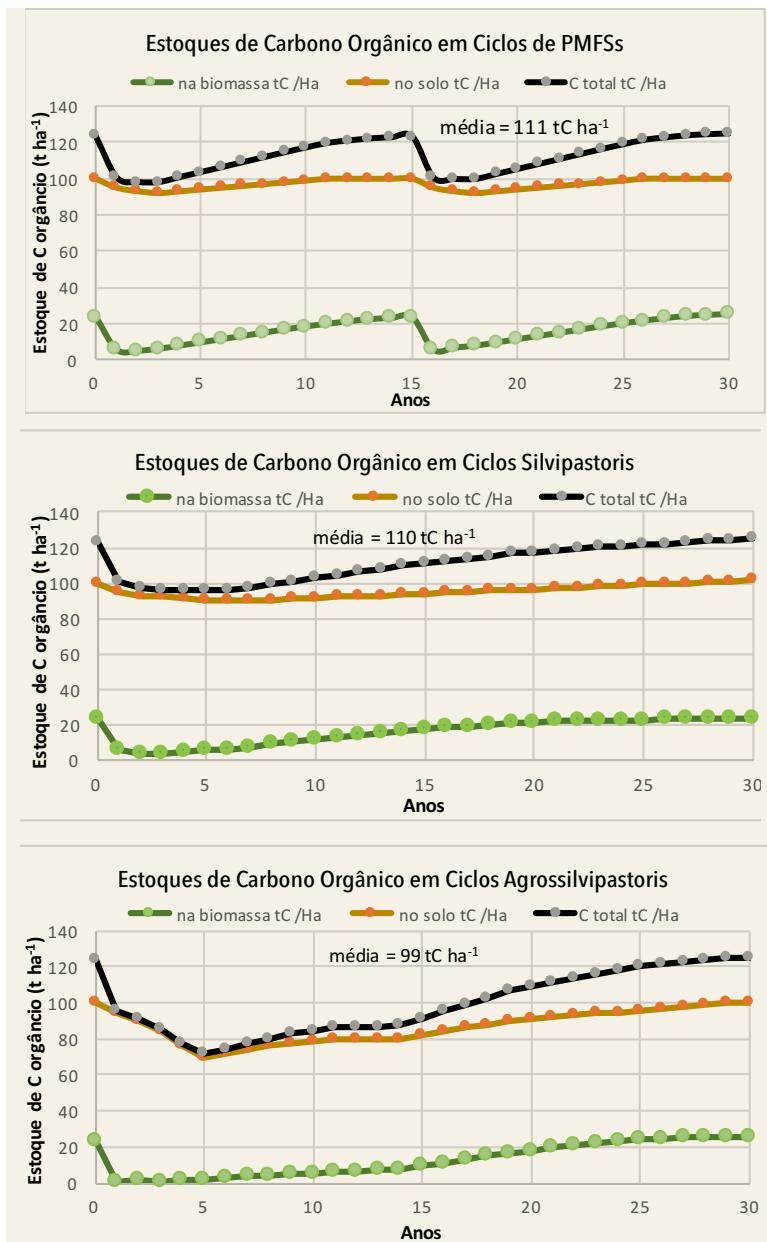


Figura 38. Dinâmica dos estoques de C orgânico em três usos da terra.

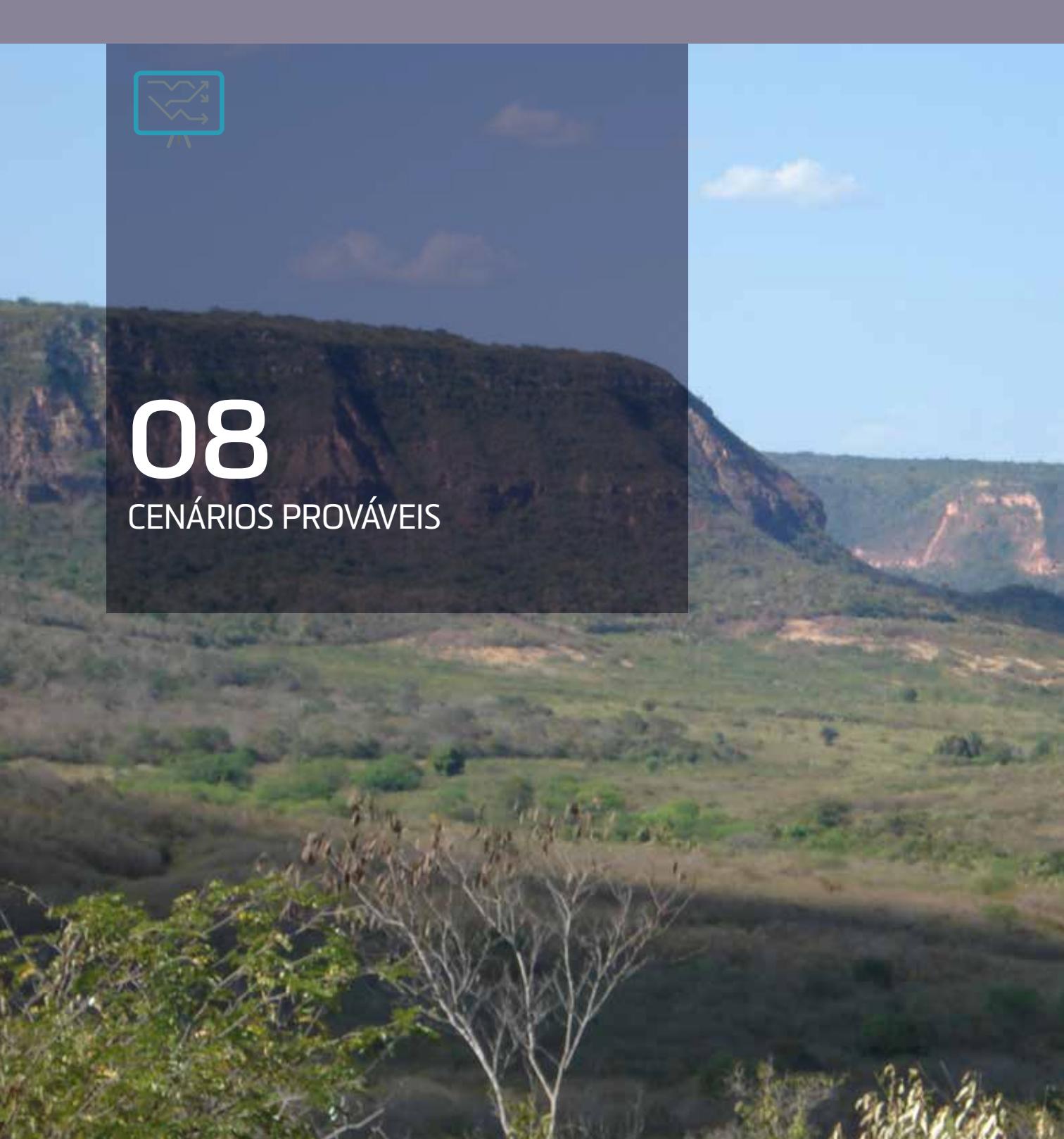
Foi assumido, conservadoramente, que 30% da lenha obtida da caatinga acarreta mudança de uso da terra não revertida no prazo de 15 anos, que é o horizonte de tempo dos cenários.

No caso de carvão vegetal, foi assumido que 50% ocasionam mudança de uso da terra não reversível em 15 anos.



08

CENÁRIOS PROVÁVEIS





Os cenários “prováveis” resultam das projeções de ofertas e demandas de biomassa, sem intervenções especiais. São cenários “BAU” (“Business As Usual”) que não consideram novas políticas ou novos marcos legais e normativos.

Do lado da demanda, as mudanças previstas no padrão e intensidade de uso de biomassa para energia resultam da dinâmica das populações humanas e das tendências específicas de cada setor ou ramo consumidor. Não se consideraram as possíveis reduções da demanda por aumentos de eficiência ou por mudanças tecnológicas ainda por acontecer. Do lado das ofertas, as de PMFS e eucalipto seguem suas tendências históricas; a do cajueiro mantém-se até esgotar seus estoques; e não ingressam novas fontes de biomassa.

Para determinar duas situações extremas e uma situação média dos balanços nos cenários BAU, foi construída uma matriz com as três projeções da oferta e as três projeções da demanda. Foram analisados detalhadamente os casos “otimista”, “médio”, e “pessimista”, definidos como segue:

	OFERTA ALTA	OFERTA MÉDIA	OFERTA BAIXA
DEMANDA ALTA	OA DA	OM DA	OB DA “Pessimista”
DEMANDA MÉDIA	OA DM	OM DM “Médio”	OB DM
DEMANDA BAIXA	OA DB “Otimista”	OM DB	OB DB



Dois balanços foram calculados em cada caso: com oferta total (todas as fontes) e com oferta legal (sómente fontes legais).

A Figura 39 ilustra os resultados das projeções entre 2015 e 2030, observando-se que:

- ⌚ com oferta alta e demanda baixa, haveria excedentes de 35 a 37 milhões de tMS ano⁻¹;
- ⌚ com oferta baixa e demanda alta, os excedentes seriam menores, caindo de 31 para 28 milhões de tMS ano⁻¹ no final do período;
- ⌚ ao longo de todo o período haveria balanços positivos, porque a oferta total (representada pela oferta atual mais a oferta potencial) é 3 a 4 vezes maior que a demanda total;
- ⌚ contudo, uma parte da oferta de biomassa continuará sendo ilegal e/ou não sustentável, seguindo as proporções atuais.

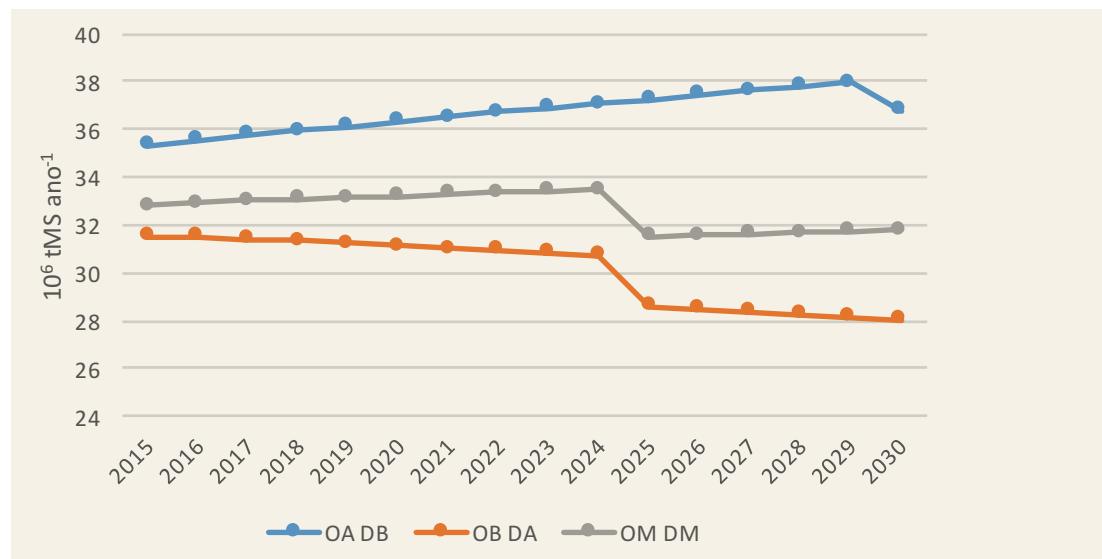


Figura 39. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta total.

Os resultados mudam muito se for considerada somente a oferta legal, em cujo caso os balanços são sempre negativos (Figura 40).

Na combinação mais otimista, o resultado muda de $-6,0 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$ no ano 2015 para $-4,0 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$ em 2030. Na combinação mais pessimista, o déficit aumenta desde $-8,0$ para $-10,0 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$ em 2030.

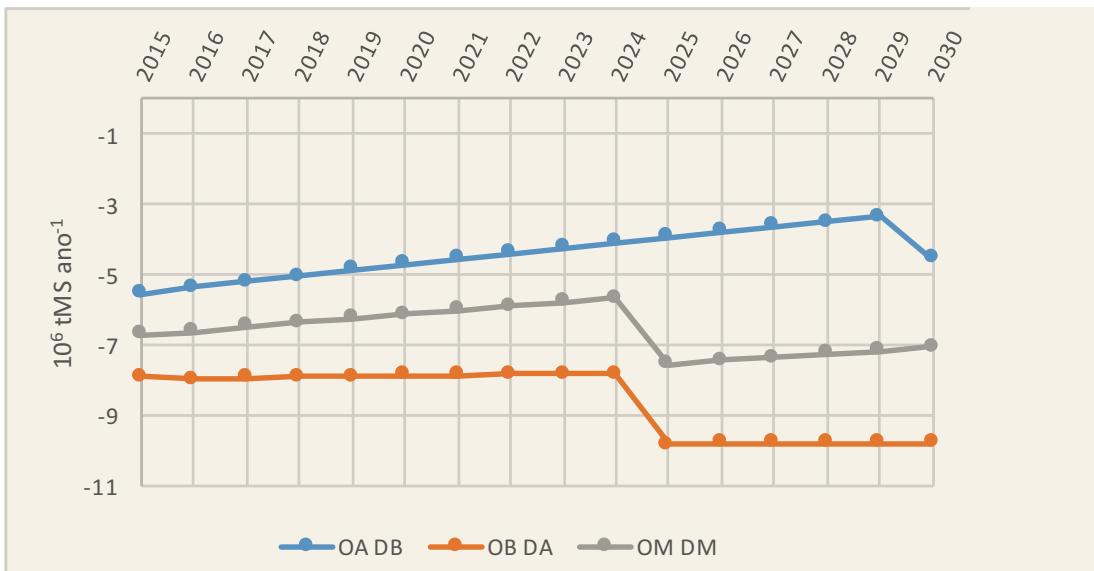


Figura 40. Balanços de biomassa para energia no cenário BAU, com oferta legal.

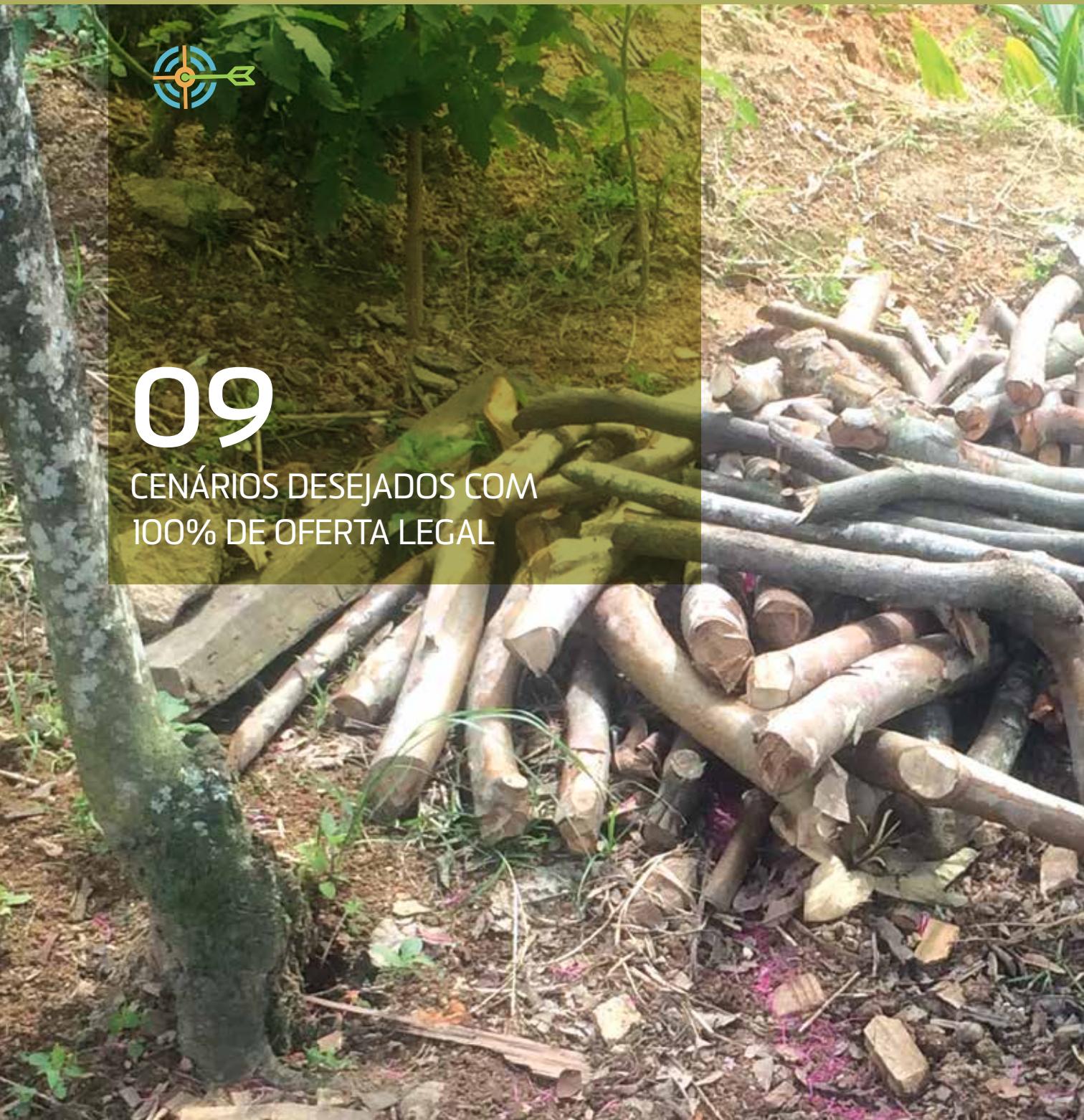
Considerando somente a oferta legal de biomassa, nos cenários BAU haverá sempre déficit, que deverá ser coberto por fontes ilegais. Porém se for possível legalizar a oferta potencial de todas as fontes sustentáveis, haverá sempre superávit de biomassa para energia na região Nordeste.





09

CENÁRIOS DESEJADOS COM
100% DE OFERTA LEGAL





Nestes cenários, assume-se que 100% da biomassa usada pelo setor industrial e todo o carvão vegetal usado nos três setores consumidores (industrial, comercial, residencial) serão obtidos de fontes legais. Assume-se também que os consumos de lenha dos domicílios rurais (RU) e pequeno urbanos (PU) são 100% legal, porque podem ser considerados "autoconsumo" (até 20 m³ propriedade⁻¹ ano⁻¹) e não requer autorização de corte.

Para efeitos deste trabalho biomassa legal é aquela que:

- a) tem autorização de extração e transporte emitida por órgãos competentes, para o caso de madeira de matas nativas, ou
- b) é dispensada da autorização prévia por ser de árvores exóticas (como eucalipto, algaroba), ou por ser resíduo de outras atividades (como a lenha de cajueiros, a poda de frutíferas, a palha da cana-de-açúcar, as cascas e folhas de coqueiros, etc.), ou
- c) é isenta de autorização por ser obtida por moradores, para uso próprio dentro das propriedades rurais, até o limite de 20 m³ ano⁻¹.



Biomassa sustentável é aquela que, pela forma como é extraída, mantém a produtividade e os estoques de carbono de sua fonte, no longo prazo. Esta definição restrita não incorpora critérios de conservação da biodiversidade na fonte nem no ecossistema. Também não considera as dimensões econômicas e sociais da sustentabilidade.

Nos Cenários com "100% de consumo legal" foram considerados também três casos, combinando as projeções das demandas e das ofertas de fontes legais: "otimista" (oferta alta e demanda baixa - OA DB), "médio" (oferta e demanda médias - OM DM) e "pessimista" (oferta baixa e demanda alta - OB DA). Nestes cenários as fontes ilegais e não sustentáveis não participam da oferta, e são substituídas gradativamente por fontes legais e sustentáveis.

Independentemente do nível de legalidade atual de cada setor ou ramo consumidor, todos eles deveriam chegar a 100% de consumo obtido de fontes legais em 2030. Para satisfazer esta condição, foram integrados nestes cenários três fontes de biomassa que cobrem os incrementos adicionais da demanda não atendidos pelas ofertas atuais e suas projeções e que também substituem a lenha de cajueiros quando esta desaparece. Estas fontes adicionais são:

- ◆ PMFS. A fonte mais adequada e mais segura para o sertão, que produz biomassa com os menores custos logísticos para atender às demandas localizadas no interior.
- ◆ Plantios de eucalipto. É uma fonte de alta produtivi-





dade para o Litoral, porém sua maturação é demorada, com espera de 7 anos desde a implantação até a colheita.

- Palha de cana-de-açúcar. Disponível onde há colheita mecanizada. É adequada para caldeiras e certos tipos de fornos. Está localizada no litoral leste e pode produzir biomassa de forma imediata e com poucos investimentos.

O estudo demonstrou que não existem outras fontes de biomassa sustentável com potenciais importantes além de PMFS, eucalipto e cana-de-açúcar. Outras fontes, de menor montante são: os coqueiros, as serrarias e moveleiras, a vinhaça e os resíduos urbanos. Estas outras fontes têm potenciais reduzidos e altos custos de processamento e transformação e por isso, não foram consideradas.

A expansão prevista das fontes adicionais de biomassa levaria aos resultados da Figura 41, na qual a curva de oferta adicional atinge a curva de demanda adicional em 2030. A oferta adicional necessária para atender as demandas nos cenários 100% legal e sustentável é a diferença entre a demanda total e a oferta de fontes legais prevista no cenário BAU. Os cenários BAU já contemplam uma dinâmica de aumento de duas ofertas legais (PMFS e eucalipto), porém, não incluem a palha de cana-de-açúcar como nova fonte.

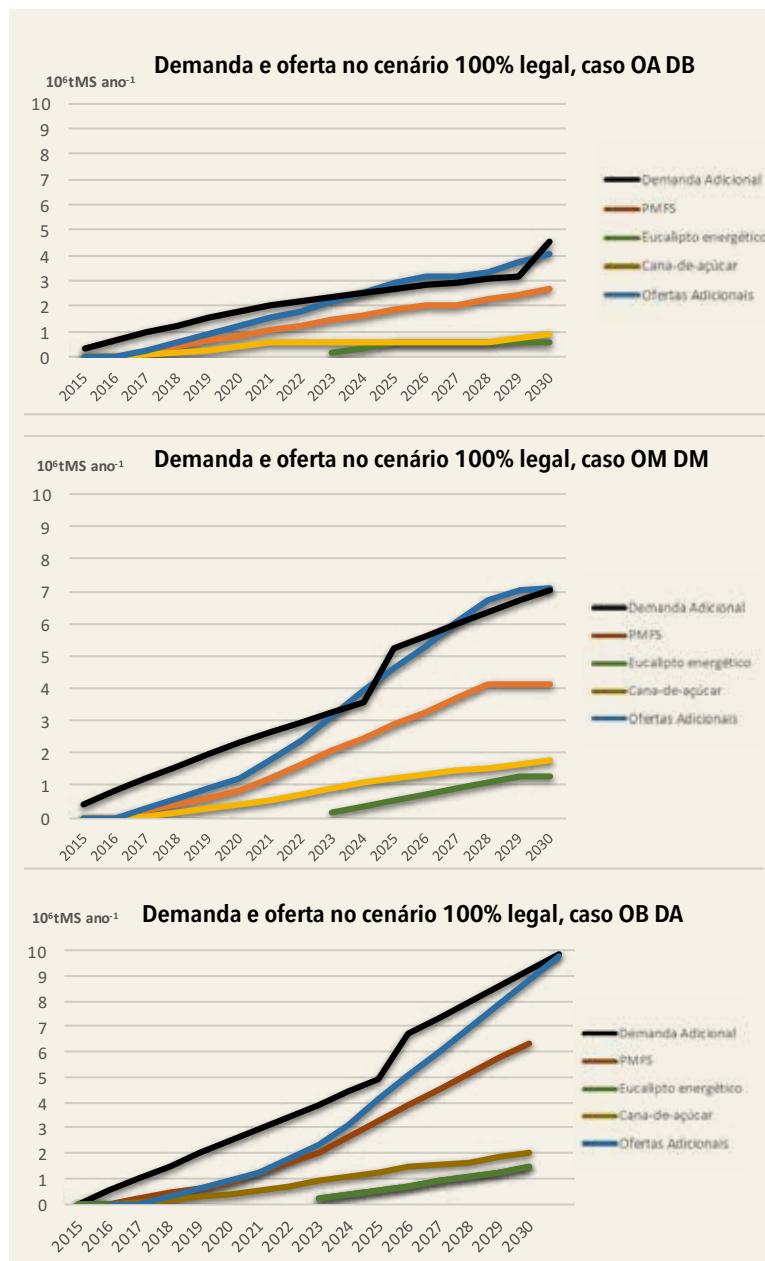


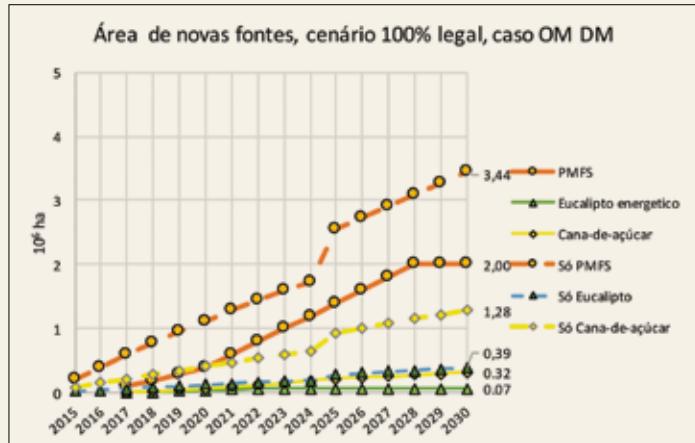
Figura 41. Cenários com 100% de fontes legais.

Os níveis de esforço necessários para desenvolver as ofertas adicionais requeridas são bastante diferentes, dependendo das projeções de ofertas e demandas "BAU". No caso OA DB, devem somar $4 \cdot 10^6$ tMS no ano 2030; no OM DM devem chegar a $7 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$; e no OB DA tem que atingir quase $10 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$. Aliás, estes incrementos devem ser somados aos aumentos de ofertas previstas nos respetivos cenários BAU.

Contudo, há limites físicos para expandir a produção adicional de biomassa destas três fontes, visto que:

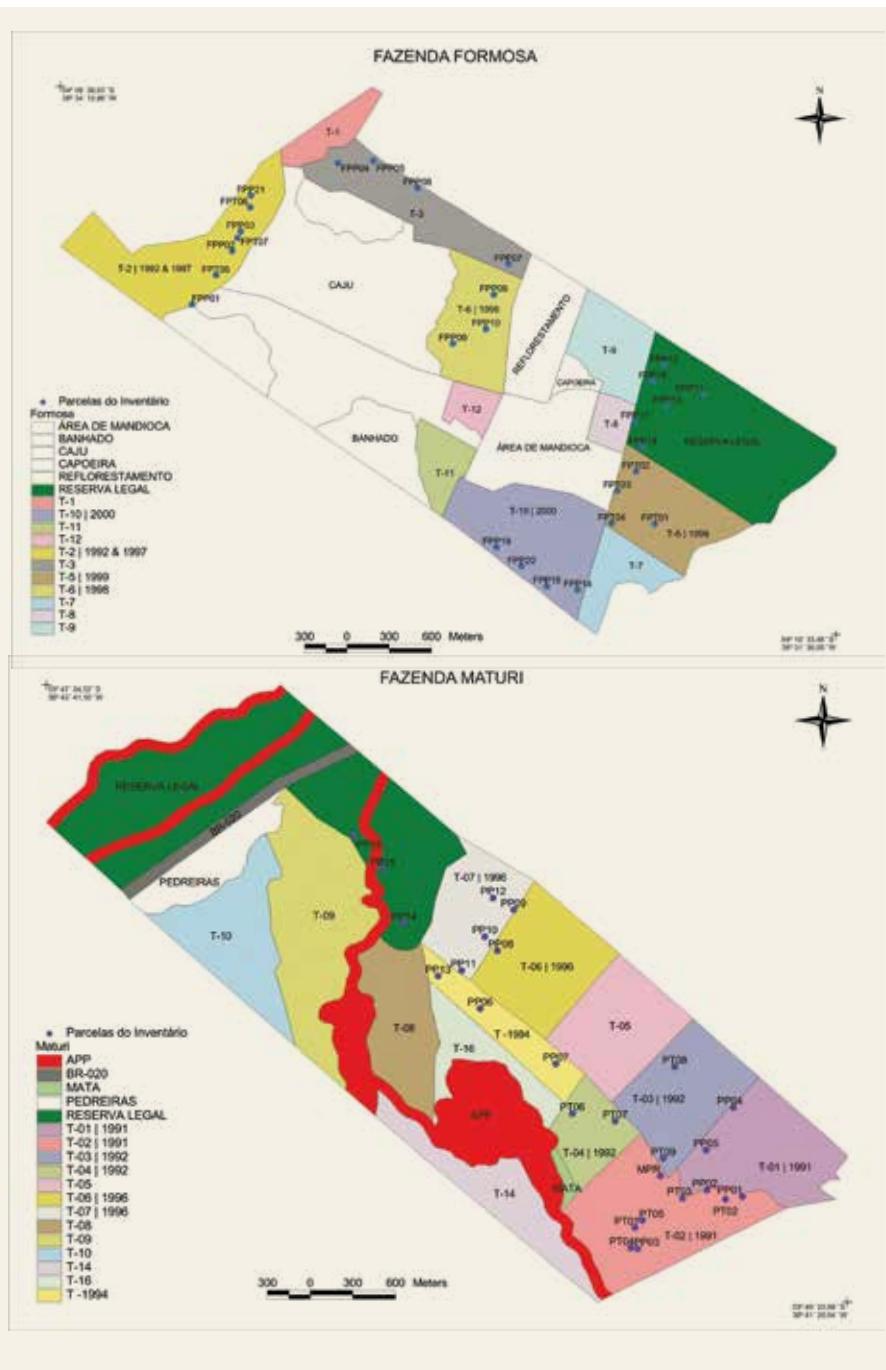
- ◆ para estabelecer novos plantios de eucalipto já se torna difícil encontrar terras aptas, além dos 650 mil ha já implantadas no Nordeste. Por requerimentos de solo e clima, os eucaliptos de alta produtividade somente são bem-sucedidos nas partes mais úmidas do litoral leste, desde RN até BA, onde devem concorrer com outros usos da terra como cana-de-açúcar, pastagens e plantios de frutíferas;
- ◆ a área total cultivada com cana-de-açúcar é de $1,1 \cdot 10^6$ ha, porém, apenas nas terras de relevo plano ou pouco ondulado pode haver colheita mecanizada. Estima-se que até 40% poderão entrar nesse sistema no futuro próximo, não ultrapassando os $0,44 \cdot 10^6$ ha;
- ◆ existem em torno de $20 \cdot 10^6$ ha de caatinga densa que podem ser incorporadas no manejo florestal sustentado; porém, apenas 40% desta área tem precipitação média anual superior a 700 mm e pode lograr produtividade média acima de $10 \text{ st ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, resultando que o MFS é recomendável em até $8 \cdot 10^6$ ha.

As áreas necessárias são apresentadas na Figura 42 apresentando para cada caso as alternativas usando apenas uma fonte e uma combinação das três, que é considerada a mais segura e viável. No caso OM DM, isto representa incrementar $2,0 \cdot 10^6$ ha de PMFS, mais $0,320 \cdot 10^6$ ha de cana, e ainda $0,070 \cdot 10^6$ ha de eucalipto 100% energético. Entretanto, deve ser considerado que, atualmente, não existem plantios de eucalipto 100% energético, uma vez que com a demanda e a capacidade de pagamento de outros usuários, como serrarias e fábricas de celulose e papel, só 30% da biomassa produzida são diretamente vendidos para fins energéticos.



A mata nativa do semiárido (caatinga) sob manejo florestal sustentável é a única fonte de biomassa energética legal e sustentável que pode atender a todas as demandas atuais e futuras da região NE. As outras fontes podem contribuir em maior ou menor medida, porém, nenhuma delas poderia produzir a biomassa necessária para atender a todas as demandas.

Figura 42. Áreas necessárias para atender a demanda adicional de biomassa com fontes 100% legais e sustentáveis.





A quantidade de emissões líquidas diretas geradas pela queima de biomassa no NE foi estimada para os cenários "BAU" e "100% legal". Os resultados são demonstrados na Figura 43.

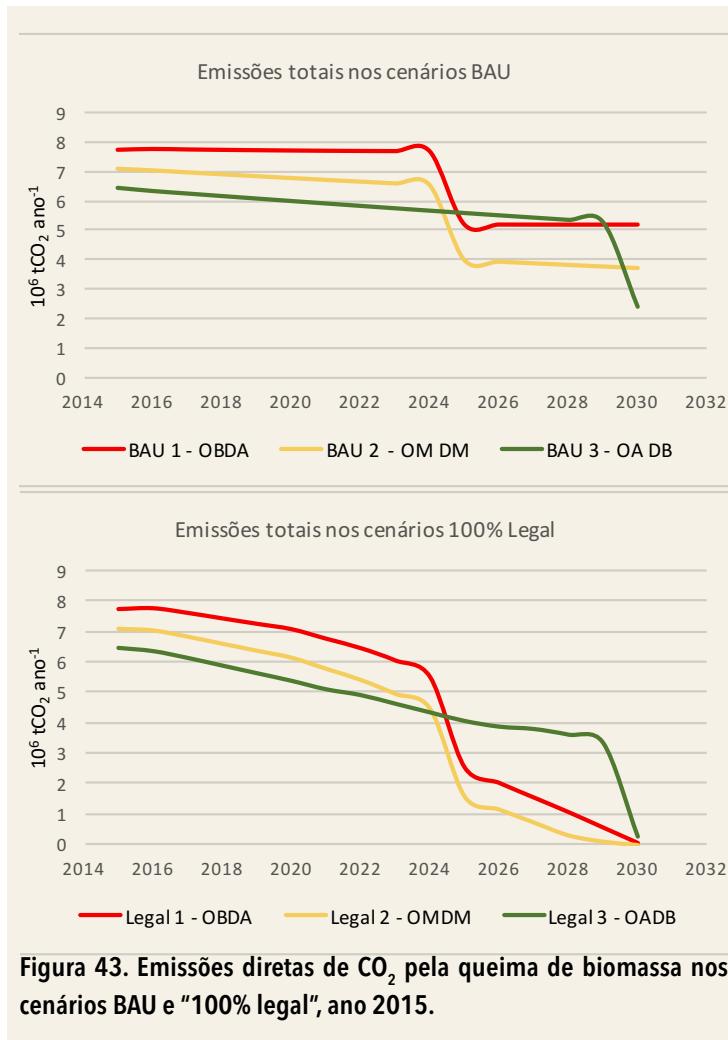


Figura 43. Emissões diretas de CO₂ pela queima de biomassa nos cenários BAU e "100% legal", ano 2015.





Como ilustrado na Figura 43, todos os cenários BAU têm emissões constantes ou levemente decrescentes entre 2015 e 2030 (entre 6 e $8 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2 \text{ ano}^{-1}$) até que se verifica o fim do uso do cajueiro gigante, que é uma importante fonte atual de emissões líquidas.

Os cenários “100% legal” oferecem uma perspectiva completamente diferente. Nestes, as emissões reduzem-se gradativamente até o fim do uso a lenha de cajueiro e continuam caindo até chegar a emissão zero em 2030. Obviamente, isto seria alcançado através da substituição de energéticos de emissões altas (lenha de cajueiro) ou médias (como carvão e lenha de sistemas ASP) por outros não emissores (como lenha e carvão vegetal de PMFS, eucalipto, palha de cana-de-açúcar).

Em resumo, os cenários BAU preveem manter um nível de emissões mais ou menos constante de 6 a $8 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2 \text{ ano}^{-1}$ até 2030.

O consumo de biomassa para energia poderá ser carbono neutro, eliminando praticamente as emissões líquidas de CO_2 até 2030. Porém, se a biomassa fosse substituída por GLP, GN e outros combustíveis fósseis, as emissões passariam de muito baixas a muito altas, sendo multiplicadas por um fator que varia de 6 até 10.



10

CONSIDERAÇÕES FINAIS





A procura por energia renovável sem emissões de carbono é um desafio global e o NE tem recursos amplos para desenvolver três fontes renováveis: solar, eólica e biomassa. A energia solar já tem aplicações no setor domiciliar (esquentar água), no setor elétrico (geração fotovoltaica distribuída e integrada no SIN), e no setor industrial (secagem solar). A energia eólica já é utilizada amplamente para gerar eletricidade para o SIN. A biomassa tem muitas aplicações atuais em usos industriais, domiciliares e no setor de transportes: gera calor direto, vapor, eletricidade, biocombustíveis.

Ainda que estas três fontes utilizem recursos naturais renováveis da região, a solar e a eólica precisam de tecnologias e capitais externos. Assim, uma parte importante dos fluxos econômicos gerados pela energia solar e eólica são voltados para fora de região: o valor gerado é transferido para as empresas e países de onde os capitais são originários e onde os equipamentos são fabricados. As empresas solares e eólicas geram pouco emprego local e consomem menos de 50% de insumos nacionais.

No caso da biomassa, todas as empresas produtoras, beneficiadoras e usuárias são nacionais ou regionais. Quase todos os insumos são de origem local ou nacional, e a geração de empregos por unidade energética é até cem vezes maior que nas empresas solares e eólicas. Assim, os valores gerados na cadeia de produção e uso final ficam integralmente na região. Por isso, a biomassa pode ser uma alavanca para o desenvolvimento regional, criando e distribuindo riqueza no Nordeste.



A energia solar e a eólica podem produzir eletricidade para o SIN, ou calor de baixa temperatura. Porém, uma boa parte do setor industrial do NE requer calor de alta temperatura para seus processos (calcinação, fusão sinterização, clinquerização, redução, desidratação, esterilização). Os energéticos que podem atender estas demandas de energia térmica são poucos: gás natural, óleo BPF, carvão mineral e coque entre as fontes fósseis, e biomassa entre as renováveis. Porém, as fontes fósseis geram altas emissões de GEE.

Só a biomassa pode fornecer energia térmica produzindo calor de alta temperatura para usos industriais e comerciais sem emitir CO₂. E como não existe sustentabilidade com emissões de CO₂, cabe concluir que a biomassa é a única fonte de energia térmica que pode viabilizar um processo de desenvolvimento econômico sustentável no NE, com baixas emissões de carbono.

A biomassa para energia, especialmente a lenha, tem um papel fundamental, porém pouco reconhecido e pouco valorizado, na economia regional. Este não reconhecimento passa pela:

- Subestimação da biomassa no balanço energético nacional e regional, que lhe faz perder visibilidade e não permite avaliar o seu verdadeiro papel;
- Opinião generalizada de que o manejo florestal é ruim para o meio ambiente;
- Opinião generalizada que o uso da lenha da caatinga gera esgotamento dos recursos florestais, ignorando que a cobertura florestal no bioma ao longo dos últi-





mos 30 anos vem se mantendo sem diminuir;

- d. Opinião generalizada que uso de lenha é "atraso".

Desta forma, os procedimentos administrativos e as normas legais estão em descompasso com a realidade atual, conforme mostra a Tabela 38 que apresenta o grau de atendimento da demanda atual por fontes legais e ilegais, sustentáveis e não sustentáveis. Destaca-se que 78% da biomassa são sustentáveis, porém, 27% vêm de fontes ilegais.

Tabela 38. Situação atual estimada de legalidade e sustentabilidade da biomassa para energia.

	Illegal	Legal	
Sustentável	Algaroba em APP e ou RL sem autorização	1%	Algaroba fora de APP e RL
	Caatinga ASP	19%	Eucalipto
			PMFS
			Palha de cana
			Caatinga sem MUT para uso domiciliar
			Outras frutíferas e resíduos
Não Sustentável	Caatinga, desmatamento não autorizado	7%	Caatinga /cerrado - desmatamento autorizado
			Cajueiro Gigante
		27%	14%
			100%

Por sua vez, na Tabela 39, apresenta-se a situação desejada para atingir 100% de legalidade em 2030 com um nível mínimo de emissões. Considerando que sempre haverá algumas ofertas de biomassa a partir de desmatamentos autorizados para mudança de uso da terra, a participação da



biomassa sustentável utilizada será de aproximadamente 92%.

As mudanças necessárias para maximizar a participação de fontes de ofertas sustentáveis e legais são:

- ⦿ Legalizar os sistemas agrossilvipastoris utilizados tradicionalmente na caatinga como formas sustentáveis de uso da terra, por meio de normas adequadas;
- ⦿ Incorporar a palha de cana-de-açúcar como nova fonte sustentável de biomassa energética;
- ⦿ Evitar o uso de algaroba nas APPs e áreas de reserva legal;
- ⦿ Evitar o uso de lenha da caatinga proveniente de áreas com mudança de uso da terra permanente não autorizado;
- ⦿ Eliminar o uso de lenha de cajueiro gigante, fato que ocorrerá naturalmente por esgotamento dos seus estoques;
- ⦿ Aumentar as áreas implantadas com eucalipto na sub-região Litoral e de PMFS no Sertão.

Tabela 39. Situação desejada de legalidade e sustentabilidade da oferta de biomassa.

	Illegal	Legal	
Sustentável	Algaroba em APP e ou RL sem autorização	0%	Algaroba fora de APP e RL
	Caatinga ASP	0%	Eucalipto
			PMFS
			Caatinga ASP legalizado
			92%
Não Sustentável	Palha de cana		
	Caatinga sem MUT para uso domiciliar		
	Outras frutíferas e resíduos		
	Caatinga, desmatamento não autorizado	0%	Caatinga /cerrado - desmatamento autorizado
	Cajueiro Gigante		8%
	0%	100%	0%

Na COP 2015 de Paris, o Brasil apresentou sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC), que poderá ter força legal sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Define um conjunto de metas e ações para reduzir a emissões nacionais de GEE, conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), da Lei de Proteção das Florestas Nativas (Lei 12.651/2012, o chamado Código Florestal), da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000).

No texto da iNDC especifica-se que "Ações adicionais exigiriam aumento, em larga escala, do apoio internacional e dos fluxos de investimento, bem como do desenvolvimento, emprego, difusão e transferência de tecnologias. Especificamente em relação ao setor florestal, a implementação de atividades de REDD+ e a permanência de resultados obtidos requerem a provisão contínua de pagamentos por resultados de forma adequada e previsível. Em outras palavras, espera-se um importante fluxo de investimentos internacionais e nacionais para apoiar as ações de mitigação de emissões no setor florestal. A REDD+ é sigla de "Reduced Deforestation and Degradation", que se traduz como "redução do desmatamento e degradação de florestas".

Como já foi demonstrado nos últimos 30 anos, uma das poucas ações que garante a conservação da cobertura florestal do NE e evita sua degradação é a implantação do Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Na caatinga já existe $0,4 \cdot 10^6$ hectares sob manejo, que fornecem $0,7 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$, ou seja 11% da biomassa energética obtida de fontes legais. O interessante é que o bioma caatinga tem potencial para manejar até $19 \cdot 10^6$ de hectares e produzir $29 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$, ou seja três vezes mais que toda a biomassa consumida na região em 2015.





A caatinga é uma fonte de energia renovável, de emissão zero, que se for colocada sob manejo sustentável, pode conservar a cobertura florestal, evitar sua degradação e atender todas as demandas de energia térmica da região NE.

Além da caatinga e do cerrado, o NE tem outras fontes importantes de biomassa, florestais e agrícolas. As mais importantes são os plantios de eucaliptos, cajueiros e outras frutíferas, a cana-de-açúcar e os algarobais espontâneos. Ao todo, a biomassa fornece $14,5 \cdot 10^6$ tMS ano $^{-1}$, equivalentes a $6,5 \cdot 10^6$ tep ano $^{-1}$. O aporte de energia primária da biomassa é muito maior que o da energia eólica, estimado em $1,4 \cdot 10^6$ tep ano $^{-1}$ (MME, 2016), e resulta similar ao gerado pela exploração de petróleo ($7,2 \cdot 10^6$ tep ano $^{-1}$) ou gás natural ($5,7 \cdot 10^6$ tep ano $^{-1}$) na região NE (www.anp.com.br).

A biomassa fornece atualmente a mesma quantidade de energia primária que a obtida da exploração de petróleo ou do gás natural no NE e quatro vezes mais que a energia eólica.

Atualmente, em todo o mundo, a biomassa é considerada uma das energias mais modernas e tecnologicamente avançadas, contrariando o mito de que esta é uma forma de energia atrasada e tradicional. Aliás, 70% da biomassa consumida no NE é comercializada, gerando um fluxo econômico de 2,0 bilhões de R\$ por ano, equivalente a 35 mil empregos permanentes. Assim, o uso de biomassa é uma fonte importante de trabalho e renda.



Apesar disso, o uso de biomassa para energia está ainda ausente no planejamento do desenvolvimento regional, seja como fonte energética, seja como atividade econômica. Provavelmente isto ocorre pelo desconhecimento de sua importância atual e potencial como energia renovável, limpa e geradora de riqueza. Porém, este desconhecimento não deveria ocultar o fato de que é possível e necessário integrar a biomassa como opção de desenvolvimento sustentável no Nordeste.



REFERÊNCIAS

APNE. Disponível em:<http://www.cnip.org.br/planos_manejo.html> Acesso em: 20 março 2017.

BARBOSA, W. B. **Demanda de biomassa florestal e a problemática ambiental associada à extração vegetal: abordagem no Polo de Confecções do Agreste Pernambucano.** 2011. 71 f. il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

BEMPARANÁ. Disponível em:< <http://www.bemparana.com.br/noticia/253992/consumo-de-pao-aumenta-176-no-brasil-em-2012>> Acesso em: 20 março 2017.

CORTEZ, L.A. E M. R. LIMA VERDE LEAL. **Uso da Palha da Cana vs Emissões de GEE.** Oficina de Trabalho Sustentabilidade do Bioetanol Brasília, 25 e 26 de Fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/pdf/of_bioetanol/Uso_da_palha_da_cana_vs_emissoes> Acesso em: 10 março 2017.

IBGE. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/19052004pof2002html.shtml>> Acesso em: 20 março 2017.

MME. Energia Eólica no Brasil e Mundo. Ano de referencia 2015. Edição 02/08/2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica++ano+ref++2015+%283%29.pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2>> Acesso em: 20 abril 2017.

NDAGIJIMANA, C.; PAREYN, F.G.C.; RIEGELHAUPT, E. **Uso do solo e desmatamento da Caatinga: um estudo de caso na Paraíba e no Ceará - Brasil.** Estatística Florestal da caatinga. Ano 2. Volume 2. Agosto 2015. p. 18-29. Associação Plantas do Nordeste, Recife/PE.

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

SAMPAIO, E.V.S.B.; COSTA, T.L. **Estoques e fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordestino: Estimativas Preliminares.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, n. 6, p. 1275-1291, dez. 2011.

THIAGOCOMPAN. Disponível em:< <http://thiagocompan.com.br/consumo-de-pao-no-brasil/>> Acesso em: 20 março 2017.

GLOSSÁRIO

Biomassa: material orgânico proveniente de organismos vivos.

Biomassa sustentável: aquela obtida por um sistema de manejo que mantém o estoque de carbono e a produtividade da fonte no longo prazo.

Cadeia de produção: série de etapas consecutivas onde diversos insumos são transformados ou adicionados para obter um produto final (bem ou serviço).

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.

Cenário BAU: cenário onde as tendências atuais são mantidas ao longo do tempo, sem intervenções propositais.

Ciclo de corte: tempo que transcorre entre dois cortes consecutivos de madeira no mesmo talhão.

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.

Demanda energética: a quantidade de biomassa utilizada para fins energéticos por unidade de tempo.

Demanda total: a quantidade total de biomassa consumida por um setor, ramo ou estabelecimento por unidade de tempo.

Emissão biogênica: liberação de GEE originada no carbono contido em seres vivos e não de carbono fóssil.

Emissão de GEE: liberação de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , NOx , fluorocarbonos) para a atmosfera.

Estoque: quantidade de biomassa contida numa certa área de uma fonte de biomassa.

Matriz energética: conjunto das fontes de energia utilizadas por uma atividade, em uma região ou um estabelecimento.

Mudança de Uso da Terra (MUT): mudanças na forma de uso do solo devidas a mudanças da cobertura vegetal.

Oferta atual e legal: parte da biomassa obtida de forma legalizada ou que independe de autorização ou licenciamento pelos órgãos ambientais.

Oferta potencial: quantidade de biomassa obtida de forma legal ou ilegal, já aproveitada ou ainda não aproveitada.

Pousio: período de repouso ou recuperação onde a terra deixa de ser utilizada em atividades produtivas.

Reposição florestal: reconstituição de uma base produtiva florestal equivalente ao consumo de produtos florestais realizado por um usuário.

Saturação de combustível: participação de um combustível no universo de consumidores.

Sistemas agrossilvipastoril: sistemas de uso das terras que combinam atividades agrícolas, pecuárias e florestais. Na Caatinga encontram-se sistemas ASP tradicionais (ex. pousio florestal, manejo do sabiá para estacas) e tecnificados (ex. raleamento, rebaixamento, enriquecimento).

ANEXO 1. Matriz com os critérios e indicadores considerados nas projeções de oferta das fontes de biomassa.

Fonte de biomassa	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Vegetação nativa (caatinga mais cerrado)	<p>Bioma Caatinga – Não se espera uma mudança significativa na área de vegetação nativa apta para manejo nos próximos 15 anos. Tomou-se como referência a média da área florestal do Mapbiomas³ para o período 2008 – 2011 com permanência do nível de oferta disponível.</p> <p>Bioma Cerrado – Adotou-se uma taxa de desmatamento de 1% por ano no período 2008 – 2030 para PI e de 0,5% por ano no mesmo período para Bahia, com média ponderada de 0,69% por ano. A área de referência para cada estado foi a média da área florestal do Mapbiomas do período 2008 – 2011.</p>	<p>Bioma Caatinga – considerou-se uma taxa de desmate de 0,20% aa (última taxa observada pelo MMA entre 2008 e 2009 foi de 0,23% e anteriormente (2002 – 2008) foi de 0,28% por ano, aplicada na área de Mapbiomas.</p> <p>Bioma Cerrado – considerou-se uma taxa de desmate de 1,00% por ano.</p>	<p>Bioma Caatinga – considerou-se uma taxa de aumento de 0,20% por ano. na área do Mapbiomas</p> <p>Bioma Cerrado – considerou-se uma taxa de desmate de 0,30% por ano.</p>
Cajueiros	<p>De acordo com levantamentos de campo realizados no RN e CE, há exploração dos plantios de cajueiro gigante com vários objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. substituição de copa 2. substituição por cajueiro anão 3. mudança do uso do solo (agricultura, pastagem, loteamento, granjas,.....) <p>A previsão da exploração total dos plantios de cajueiro gigante é de 10 anos. Logo, adotou-se uma disponibilidade anual de 10% do estoque atual de biomassa de cajueiro gigante no período de 2015 a 2024. A partir de 2025, esta fonte desaparece do cenário.</p>	<p>Adotou-se a mesma projeção da Média considerando que não há probabilidade de que a exploração dos cajueiros gigantes ocorra de forma menos intensiva do que a atual.</p>	<p>Adotou-se um período de exploração de 15 anos, esgotando a fonte em 2030.</p>

3 Projeto Mapbiomas: Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil - www.mapbiomas.org

Fonte de biomassa	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Coqueiro	Não foi considerada a oferta de resíduos de coqueiro nesta projeção uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	Não foi considerada a oferta de resíduos de coqueiro nesta projeção uma vez que essa cadeia ainda não está desenvolvida.	Nos dados históricos de área com coqueiros há duas tendências distintas: 1) de 1994 a 2014 sem dinâmica (estagnação), e, 2) de 2005 a 2014 com diminuição clara da área colhida. Considerou-se a dinâmica média obtida dos dois períodos
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.	Foram considerados dois fatores: 1) Dinâmica da área plantada nos últimos 20 anos (pouco expressiva) 2) Dinâmica do crescimento da produtividade. Não se considerou mudança do nível de mecanização da colheita (30 %).
Frutíferas diversas	<p>A partir da série histórica de área plantada (1994-2014) foram ajustadas duas equações para projeção futura: uma linear ($R^2 = 0,92$) e uma logarítmica ($R^2 = 0,84$).</p> <p>As equações fornecem projeções bastante distintas. Ainda que a equação linear tenha melhor ajuste, ela parte do princípio que a área plantada aumentará como ocorreu nos últimos 20 anos. Já a equação logarítmica considera que o incremento diminuirá com o tempo.</p> <p>Essa última teria bastante sentido considerando que muitas áreas de frutíferas ocorrem em polos irrigados e esses polos são limitados pela disponibilidade e existência de recursos hídricos (que não crescem linearmente).</p> <p>Como ambas as lógicas incorporam verdades, adotou-se como projeção Média, a média das duas.</p>	Considerou-se um aumento da área conforme a equação logarítmica.	Considerou-se um aumento da área conforme a equação linear.

Fonte de biomassa	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Eucalipto	<p>Com dados históricos (2006 – 2014) foram calculadas duas equações: linear ($R^2 = 0,76$) e logarítmica ($R^2 = 0,85$).</p> <p>Para a projeção Média foi considerado o resultado médio das duas equações entendido como o mais provável a acontecer.</p>	<p>Considerou-se um aumento da área conforme dinâmica observada, ajustada e projetada por equação logarítmica.</p>	<p>Considerou-se um aumento da área conforme dinâmica observada, ajustada e projetada por equação linear.</p>
Algaroba	<p>Para estimar a dinâmica dos povoamentos de algaroba foram considerados os seguintes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • os povoamentos espontâneos estão restritos a várzeas • não se espera um aumento significativo de povoamentos em novas áreas de várzea já que sempre haverá interesse para utilizá-las para cultivos agrícolas e de pastos • se trata de uma espécie de exploração livre e portanto, quase todos os povoamentos entrarão em ciclo de exploração. <p>Para estimar a área total de algarobais no NE extrapolou-se o percentual de cobertura no RN (0,33%) para os 8 Estados. Considerou-se que esta área será constante até 2030.</p>	<p>Considerou-se uma redução da área de algarobais devido à sua erradicação por ser considerada uma espécie invasora ou por causa de uma retomada da agricultura nas áreas de várzeas. Considerou-se uma redução com taxa anual de 2%.</p>	<p>Para estimar a área total de algarobais no NE extrapolou-se o percentual de cobertura de RN+PB+PE (0,54%) para os 8 Estados. Considerou-se que esta área será constante até 2030.</p>
Bambu	<p>O bambu atualmente é uma fonte de biomassa pouco expressiva ($0,024 \cdot 10^6 \text{ tMS ano}^{-1}$) e não há perspectiva de mudança significativa na área nem na produtividade de bambu no NE, principalmente no que diz respeito a uso energético.</p> <p>Portanto, a projeção Média considerou uma oferta constante de biomassa de bambu para o período de 2015 – 2030.</p>	<p>Considerou-se o desaparecimento total do uso de bambu energético em um prazo de 10 anos.</p>	<p>Considerou-se a duplicação do uso energético em um prazo de 10 anos.</p>

Fonte de biomassa	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
PMFS	<p>O banco de dados da APNE já apresenta a dinâmica da área de manejo florestal da caatinga. Consideramos dois períodos distintos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1990 – 2015 - 2000 – 2015 <p>Para ambos períodos foi calculada uma regressão linear com R² respectivo de 0,79 e 0,95.</p> <p>A projeção mediante a equação calculada a partir dos dados do período 1990 – 2015, obviamente, é mais conservadora. A equação a partir dos dados do período 2000 – 2015 é mais ambiciosa já que não considera o período inicial de implementação do manejo nos anos noventa e inclui um período de maior atuação da fiscalização e maior procura de legalização do consumo por parte dos usuários.</p> <p>Considerou-se a média das duas estimativas como a projeção Média, elevando a área de manejo em 2015 de 394 mil ha para 680 mil ha em 2030.</p>	Considerou-se a extração da dinâmica observada entre 1990 e 2015.	Considerou-se a extração da dinâmica observada entre 2000 e 2015.

ANEXO 2. Matriz de tendências consideradas nas projeções de demanda por setor ou ramo de consumo.

Setor	Subsetor/Ramo	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Domiciliar	Grande Urbano	1) O consumo de energia (tep domicílio ⁻¹ ano ⁻¹) para cocção de alimentos segue as tendências observadas de 1990 - 2010 (PNUD - APNE); 2) acompanha o incremento de número de domicílios, 3) respeitando a proporção GU RU PU e a saturação atual.	A projeção Baixa foi calculada com uma redução de 10% da projeção Média considerando que o intervalo de confiança de todos os levantamentos usados foi de 10%.	A projeção Alta foi calculada com um acréscimo de 10% da projeção Média considerando que o intervalo de confiança de todos os levantamentos usados foi de 10%.
	Pequeno Urbano			
	Rural			
Não-energético	Cercas	Partiu-se da premissa que não haverá mudança significativa da distribuição fundiária no NE e assim a demanda permanece inalterada ao longo dos próximos 15 anos.	Igual à média.	Igual à média.
Industrial	Celulose e papel (energético)	A demanda permanece inalterada ao longo dos próximos 15 anos.	Igual à média.	Igual à média.
	Siderurgia	A demanda permanece inalterada ao longo dos próximos 15 anos.	Igual à média.	Igual à média.
	Cerâmica vermelha	O consumo anual de peças per capita no NE aumenta: 1) com a tendência observada de 1990 a 2014 e 2) com o incremento da população segundo IBGE.	O consumo de biomassa fica 10% abaixo da projeção média.	O consumo de biomassa fica 10% acima da projeção média.

Setor	Subsetor/Ramo	Projeção Média	Projeção Baixa	Projeção Alta
Industrial	Padaria	1) O consumo de pães por habitante se mantém inalterado e 2) o aumento da demanda acontece pelo aumento da população.	O consumo de pães cozidos com lenha diminui 10%.	1) O consumo de pães no Nordeste aumenta gradativamente em 15 anos até atingir 0,92 pães habitante ⁻¹ dia ⁻¹ que representa 50% do consumo (média nacional) de pães habitante ⁻¹ dia ⁻¹ e 2) o número de padarias a lenha cai 10%.
	Gesso	O consumo per capita de gesso aumenta com: 1) a tendência de crescimento do consumo de gesso no período 1975 - 2013 e 2) com o aumento da população do Brasil.	O consumo per capita cresce com: 1) a tendência 1975 - 2005 e 2) com o aumento da população do Brasil.	O consumo per capita cresce com: 1) a tendência 2005 - 2013 (novo padrão de uso) e 2) com o aumento da população do Brasil
	Beneficiamento mandioca	Considerou-se uma produção de mandioca igual à média da série de dados (1995 a 2013). Foi considerado um consumo unitário constante ao longo do tempo.	Considerou-se a média das produções de mandioca nos anos abaixo da média da série histórica. Foi considerado um consumo unitário constante ao longo do tempo.	Considerou-se a média das produções de mandioca nos anos acima da média histórica. Foi considerado um consumo específico constante ao longo do tempo.
	Óleos vegetais	Consumos específicos permanecem constantes para algodão e soja. O consumo de biomassa acompanha a variação das colheitas de soja e algodão (tendência linear).	O consumo de biomassa fica 10% abaixo do calculado na projeção média.	O consumo de biomassa fica 20% acima do calculado na projeção média.
Comercial		O consumo unitário se mantém em 0,010 tMS hab ⁻¹ ano ⁻¹ e a demanda acompanha o aumento da população.	O consumo unitário permanece em 0,009 tMS hab ⁻¹ ano ⁻¹ e a demanda aumenta com a população.	O consumo unitário cresce até 0,015 tMS hab ⁻¹ ano ⁻¹ entre 2015 e 2030 e a demanda aumenta com (1) a população e (2) com o aumento do consumo unitário.

ANEXO 3. Emissões de GEE por mudanças de uso da terra na caatinga

No artigo *"Estoques e Fluxos de Carbono no Semiárido Nordestino: Estimativas Preliminares"*, de Everardo Varella de Sá Barreto Sampaio e Tânia Lúcia da Costa, publicado na Revista Brasileira de Geografia Física 06 (2011) 1275-1291, os autores fazem uma ampla revisão dos antecedentes sobre estoques de biomassa e carbono na vegetação e nos solos do semiárido nordestino (Tabela 1) em quatro classes de uso da terra.

Tabela 1. Estoques de Carbono (Mg ha⁻¹).

ESTOQUES	Caatinga	Pastagem nativa	Pastagem plantada	Lavouras
Biomassa Aérea	40	10	0	0
Biomassa Subterrânea	7	5	2	1
Biomassa total	47	15	2	1
C na biomassa	23.5	7.5	1	0.5
C no solo	100	90	80	70
C total	123.5	97.5	81	70.5
C no solo / C total	81%	92%	99%	99%

Fonte: SAMPAIO; COSTA, 2011, adaptado.

A proporção dos estoques de biomassa aérea e subterrânea é muito diferente nos diversos tipos de uso da terra, como demonstrado na Figura 1. O Carbono estocado na biomassa é muito menor que o estocado no solo, conforme pode ser visto na Figura 2.

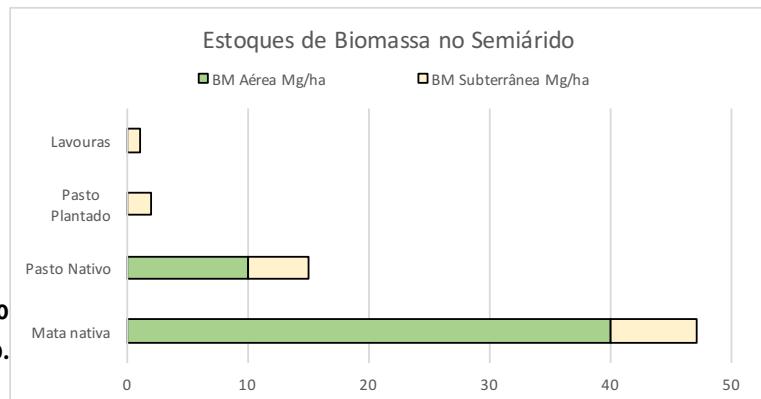


Figura 1. Estoques de biomassa no Semiárido Nordestino.

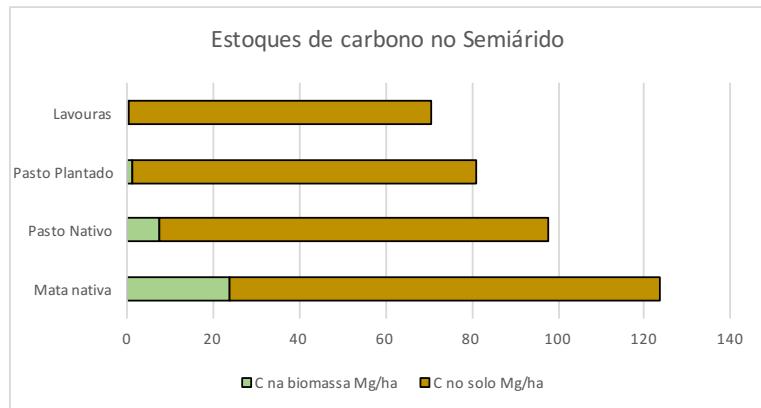


Figura 2. Estoques de carbono no solo e na biomassa aérea

Tabela 2 : Ganhos e perdas de C armazenado por mudanças de uso da terra (em tC ha⁻¹)

	Mata nativa	Pasto Nativo	Pasto Plantado	Lavouras
Mata nativa	0	-30	-40	-40
Pasto Nativo	30	0	-10	-10
Pasto Plantado	40	10	0	0
Lavouras	40	10	0	0

Considerando que o fator de conversão de C para CO₂ é 12/44 = 3,67, a magnitude das emissões de CO₂ para a atmosfera que podem ser causadas pelas mudanças de uso da terra acima comentadas são muito grandes: até 150 tCO₂ ha⁻¹ nos casos de conversão de mata nativa (caatinga) para lavouras ou pastos. Ainda que algumas destas áreas possam voltar a ser mata nativa se a agricultura ou pecuária forem descontinuadas, o processo de recuperação de C no solo é lento e pode levar mais de 30 anos.

Uma estimativa das perdas de carbono para a atmosfera advindas dos sistemas de uso das terras na caatinga que produzem biomassa para energia, é apresentada a seguir.

A lenha de caatinga poder ser oriunda de:

- ⌚ Corte em PMFS ou em cortes não autorizados com pousio florestal, sem outros usos da terra.
- ⌚ Corte seguido de queima, para uso pecuário de curto prazo
- ⌚ Corte com queima e destoca para uso agropastoril de longo prazo (aprox. 15 anos).

A Tabela 3 e Figura 3 resumem as variações de estoques de C, salientando as perdas e emissões causadas por distintas MUT.

Tabela 3. Estoques de carbono após 15 anos de uso da terra.

Usos da Terra	Estoque médio tC ha ⁻¹	Diferença tC ha ⁻¹	Perda Relativa*	Emissão tCO ₂ ha ⁻¹
Caatinga densa, sem MUT	123,5	0,0	0%	0
PMFS ou Pousio Longo	111,3	-12,2	10%	45
Silvipastoril	101,5	-22,0	18%	81
Agrossilvipastoril	84,0	-39,5	32%	145
Pasto nativo	97,5	-26,0	21%	95
Pasto Plantado	81,0	-42,5	34%	156
Lavouras anuais	70,5	-53,0	43%	195

*Comparado com caatinga densa

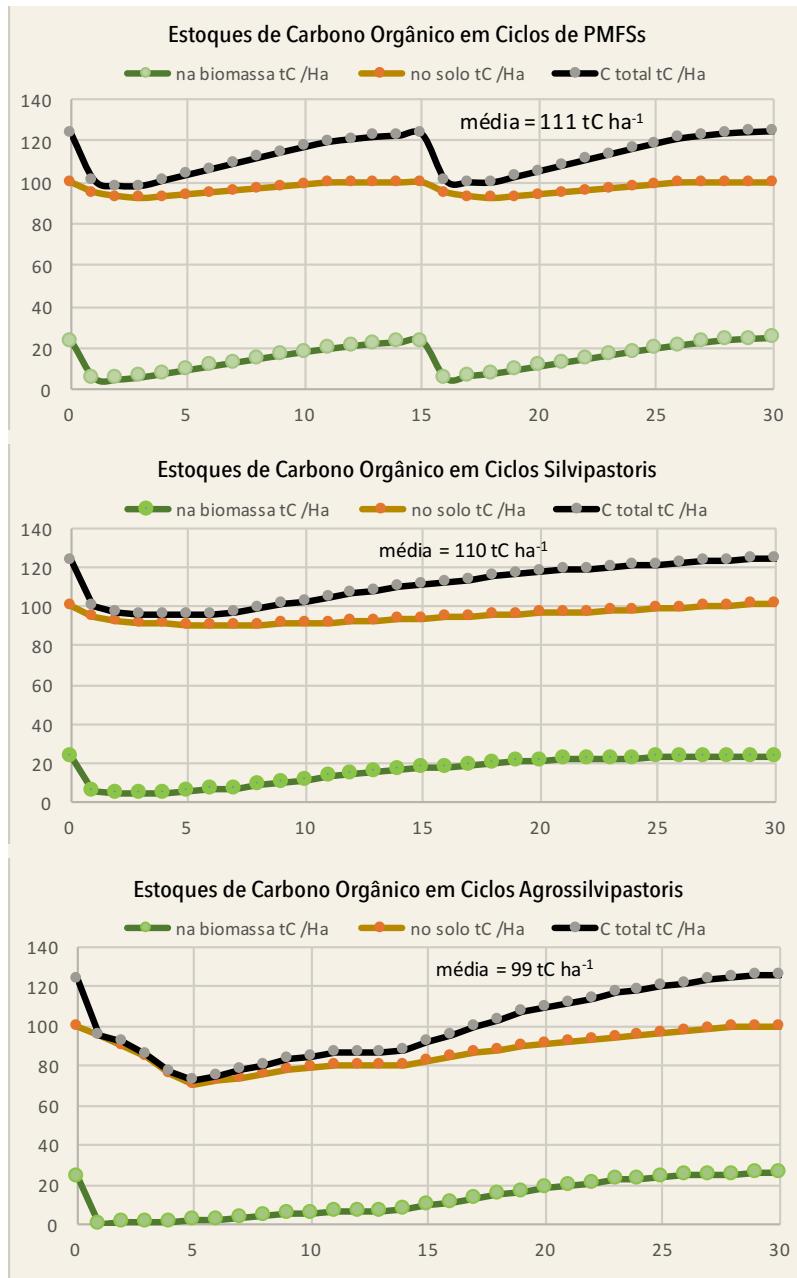
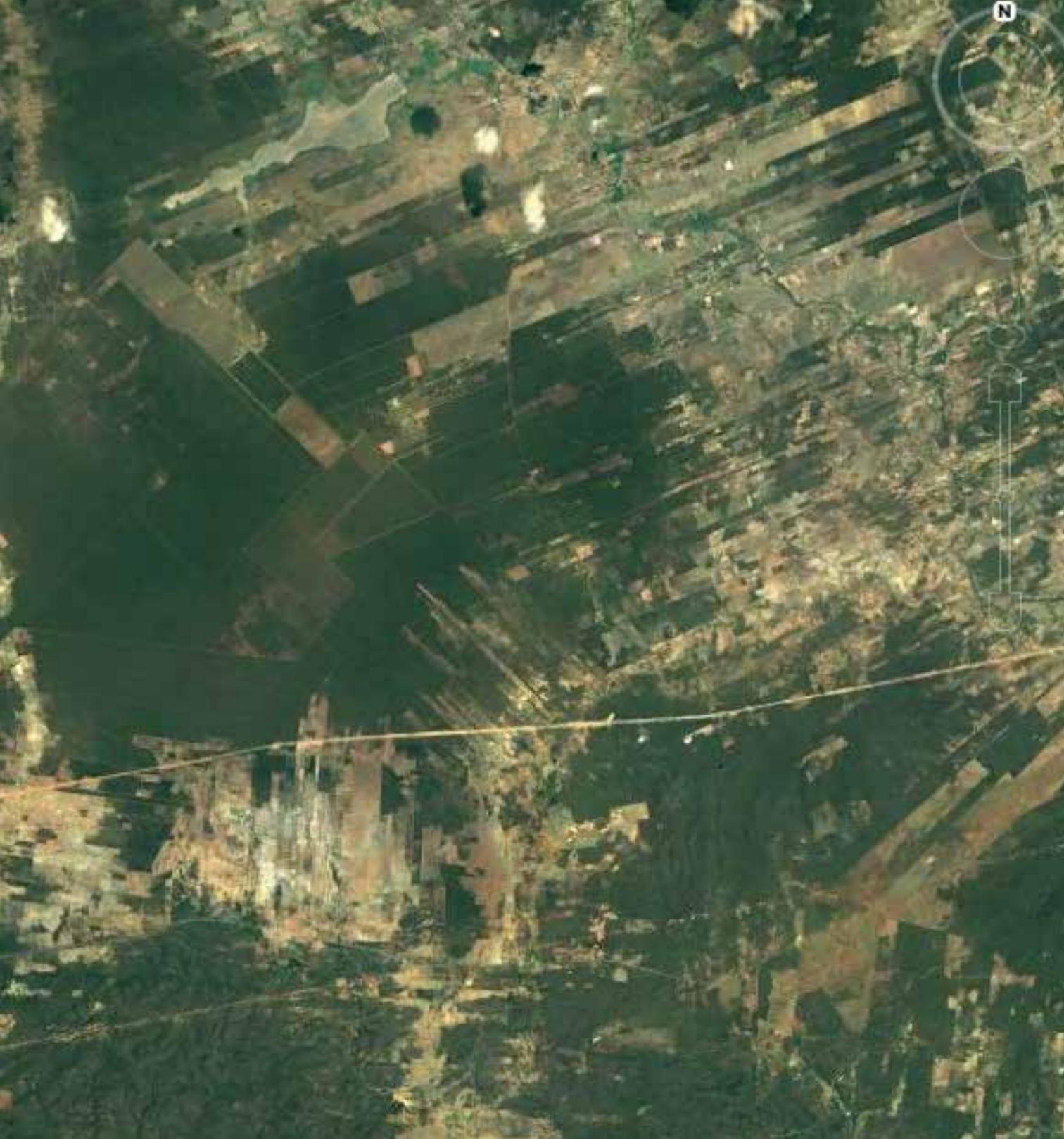


Figura 3. Dinâmica dos estoques de C orgânico em três usos da terra

Levando em conta os valores da Tabela 3 assumimos que, no prazo de 15 anos adotado como horizonte de tempo dos cenários, os valores dos índices de renovabilidade são:

- ⇒ para lenha de PMFS = 0,9
- ⇒ para lenha de cortes não autorizados em sistema tradicional agrossilvopastoril = 0,7
- ⇒ para carvão vegetal de cortes não autorizados = 0,5 (adicionando o CO₂ equivalente pelas emissões de metano na conversão de lenha a carvão).





Realização



ASSOCIAÇÃO PLANTAS DO NORDESTE

Apoio



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET



*Empoderando povos.
Fortalecendo nações.*

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

