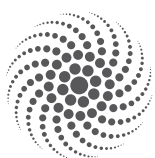


Florestas energéticas: potencial da biomassa dedicada no Brasil



iema
Instituto de Energia
e Meio Ambiente

Diretor Presidente
André Luís Ferreira

Equipe Técnica
André Luis Ferreira
Camila Cardoso Leite
Munir Soares
Vinicius de Sousa

Autores
Munir Soares
Vinicius de Sousa
Camila Cardoso Leite

Apoio
iCS – Instituto Clima e Sociedade

Publicado por
IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente
energiaeambiente.org.br

Para citar este documento, usar:
Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)
Florestas energéticas: potencial da biomassa
dedicada no Brasil. São Paulo, 2018.

São Paulo, agosto de 2018.

Sumário

APRESENTAÇÃO 4

LISTA DE SIGLAS 5

SUMÁRIO EXECUTIVO 6

1. Introdução 8

2. Histórico do projeto Florestas Energéticas 11

3. A floresta como fonte primária de energia 14

3.1 Mitigação dos impactos socioambientais do plantio 15

3.2 Estimativa da disponibilidade de terras 16

4. Aspectos econômicos da produção de madeira 18

4.1 Principais características técnicas 19

4.2 Fatores de custo 26

5. Aspectos econômicos da produção de energia 32

5.1 Principais características técnicas 33

5.2 Fatores de custo 35

6. Cenários para a biomassa dedicada 46

6.1 Modelos de negócio 47

6.2 Experiência nacional 52

6.3 Indicadores socioambientais 57

6.4 Projeção de cenários até 2030 59

7. Conclusões e recomendações 64

ANEXOS 67

Anexo 1 – Projetos referência 68

Anexo 2 – Sistemática dos leilões 68

Anexo 3 – Metodologia do levantamento de indicadores socioambientais 69

Anexo 4 – Metodologia das projeções 72

REFERÊNCIAS 75

APRESENTAÇÃO

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) tem se dedicado a avaliar alternativas que permitam ao país alcançar uma matriz elétrica livre de combustíveis fósseis até 2050. Dada a crescente penetração de fontes renováveis variáveis – solar e eólica – aliada à necessidade de evitar novas hidrelétricas, especialmente na Amazônia, um importante desafio que se impõe é a identificação de alternativas de geração elétrica que aumentem a flexibilidade do Sistema Interligado Nacional.

Uma das soluções tecnologicamente possíveis é a ampliação da participação na matriz elétrica de usinas termelétricas não fósseis movidas a biomassa proveniente de florestas plantadas, de forma ambientalmente segura e socialmente justa. A entrada destas usinas no sistema interligado pode permitir que as usinas hidrelétricas, com reservatórios existentes, venham a operar de modo a garantir a flexibilidade necessária para acomodar as variações de outras fontes – eólica e solar. Além disso, esta alternativa de geração pode contribuir para que o país avance no atendimento dos compromissos estabelecidos na sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ao Acordo de Paris, notadamente no que se refere às metas de ampliação da participação de fontes renováveis na geração elétrica e de recuperação de áreas degradadas.

Diante desta perspectiva, nos dedicamos, no último ano, a investigar esta alternativa de geração, principalmente no que se refere a formação dos custos da madeira e da energia elétrica, bem como ao potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Este estudo não teve a ambição de formular uma política pública orientada para a expansão da geração de energia elétrica a partir de biomassa dedicada. Tal tarefa exigiria ainda a investigação de outros aspectos, como o planejamento territorial e ambiental, consideração dos vários benefícios associados – atributos sociais e ambientais – frente aos custos associados à sua implantação, etc. No entanto, esperamos que o estudo contribua com o necessário debate acerca do papel estratégico que esta fonte de energia pode ter no planejamento do sistema elétrico brasileiro.

Boa leitura!

André Luis Ferreira
Diretor-Executivo

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--|--|
| ACR Ambiente de Contratação Regulado | IRENA International Renewable Energy Agency |
| ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica | IR Imposto de Renda |
| BNDES Banco Nacional do Desenvolvimento | LCA Life-Cycle Assessment |
| CCEE Câmara de Comercialização de Energia Elétrica | LEN Leilão de Energia Nova |
| COFINS Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social | LER Leilão de Energia de Reserva |
| COP21 21ª Conferência das Partes | LFA Leilão de Fontes Alternativas |
| CSLL Contribuição Social sobre o Lucro Líquido | LFB Leito Fluidizado Borbulhante |
| CVU Custo Variável Unitário | LFC Leito Fluidizado Circulante |
| EEA European Environment Agency | MCTIC Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações |
| EPE Empresa de Pesquisa Energética | NDC Contribuição Nacionalmente Determinada |
| FUNRURAL Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural | PDE Plano Decenal de Energia |
| GEE Gases de Efeito Estufa | PIS Programa de Integração Social |
| GNL Gás Natural Liquefeito | SIN Sistema Interligado Nacional |
| IBÁ Indústria Brasileira da Árvore | SUDAM Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia |
| ICMS Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços | SUDENE Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste |
| IEA International Energy Agency | UNCDD United Nations Convention to Combat Desertification |
| IEMA Instituto de Energia e Meio Ambiente | UNDP United Nations Development Programme |
| IMA Incremento Médio Anual | UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change |
| IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change | UTE Usina Termelétrica |

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório sintetiza o trabalho de investigação elaborado pelo IEMA a respeito do potencial da geração de energia a partir da biomassa dedicada, identificando os principais **fatores de custo** envolvidos na atividade, assim como **desafios** determinantes ao seu desenvolvimento e importantes **co-benefícios** vinculados à fonte. Durante esse trabalho, foram desenvolvidos documentos técnicos de caráter público. Esta publicação se fundamentou nesses estudos para consolidar os principais pontos identificados ao longo dessa trajetória:

- » O levantamento de áreas potenciais para o plantio indicou **43 milhões de hectares** de terras distribuídas no território nacional, embora não necessariamente essas áreas estejam efetivamente disponíveis para o plantio;
- » A avaliação da viabilidade econômica da produção de madeira indicou que os **custos de capital próprio** são os mais relevantes para a formação do preço da madeira, seguidos pelos custos **silviculturais** e de **colheita e transporte**;
- » Para a atividade de geração de energia, o **custo de combustível** foi identificado como a maior parcela que compõe o preço da eletricidade, seguido pelo **custo de capital próprio**, devido à alta taxa de retorno exigida por investidores, e pelas **deduções e impostos**;
- » O acompanhamento do desempenho dos projetos de biomassa de madeira já contratados em leilões mostrou que a maior parte deles apresentou dificuldades para serem implementados. As análises realizadas indicaram ainda que os preços da energia considerados nesses projetos podem estar subestimados. Entretanto, podem existir fatores de mercado que expliquem os valores observados e que não foram incluídos em nossas análises;
- » As particularidades do setor florestal, somadas à ausência de mercados consolidados de compra e venda de madeira em algumas regiões do país, permitem pouca flexibilidade nas condições de contratação do combustível, conferindo uma característica **inflexível** para a fonte;
- » Devido a essa inflexibilidade, as atuais **condições de contratação** de usinas a biomassa podem não ser as mais adequadas para a biomassa dedicada. Pode-se avaliar a criação de um produto quantidade a ser disputado entre usinas termelétricas como uma alternativa para permitir o desenvolvimento da fonte, indicando que ainda será necessário estudar os impactos dessa medida;
- » O estudo identificou barreiras fundamentais, que podem implicar em riscos de suprimento e elevação da percepção de riscos por parte de agentes financiadores. Alguns mecanismos podem ser pensados para transpor as barreiras verificadas, permitindo o aproveitamento do potencial evidenciado para a atividade;
- » As projeções realizadas revelaram que a restauração de áreas promovida pelo desenvolvimento da biomassa dedicada chegaria a **6,3 milhões de hectares**, garantindo 52,8% da medida referenciada na NDC. Além disso, com o emprego de boas práticas no manejo florestal, **1,6 milhões de hectares** desse total seriam mantidos como áreas de Reserva Legal;
- » A inserção massiva de biomassa dedicada na matriz elétrica poderia formar um maciço florestal equivalente a um estoque de carbono que corresponde a mais de **17 vezes** as emissões do SIN em 2016, sem considerar as áreas de Reserva Legal;
- » A geração de energia através de biomassa dedicada evitaria a emissão de **8,3 MtCO_{2e}** em 2030, equivalentes a 20,2% das emissões no sistema interligado nacional (SIN) esperadas para esse ano. Entre 2022 e 2030, seriam mitigadas as emissões de **40 MtCO_{2e}**, equivalentes a 73% das emissões totais do setor elétrico em 2016;
- » Esse acréscimo de energia deslocaria **8,2 GW de usinas termelétricas a combustíveis fósseis**, abrindo caminho para a maior inserção de fontes renováveis no sistema elétrico. Desse total, 2,6 GW correspondem à substituição de térmicas a carvão, enquanto 5,6 GW equivalem a usinas a gás natural;
- » Segundo nossas análises, poderiam ainda ser investidos **130 bilhões de reais** na indústria nacional, levando à geração de até **2,3 milhões de empregos** diretos ao longo da vida útil dos projetos,

com potencial de desenvolvimento das regiões do interior do país.

Assim, existe uma oportunidade importante para ir mais longe e ampliar o alcance das medidas estabelecidas no âmbito do Acordo de Paris, especialmente quando se considera o potencial da biomassa dedicada em uma visão de longo prazo. Além de permitir a mitigação de emissões no SIN, a criação de estoques de carbono no setor florestal e a recuperação de áreas degradadas, a sua implementação leva ainda ao desenvolvimento de uma fonte alternativa controlável, o que pode ser importante na nova realidade do setor elétrico. Esses fatores, somados ao potencial verificado em relação a investimentos e geração de empregos, podem fazer da biomassa dedicada uma atividade estratégica para o país.

Na visão do IEMA, essa fonte deve continuar sendo estudada como uma importante alternativa de longo prazo no planejamento do setor elétrico nacional. Ainda assim, destacamos que o objetivo deste relatório foi consolidar os resultados quanto à formação de custo da madeira e da energia elétrica gerada, além de discutir a interação entre o setor elétrico e o florestal, sem a pretensão de desenvolver uma proposta de política pública. Nesse sentido, entendemos que ainda seria necessário explorar outros aspectos, como o planejamento territorial e ambiental e o impacto dos projetos nas comunidades, para avaliar a pertinência de uma eventual proposta de política pública para a biomassa dedicada.

1. Introdução

Em Dezembro de 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), as diretrizes para mitigar as causas da mudança climática foram estabelecidas através do Acordo de Paris. Este acordo é o primeiro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) a envolver um amplo espectro de partes empenhadas em assumir compromissos para manter o aumento da temperatura média do planeta em até 2 °C. O Brasil oficializou seu compromisso de atingir esses objetivos globais através da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). Nesse documento, o país assume uma meta de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), considerando todos os setores da economia, para **37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025**, com intenção de redução para **43% até 2030**. Entre as medidas apontadas para a concretização desse objetivo, destacamos:

I) No setor elétrico

» Expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030.

II) No setor florestal

» Restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030.

Buscar soluções que contribuam de maneira integrada para a implementação desses objetivos é um dos mais fundamentais desafios para o compromisso nacional. Com essa diretriz, foi identificada uma oportunidade para convergir essas duas medidas através da geração energética a partir de **biomassa dedicada**, ou seja, a utilização de florestas plantadas exclusivamente para a produção de energia elétrica. Além de ser uma fonte com baixo impacto quanto a GEE, essa seria ainda uma oportunidade para criação de um mercado capaz de absorver a demanda por restauração de áreas. Isso porque os plantios podem ser usados para a **recuperação de áreas degradadas** e as exigências do Código Florestal prevêm a **proteção de áreas nativas** por produtores florestais.

Acrescentamos ainda que, diante da diminuição da capacidade de regularização dos reservató-

rios nacionais e da crescente inserção de fontes renováveis variáveis na matriz elétrica, a geração termelétrica tende a se tornar cada vez mais importante para o sistema, exercendo as funções de complementariedade à expansão renovável e garantia da segurança operacional (IEMA, 2018). O desenvolvimento de alternativas de **fontes renováveis controláveis**, como a biomassa dedicada, se torna então uma importante possibilidade. Essas tecnologias podem ser aproveitadas para **poupar os reservatórios das hidrelétricas**, permitindo que elas sejam usadas para compensar as renováveis intermitentes, e para **evitar o possível aumento das emissões** de GEE causado pela maior participação de termelétricas de origem fóssil.

Além disso, evitar maiores emissões no setor elétrico e criar estoques de carbono no setor florestal poderia ser estratégico para o país, uma vez que diminuiria a pressão pela redução nos setores em que uma atuação semelhante poderia ser mais complexa e custosa.

Diante dessas perspectivas, tornou-se interessante investigar o potencial que a geração de energia a partir da biomassa dedicada pode apresentar, tanto para o atendimento do compromisso assumido na NDC brasileira quanto para o endereçamento das questões ambientais associadas ao setor elétrico. Com esse objetivo, o IEMA liderou este estudo sobre florestas energéticas, com o qual também contribuíram empresas e representantes do setor florestal, do setor elétrico e do governo, além de outras organizações da sociedade civil.

Esta publicação tem como objetivo consolidar os resultados técnicos desse trabalho. Para isso, ela está estruturada da forma descrita a seguir:

» Após a introdução do tema no Capítulo 1, o Capítulo 2 apresenta um **histórico do projeto**, contemplando a atuação do IEMA no seu desenvolvimento;

» No Capítulo 3, é apresentado um **levantamento da disponibilidade de terras** para a implementação de plantios no território nacional;

» Nos Capítulos 4 e 5 são discutidos os principais **aspectos econômicos** da biomassa dedicada, tanto da perspectiva da **produção de madeira** quanto da **geração de energia**;

» O Capítulo 6 discorre sobre as **perspectivas de mercado** para os projetos, além de discutir seus principais **impactos socioambientais**.

» Por fim, no Capítulo 7, são apresentadas as **conclusões** do trabalho e algumas **recomendações** a partir das barreiras e oportunidades identificadas ao longo do estudo.

2. Histórico do projeto Florestas Energéticas

O IEMA vem estudando a viabilidade de maior participação da biomassa na matriz elétrica nacional desde outubro de 2016. Inicialmente, trabalhando para avaliar o potencial remanescente de geração de bioeletricidade presente no parque instalado do setor sucroenergético e, a partir de maio de 2017, com o trabalho relacionado à pertinência de ampliar a participação de usinas movidas à biomassa proveniente de florestas plantadas.

Em junho de 2017, o IEMA realizou um **workshop** com representantes da sociedade civil para discutir oportunidades e riscos da geração de eletricidade a partir da biomassa dedicada. O potencial da atividade foi discutido entre os participantes e o principal desafio identificado foi o impacto do uso da terra para essa finalidade. As principais questões socioambientais e econômicas levantadas foram:

- » Impacto no balanço hídrico regional;
- » Gestão da paisagem;
- » Risco de conversão de ambientes naturais;
- » Impacto do custo logístico no custo da energia;
- » Competição com outros usos do solo.

Para dar andamento às análises, foi realizada uma segunda rodada de discussões em outubro de 2017. Dessa vez estiveram presentes representantes da EPE e do setor florestal. Nesse evento foram discutidos:

- » Aspectos técnicos e econômicos da produção de florestas plantadas para geração de energia;
- » Desafios da interação entre o setor elétrico e o florestal;
- » Atributos agregados ao sistema elétrico pela biomassa florestal;
- » Benefícios gerados pela restauração florestal.

Além dos pontos citados acima, foi avaliada a possibilidade de adicionar 1GW por ano na matriz elétrica.

Com base nas discussões ocorridas em ambas as oportunidades, o IEMA finalizou um conjunto de relatórios e ferramentas de custeio relacionados à avaliação do potencial e da competitividade de florestas plantadas para a geração de energia.

O material desenvolvido no âmbito deste projeto está apresentado na Tabela 1.¹

Ressaltamos que esta publicação é um documento independente, ou seja, a leitura do material desenvolvido anteriormente **NÃO** é necessária, ainda que esse material seja o principal insumo para a nota. Todos os gráficos e análises realizadas tiveram como base as ferramentas e relatórios desenvolvidos. Convidamos o leitor a acessar os relatórios e ferramentas caso queira se aprofundar em algum dos assuntos.

1 Todo o material desenvolvido no âmbito do projeto está disponível em: www.energiaeambiente.org.br/publicacoes

Tabela 1 Material desenvolvido no âmbito do projeto Florestas Energéticas.

| TEMA | MATERIAL DESENVOLVIDO |
|---|--|
| Disponibilidade de terras para plantio no território nacional. | _ “Potencial do Uso de florestas de Eucalyptus na Geração de Eletricidade no Brasil” (relatório técnico) |
| Aspectos econômicos da produção de madeira para fins energéticos. | _ “Custo de produção da Madeira de Eucalipto” (relatório técnico) _ Modelo de custeio |
| Aspectos econômicos da produção de energia elétrica a partir da biomassa florestal. | _ “Estudo Econômico do Custo de Energia a partir de Madeira de Plantios de Eucalipto” (relatório técnico) _ Modelo de custeio |
| Consolidação dos resultados, projeção de cenários e benefícios, avaliação de barreiras e oportunidades. | _ “Florestas energéticas: potencial da biomassa dedicada no Brasil” (relatório) |

Fonte: IEMA (2017a, 2017b, 2017c)

3. A floresta como fonte primária de energia

Dada a experiência nacional com o cultivo de **eucalipto** para reflorestamento, entendeu-se que essa seria a espécie mais adequada para o projeto. Assim, foi estimada a área potencial apta para plantação de florestas de eucalipto no Brasil considerando critérios para evitar ou mitigar potenciais impactos socioambientais da atividade, além de limitações técnicas e/ou logísticas dos empreendimentos, conforme será discutido a seguir.

3.1 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DO PLANTIO

Com o objetivo de mitigar os possíveis impactos socioambientais decorrentes da atividade florestal mencionados anteriormente, foram adotadas premissas para não considerar as áreas com sensibilidade ambiental significativa na estimativa. A Tabela 2 apresenta essas premissas.

Tabela 2 Premissas adotadas para mitigação dos impactos socioambientais.

| IMPACTO SOCIOAMBIENTAL | PREMISSA ADOTADA |
|---|---|
| Redução da disponibilidade hídrica local devido ao uso de água no plantio. | _ Remoção de áreas em que a situação de balanço hídrico foi classificada pela Agência Nacional de Águas (ANA) como “crítica” ou “muito crítica” e de áreas onde o índice de pluviosidade é menor do que 1000 mm/ano ou com períodos de estiagem superiores a 4 meses. |
| Áreas prioritárias de conservação ou competição com outros usos econômicos. | _ Exclusão de áreas de proteção ambiental, terras de comunidades tradicionais e áreas com usos do solo prioritários. A conversão de pastagens naturais também não foi considerada. |
| Expansão desorganizada devido ao emprego de técnicas de produção inadequadas. | _ A exigência de certificação florestal ² para o plantio de eucalipto garante o manejo adequado da produção, o que inclui técnicas de gestão da paisagem e do consumo de água. |

Fonte: (IEMA, 2017c)

² Atualmente, o selo de certificação mais aceito é o do Forest Stewardship Council (FSC). Para mais informações: <https://br.fsc.org/pt-br/fsc-brasil>

3.2 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE TERRAS

A metodologia utilizada para estimar a área potencial para plantio está apresentada na Figura 1.

Figura 1

Diagrama com a metodologia de definição da área potencial.

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017c)

Para mitigar o impacto dos custos logísticos e evitar problemas na conexão à rede, foi definido um buffer de 100 km a partir das linhas de transmissão acima de 138 kV no território nacional como área de estudo.

A área de estudo foi dividida em mesorregiões, definidas a partir dos biomas brasileiros, dos polos florestais existentes no país e da semelhança nos custos de silvicultura, preços e disponibilidade de terras.

Para garantir a produtividade florestal, foram subtraídas as áreas com precipitação menor que 1000 mm por ano e período de estiagem maior que 4 meses.

A partir das premissas de mitigação de impactos apresentadas anteriormente, foram subtraídas as demais áreas inadequadas.

A área resultante foi considerada área potencial para plantio florestal.

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017c)

A área potencial mapeada para plantio, excluindo as áreas registradas como Reserva Legal, foi estimada em **43 milhões de hectares**, que correspondem a mais de 5 vezes a área atual de florestas plantadas e a 5% do território nacional. A Figura 2 apresenta a distribuição da área potencial por mesorregião. Destacamos que para efetiva utilização dessas áreas para a atividade florestal é necessário que haja áreas contíguas suficientes para o projeto e existam linhas de transmissão disponíveis para conexão dos projetos. Além disso, o mapeamento potencial de áreas realizado não implica que as áreas estejam disponíveis para o plantio.

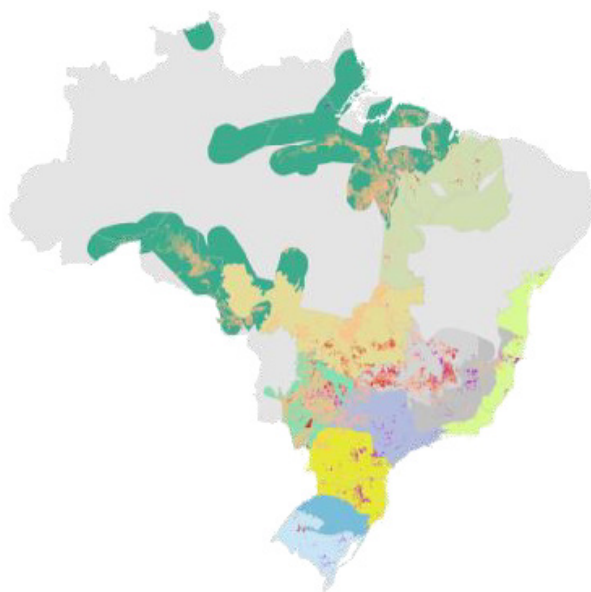
A mesorregião com maior parcela (34%) da área potencial total é a **Amazônia**, porém ela apresenta baixo potencial de utilização, pois não tem histórico de realização de atividade florestal industrial, apresenta baixa produtividade, dificuldades logísticas e há ainda pouca experiência com espécies aprimoradas artificialmente para produzir madeira nessa região, além de se caracterizar como um território ambientalmente sensível.

Levando em conta características regionais vantajosas à atividade florestal, como disponibilidade de terras, alta produtividade, boa estrutura logística e mercado florestal ativo, as mesorregiões **Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina, São Paulo e MAPITO** se destacaram como as mais interessantes para o plantio³.

Figura 2

Área potencial disponível para plantio por mesorregião.

| MESORREGIÃO | ÁREA POTENCIAL | |
|-------------------------|----------------|-------------|
| | mil ha | % |
| Amazônia | 13.958 | 34% |
| Mato Grosso do Sul | 10.502 | 24% |
| Oeste de Minas Gerais | 5.953 | 14% |
| Cerrado | 5.609 | 13% |
| São Paulo | 2.028 | 5% |
| MAPITO | 1.488 | 3% |
| Paraná e Santa Catarina | 1.418 | 3% |
| Leste de Minas Gerais | 1.188 | 3% |
| Norte ES e Sul BA | 627 | 1% |
| Pampa Gaúcho | 303 | 1% |
| Serra Gaúcha | 16 | 0% |
| Total | 43.088 | 100% |



MESORREGIÕES

- Amazônia
- Cerrado
- MAPITO
- Norte ES e Sul BA
- Mato Grosso do Sul
- Leste de Minas Gerais
- Oeste de Minas Gerais
- São Paulo
- Paraná e Santa Catarina
- Serra Gaúcha
- Pampa Gaúcho

USO DO SOLO

- Área campestre e agrícola
- Pastagem plantada
- Silvicultura

Fonte: (IEMA, 2017c)

³ Para mais detalhes sobre a realização da estimativa e as características da mesorregiões, acesse o relatório **“Potencial do uso de florestas de eucalyptus na geração de eletricidade no Brasil”**, disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-aviabilidade--potencial-do-uso-de-florestas-de-eucalyptus-na-geracao-de-eletricidade-no-brasil>

4. Aspectos econômicos da produção de madeira

Após realizar o levantamento de áreas potenciais para o cultivo de eucalipto para geração de energia, tornou-se necessário avaliar também a composição dos custos da atividade florestal e a consequente formação do preço da madeira em cada região.

Assim, foram estimados os resultados econômicos da produção de madeira a partir das premissas previamente adotadas, dos resultados obtidos anteriormente e dos aspectos técnicos do plantio de eucalipto⁴.

4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A atividade de produção e venda de madeira de eucalipto pode ser dividida em três fases principais: **plantio, colheita e transporte**. Existem fatores e parâmetros técnicos que influenciam o desempenho da atividade em cada uma dessas etapas e, conseqüentemente, têm impacto nos resultados econômicos obtidos.

Tabela 3 Principais parâmetros que influenciam o desempenho na fase do plantio.

| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | IMPORTÂNCIA |
|---------------------------|---|---|
| Isoietas | Linhas que representam pontos de igual pluviosidade em mapas de condições meteorológicas. | Têm relação com a produtividade por influenciar a quantidade de água disponível para consumo pela plantação e também indicam se o entorno pode receber florestas sem danos irreversíveis ao meio ambiente. Por esse motivo, foram utilizadas para identificar e remover áreas de pluviosidade muito baixa da análise de disponibilidade de terras. |
| Ciclos e rotações | Um ciclo é o período entre dois plantios. Uma rotação é o período entre plantio e colheita ou entre duas colheitas ⁵ . O prazo de cada rotação e o número de rotações por ciclo são parâmetros relevantes para o projeto. | A realização de mais de uma colheita (mais de uma rotação) por ciclo leva a uma diminuição dos custos silviculturais, porém há perda de produtividade. A otimização dessa relação aumenta a rentabilidade do projeto. |
| Manejo florestal | O manejo florestal inclui técnicas de plantio, adubação e controle de pragas, de resíduos e de incêndios, com seus respectivos custos inerentes. Existem dois tipos de manejo: um após a plantação e um segundo, realizado especificamente para a fase de rebrota em cada ciclo, que é opcional. | Realizar manejo da rebrota aumenta os custos, mas também garante maior produtividade. |
| Aprimoramento de espécies | Aprimoramento artificial de espécies por meio da seleção e utilização de clones mais adaptados para cada região. | A utilização de clones bem desenvolvidos aumenta a produtividade das plantações. |
| Produtividade florestal | Potencial quantidade de madeira produzida por ano. Representada para uma região pelo índice de sítio (em m ³ /ha.ano), que é função das condições edafoclimáticas regionais, da disponibilidade de água e da espécie utilizada. | A partir desse índice e da densidade dos plantios é calculado o incremento médio anual de um plantio (IMA, em m ³ /ha.ano) e o volume de madeira disponível para venda na idade de corte. |

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017a)

4 Para mais detalhes sobre os aspectos econômicos da produção de madeira, acesse o relatório técnico e o modelo de custeio florestal, disponíveis em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-eucalipto>

5 Pode ser realizada uma nova colheita por meio da rebrota, sem necessidade de um novo plantio.

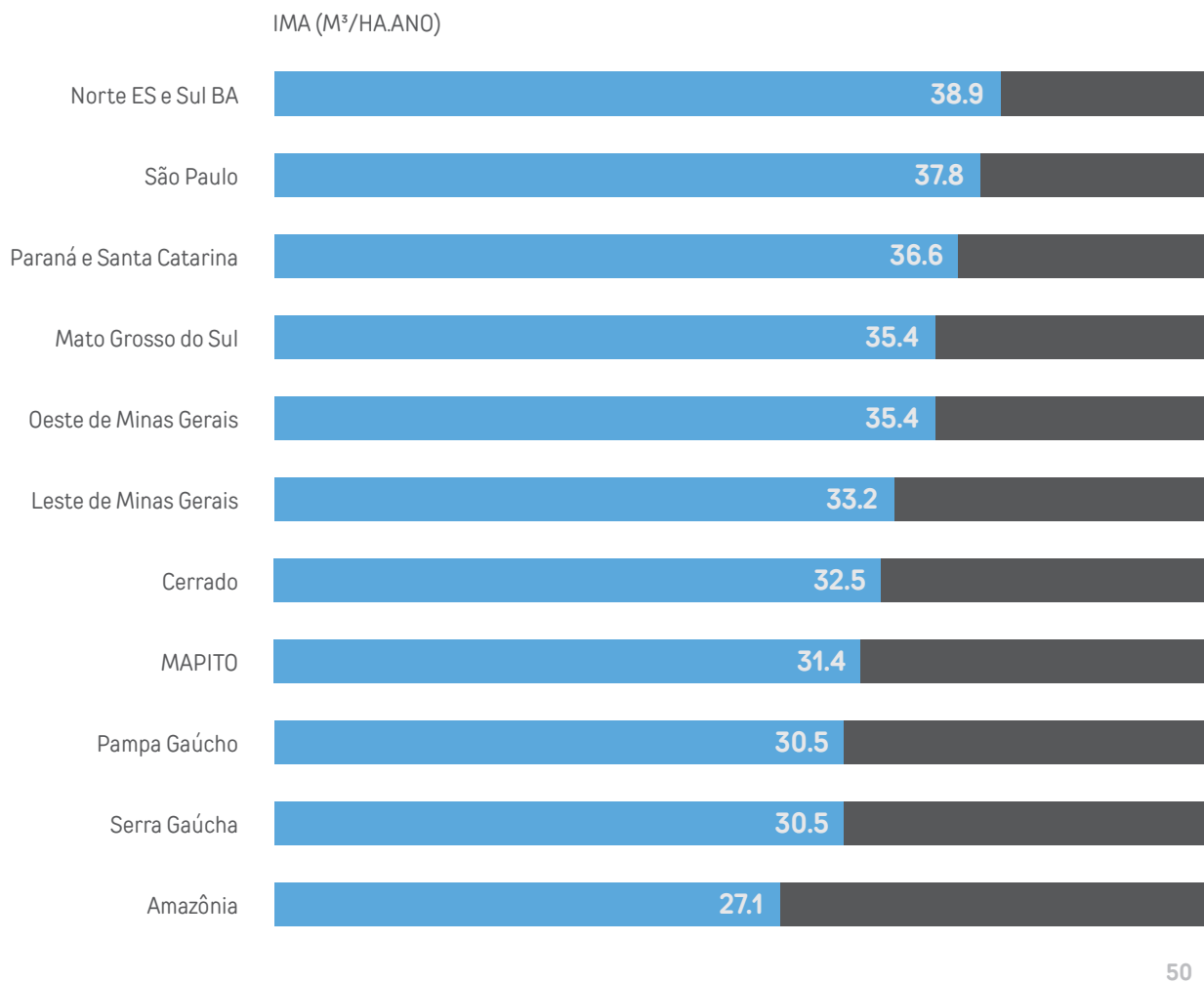
Plantio

Na fase do plantio, são importantes parâmetros ligados às **condições edafoclimáticas⁶, disponibilidade de água, gestão florestal e espécie/clone** utilizado na produção. A Tabela 3 apresenta os principais parâmetros relacionados a essa fase.

Assim, a definição dos parâmetros regionais e das possibilidades de organização das operações foi parte importante da modelagem realizada no projeto.

O IMA corresponde ao volume médio de madeira produzido pela plantação a cada ano e pode representar a produtividade florestal de um plantio, da mesma forma que o índice de sítio representa a produtividade de uma região. O IMA resultante é maior quanto maior forem o índice de sítio regional e a densidade de plantio utilizada⁷. O Gráfico 1 apresenta o IMA aos 7 anos de plantio em cada mesorregião.

Gráfico 1 Incremento médio anual para as diferentes mesorregiões.



Fonte: (IEMA, 2017d)

⁶ Condições relacionadas ao clima, relevo, litologia, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo, vento, composição atmosférica e precipitação.

⁷ Os valores utilizados para calcular o IMA de cada mesorregião estão detalhados no relatório “**Custo de produção da madeira de eucalipto**”.

Quanto ao planejamento do plantio, o padrão utilizado na análise foi de ciclos de 14 anos com 2 rotações de 7 anos cada, ou seja: ocorre 1 plantio e 1 rebrota por ciclo. Além disso, o tempo total de duração do projeto considerado foi 32 anos. Esse período inclui os 7 anos iniciais entre plantio e primeira colheita e 25 anos de produção de madeira a partir disso, que é o prazo típico de contratação de usinas termelétricas em leilões.⁸

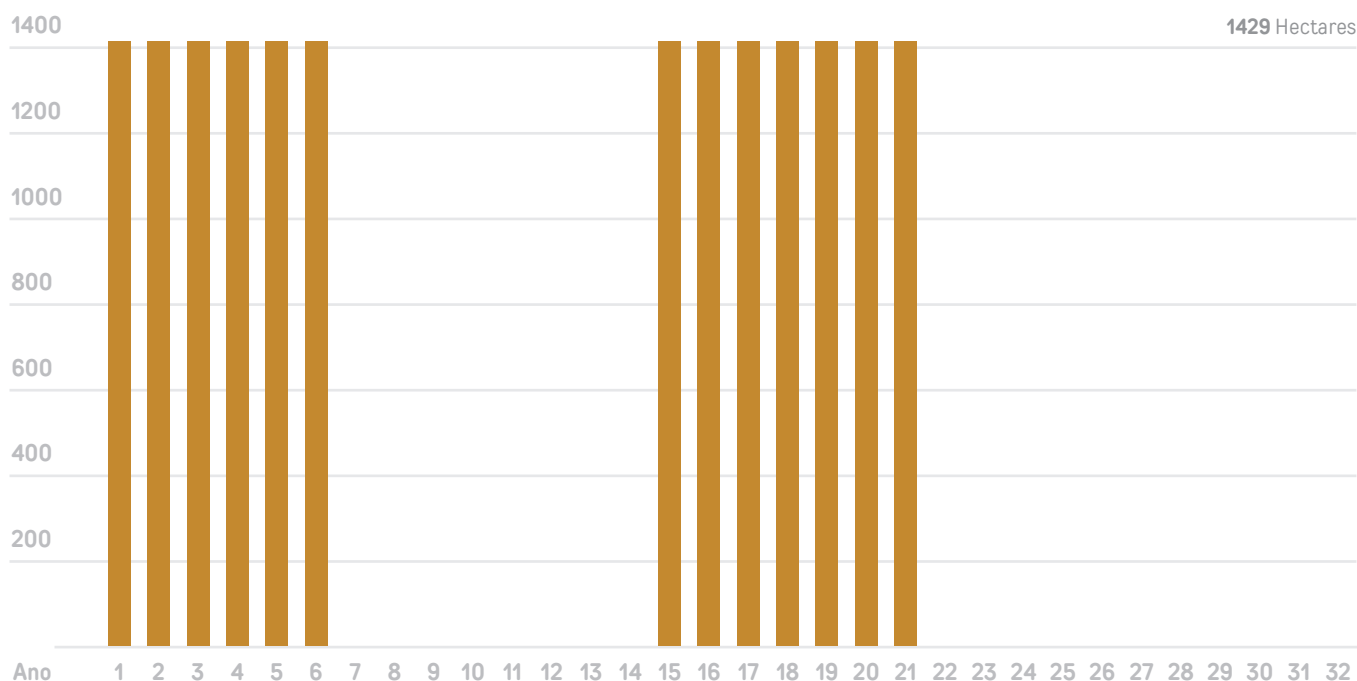
Realizar 2 rotações por ciclo é o recomendado, pois esse formato apresenta produtividade semelhante ao caso de 1 rotação por ciclo, porém os custos são menores. Realizar 3 ou 4 rotações por ciclo apresentaria custos ainda menores, mas essa redução não compensaria a perda de produtividade.

O aumento do prazo de cada rotação aumenta o volume de madeira disponível e consequentemente reduz o preço de venda necessário para cobrir os custos. Contudo, aumentar esse prazo também aumenta o tempo para recuperação do capital. Assim, um prazo de 7 anos é considerado um valor de equilíbrio típico no setor florestal.

A dinâmica do plantio está exemplificada a seguir. O Gráfico 2 apresenta as áreas com novos plantios ao longo de um projeto genérico. O plantio deve ser realizado de forma que, a partir do final da primeira rotação, exista madeira em idade de corte ao longo de toda a operação. No caso dos valores sugeridos, são realizados plantios do 1º ao 7º ano, garantindo a colheita até o 21º ano. Para completar a colheita a partir do 21º ano até o final do projeto, são realizados novos plantios entre o 15º ano e o 21º ano.

Gráfico 2 Áreas com novos plantios ao longo do projeto.

Área com novos plantios (mil ha)



Fonte: (IEMA, 2017d)

⁸ No modelo de custeio florestal, o número de rotações por ciclo, o prazo de cada rotação e o tempo total de duração do projeto podem ser alterados pelo usuário.

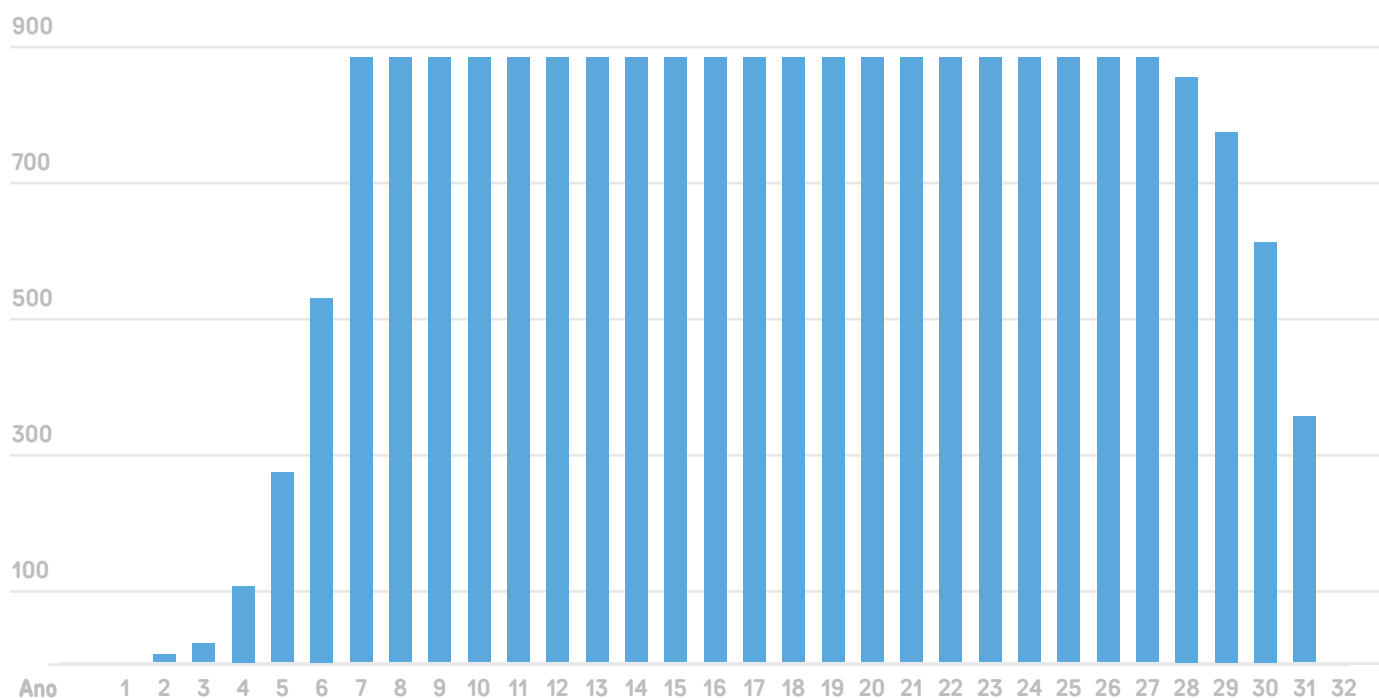
É importante notar que no período entre o 8º e o 14º ano não há áreas com novos plantios, pois nesse período ocorre a rebrota, conforme descrito anteriormente. Destacamos ainda que não ocorre inclusão de novas áreas ao longo do projeto, mas sim replantio nas áreas já utilizadas.

Com esse cronograma de plantio, é formado um estoque de madeira plantada. O Gráfico 3 apresenta a evolução desse estoque ao longo do projeto.

O estoque cresce até o 7º ano, com o crescimento do primeiro plantio. A partir daí ele se estabiliza conforme a colheita é realizada e passa a ocorrer a rebrota (e posteriormente o replantio). Finalmente, a partir do 28º ano do projeto, o estoque passa a diminuir pois não é mais necessário realizar rebrota ou replantio nas áreas colhidas, já que o fim do projeto está próximo. A formação desse estoque de madeira se relaciona à formação de um estoque de carbono, conforme será discutido no Capítulo 6.

Gráfico 3 Estoque de madeira disponível ao longo do projeto

Estoque disponível no fim do ano (Mil m³)

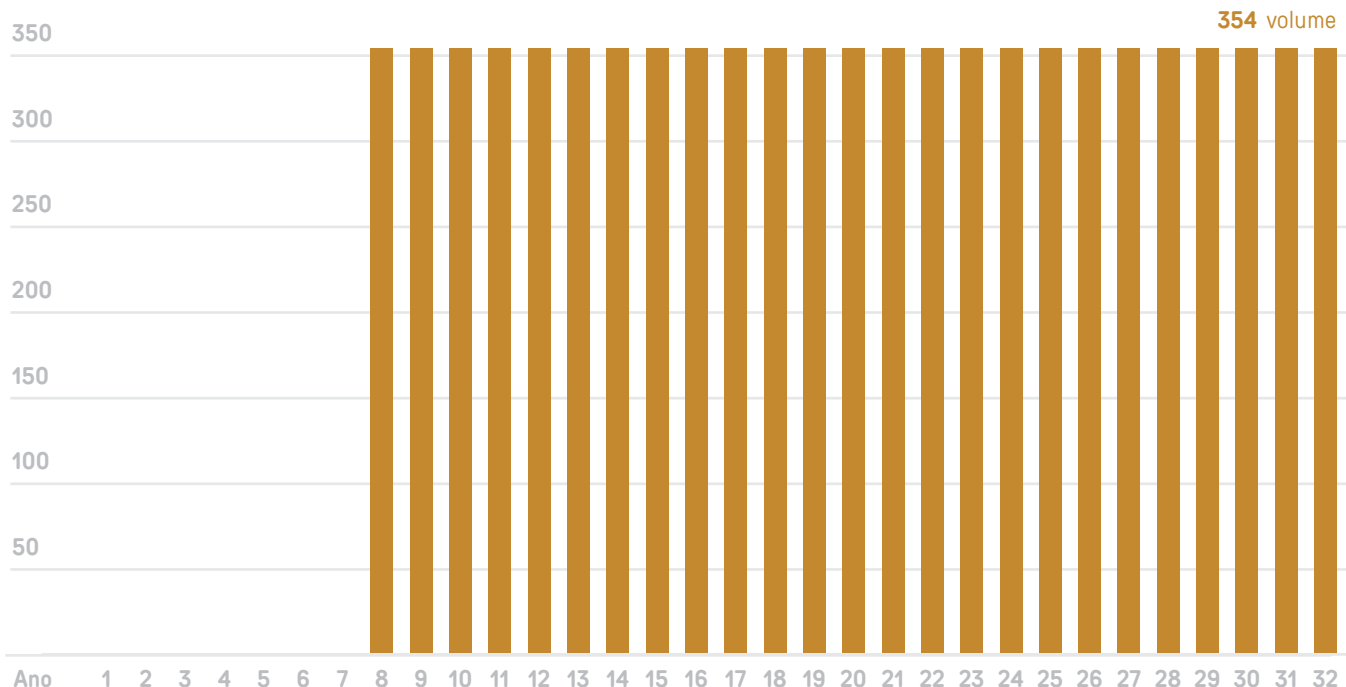


Fonte: (IEMA, 2017d)

O volume anual de madeira colhido é fixo durante toda a operação, uma vez que a existência de madeira em idade de corte é garantida. O Gráfico 4 apresenta o volume anual de madeira colhido ao longo do projeto. Esse é um aspecto importante da atividade, uma vez que se torna necessário garantir uma vazão de saída para a madeira colhida. A operação da usina termelétrica com fator de capacidade uniforme, por exemplo, poderia ser importante para garantir essa saída, conforme será discutido no Capítulo 5.

Gráfico 4 Volume anual de madeira colhido ao longo do projeto.

Volume colhido durante o ano (Mil m³)



Fonte: (IEMA, 2017d)

Colheita

O desempenho da fase de colheita está relacionado, principalmente, à produtividade das operações. A utilização de um sistema de colheita com maior ou menor **grau de mecanização** impacta diretamente na produtividade e, por isso, causa variações expressivas nos custos por volume de madeira produzido. Assim, as condições de **relevo** no local de plantio são o fator mais relevante, uma vez que um relevo desfavorável, ou seja, com aclives/declives ou ondulações, pode impedir a utilização de sistemas mais mecanizados, reduzindo o rendimento das operações. A **maturidade do mercado florestal** na região impacta menos significativamente a fase de colheita, mas também deve ser considerada. A existência de um mercado desenvolvido viabiliza o acesso a mão de obra, equipamentos e prestadores de serviços a menores preços, devido à otimização da operação

dos fornecedores com a competição e a experiência. A Tabela 4 apresenta os principais parâmetros que impactam os custos para esta etapa.

Existem três possíveis sistemas de colheita mais comuns, com diferentes graus de mecanização: “full tree”, “cut to length” e manual⁹. A relação entre os custos de colheita associados a cada um destes sistemas estão indicados no Gráfico 5, do mais mecanizado para o menos mecanizado. Os maiores custos associados ao sistema “cut to length” podem ser explicados pelo alto investimento requerido e pela operação de processamento da madeira, que, neste sistema, é realizada no mesmo local em que é feito o corte.

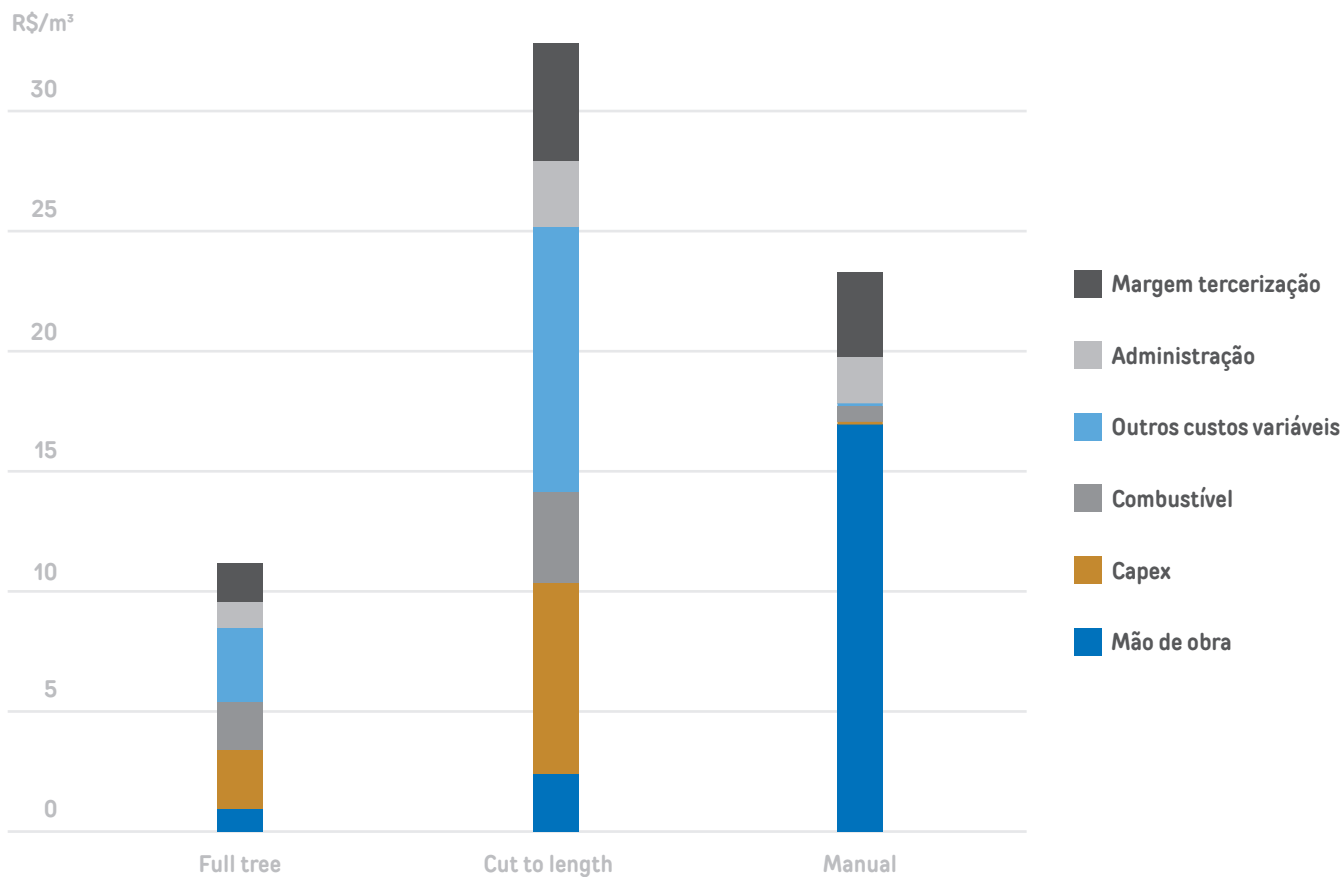
⁹ O sistema de colheita “full tree” é aplicado para empreendimentos de grande porte e é caracterizado pelo corte da madeira, remoção do talhão e processamento em local previamente definido, exigindo elevado índice de mecanização e alcançando grandes produtividades. O sistema “cut to length” exige menor grau de mecanização, tem produtividade intermediária e diminui a agressão ao meio ambiente. O sistema manual é o menos mecanizado, realizado com motosserra e trator.

Tabela 4 Principais parâmetros que influenciam o desempenho na fase da colheita.

| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | IMPORTÂNCIA |
|---|--|---|
| Relevo | Classificação a partir do aclave/declive médio do terreno. | Relevos mais acentuados reduzem a produtividade das operações de colheita. |
| Sistema de colheita | Forma de realização da colheita e seu grau de mecanização. | Define o investimento e outros parâmetros que influenciam nos custos de colheita, como equipamentos e número de funcionários. |
| Maturidade do mercado florestal na região | Relacionada à existência e tempo de atuação de produtores, compradores e prestadores de serviços florestais. | Os custos totais de colheita são maiores em mercados pouco maduros e menores em mercados mais maduros. |

Fonte: (IEMA, 2017a)

Gráfico 5 Custos associados aos sistemas de colheita considerados pelo modelo de custeio florestal.



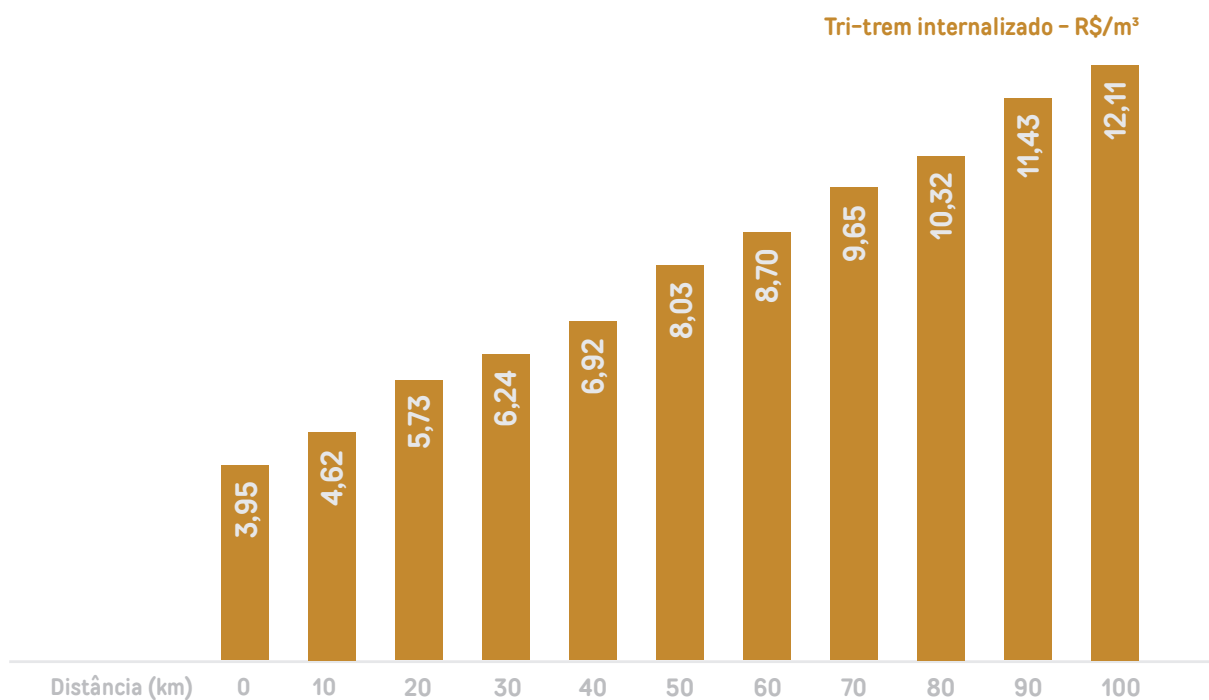
Fonte: (IEMA, 2017d)

Transporte

Como vimos, o desempenho das fases de plantio e colheita está principalmente relacionado às características regionais e à forma de organização das operações. Já a etapa de transporte possui a **distância entre a floresta e o destino da madeira** e o **sistema de transporte adotado** como os principais determinantes para os custos envolvidos. Na faixa de valores considerada para a distância de transporte (10 a 100 km, devido às premissas adotadas), esses dois fatores possuem impacto semelhante nos custos, sendo a influência da distância de transporte apenas um pouco mais significativa.

Enquanto a escolha pelo sistema de transporte depende de fatores menos flexíveis, como a maturidade do mercado na região, a acessibilidade ao local de plantio e o porte do projeto florestal, a distância de transporte é um fator de projeto, que pode ser mais facilmente alterado para levar a melhores resultados e, por isso, sua análise é mais relevante. O Gráfico 6 indica a variação dos custos de transporte com a distância entre a floresta e o local de destino para um sistema Tri-trem na mesorregião do Mato Grosso do Sul. É possível observar a elevação dos custos com o aumento da distância de transporte, o que corrobora a consideração dos custos logísticos na definição da área de estudo na fase de avaliação da disponibilidade de áreas.

Gráfico 6 Custo de transporte e distância entre floresta e local de destino da madeira.



Fonte: (IEMA, 2017d)

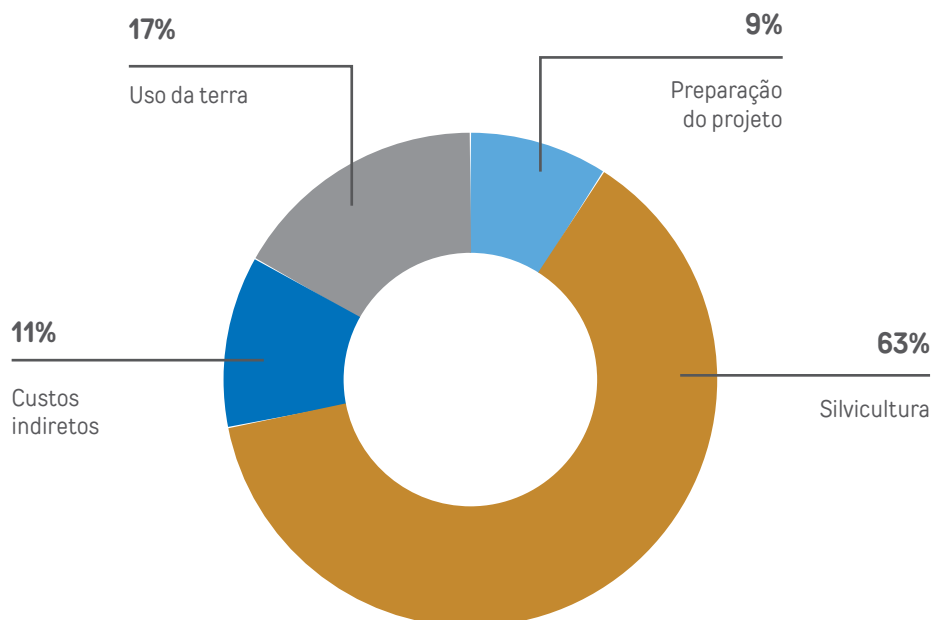
4.2 FATORES DE CUSTO

Nesta seção, serão abordados os principais fatores envolvidos nos resultados econômicos da atividade florestal, com foco na **hierarquia de custos** e na **formação do preço da madeira**¹⁰. As variações nesses fatores para cada mesorregião serão apresentadas e discutidas. Para representar os resultados, foi considerado um projeto de referência, cujas características podem ser conferidas no Anexo 1.

O primeiro dado a ser analisado é o **investimento** necessário para realizar a atividade. O Gráfico 7 apresenta a composição do investimento para o projeto referência, incluindo o investimento inicial e os gastos até a primeira colheita, em que a maior parcela (63%) corresponde aos gastos com **silvicultura**. O investimento total é composto pelas seguintes categorias, apresentadas em ordem de importância:

- 1 Silvicultura: gastos com plantio, irrigação, fertilizante, controle de mato e controle de praga;
- 2 Uso da terra: gastos com arrendamento da terra a valor de mercado na região considerada;
- 3 Preparação do projeto: gastos com licenciamento, instalação de cerca e preparação do solo.
- 4 Custos indiretos: outros custos relacionados ao manejo florestal e proporcionais à área plantada.

Gráfico 7 Distribuição por categoria do custo de investimento.

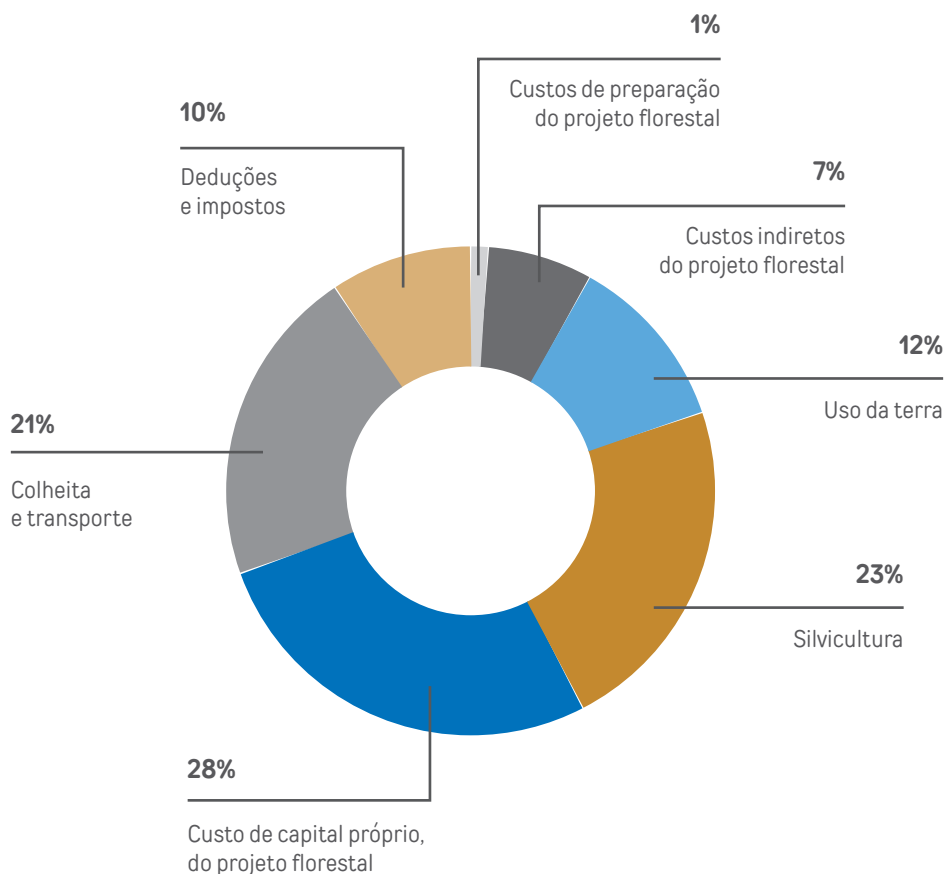


Fonte: (IEMA, 2017d)

¹⁰ Para mais detalhes sobre os aspectos econômicos da produção de madeira, acesse o relatório técnico e o modelo de custeio florestal, disponíveis em: <http://www.energiaambiente.org.br/estudo-de-pre-viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-eucalipto>

A seguir, avaliamos os gastos totais ao longo de todo o projeto, incluindo investimento e operação, e o preço de venda necessário para recuperá-los, chamado daqui em diante de **preço alvo**. A participação de cada uma das categorias de gastos na formação do preço alvo da madeira está indicada no Gráfico 8.

Gráfico 8
Decomposição do preço alvo de venda da madeira.



Fonte: (IEMA, 2017d)

O **custo de capital** é responsável pela maior parcela do preço alvo, seguido pelos gastos com **silvicultura** e pelas despesas com **colheita e transporte**. O maior impacto do custo de capital ocorre porque o projeto requer **alto investimento em seus primeiros 7 anos**, quando são realizadas as atividades de preparação do terreno e plantio, enquanto **a primeira colheita ocorre somente ao final deste período**.

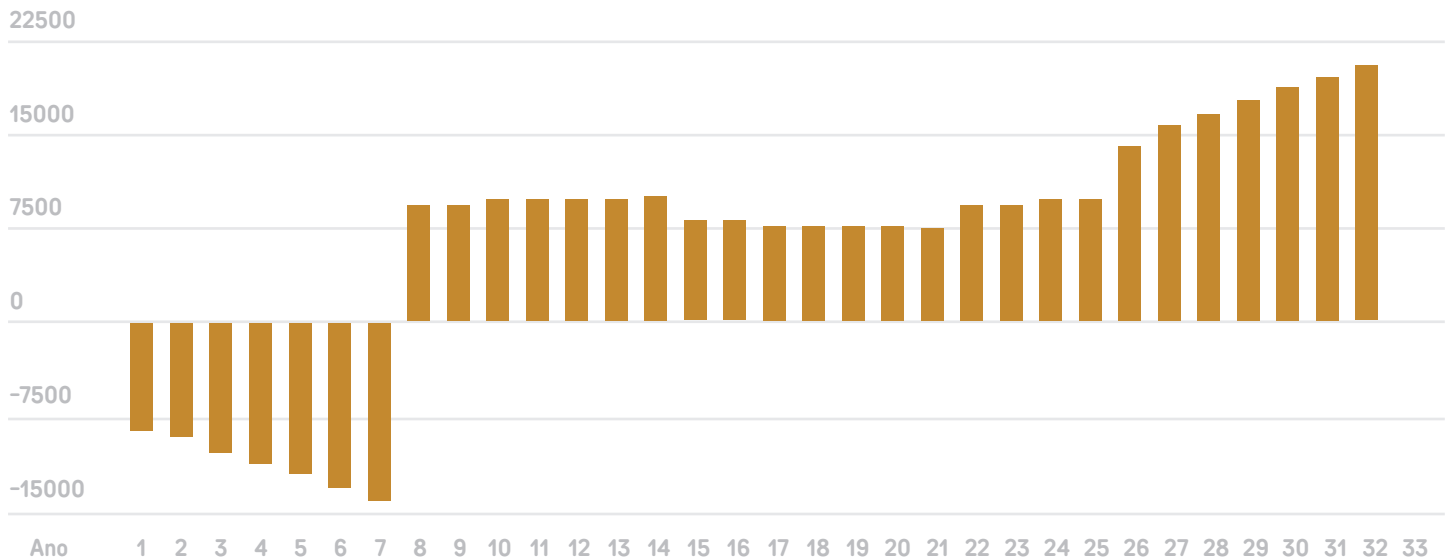
Assim, conforme é possível observar no Gráfico 9, que apresenta os fluxos de caixa do projeto, só são obtidos fluxos positivos após 7 anos, variando devido aos custos de execução de novos plantios entre o 15º e o 21º ano. No fim do período, os fluxos

positivos aumentam gradativamente conforme as áreas plantadas começam a sair do projeto, diminuindo os custos de manutenção.

Os fluxos cada vez mais negativos no início do projeto correspondem aos custos de execução de novos plantios e de manutenção, que aumentam conforme a área plantada aumenta, representando o alto investimento necessário nessa fase do projeto.

Gráfico 9 Fluxos de caixa livre para o projeto.

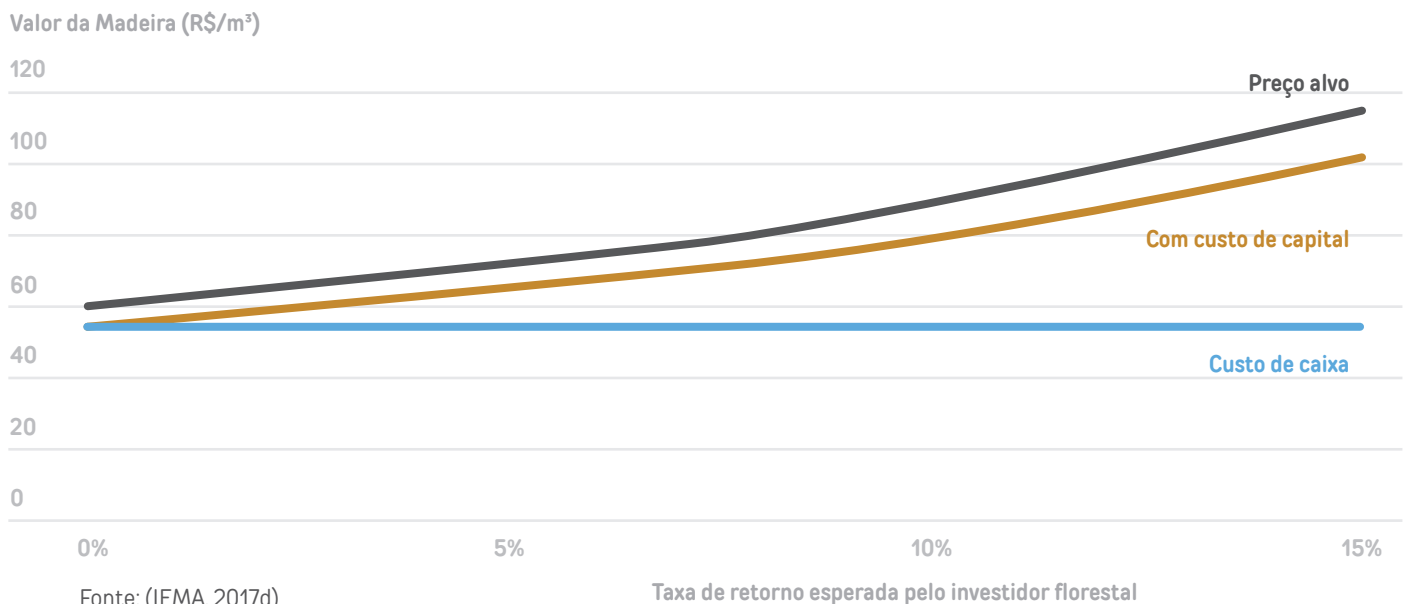
Fluxo de caixa livre (Mil R\$)



Fonte: (IEMA, 2017d)

Como o custo de capital representa a maior parcela do preço alvo (28%), a **taxa de retorno esperada** pelos investidores tem impacto expressivo sobre esses parâmetros, como indica o Gráfico 10, que apresenta a variação do valor da madeira em função da taxa de retorno esperada. A redução da taxa de retorno de 9% para 8%, por exemplo, provoca uma redução de 4,2% do preço alvo de venda.

Gráfico 10 Variação do valor da madeira em função da taxa de retorno esperada pelo investidor.



Fonte: (IEMA, 2017d)

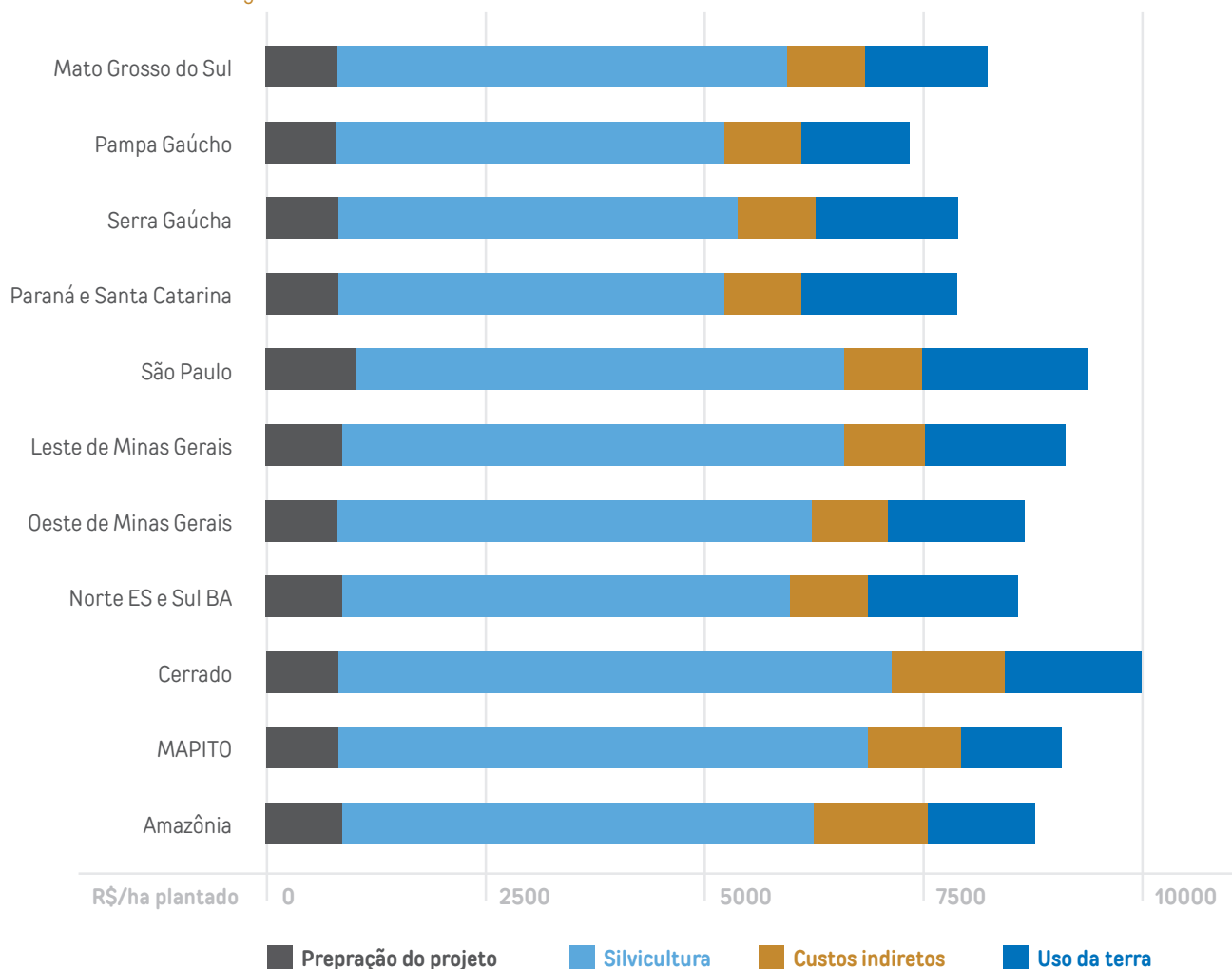
Além disso, conforme apresentado no Gráfico 8, as **deduções e impostos** correspondem a cerca de 10% do valor final da madeira. Essa parcela inclui IR e CSLL, PIS, COFINS, FUNRURAL e ICMS (que incide somente no caso de venda de um estado para outro).

Generalização para todas as mesorregiões

O Gráfico 11 apresenta a composição do investimento para as diferentes mesorregiões. A proporção de cada parcela não se altera significati-

vamente, sendo que a silvicultura é responsável pela maior parcela em todas as mesorregiões. O investimento por hectare varia no máximo 36% entre as mesorregiões, indo **de R\$ 7,3 mil/ha no Pampa Gaúcho até R\$ 9,9 mil/ha no Cerrado**. As diferenças entre as mesorregiões se devem principalmente às suas diferentes produtividades florestais, que levam a variações nos gastos com silvicultura. Como esses gastos compõem a maior parte do investimento, variações nessa parcela se sobrepõem a eventuais diferenças nos outros componentes do investimento.

Gráfico 11 Composição do investimento para as diferentes mesorregiões.



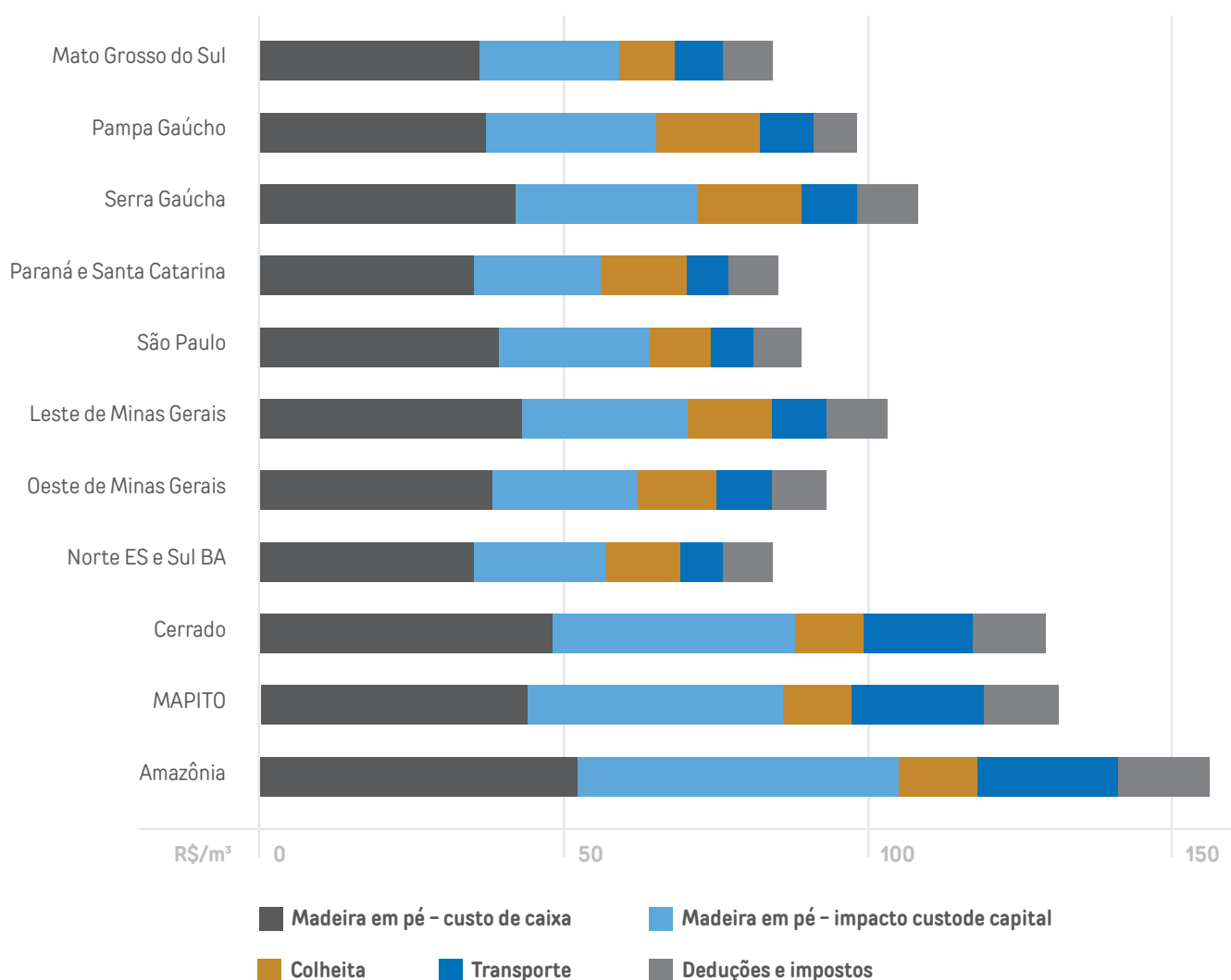
Fonte: (IEMA, 2017d)

O Gráfico 12 apresenta o preço alvo de venda da madeira para cada uma das mesorregiões. As regiões do **Mato Grosso do Sul, Norte ES e Sul BA, Paraná e Santa Catarina e São Paulo** permitem os menores preços do país, variando de **R\$ 86 a 93 /m³**. Essas são as mesorregiões com as melhores produtividades, conforme apresentado no Gráfico 1. Além disso, apresentam os menores prêmios de risco regional, que levam a menores custos de capital, e possuem mercados florestais maduros, que propiciam menores custos de colheita e transporte. No outro extremo, as três regiões com menor atratividade econômica, **Cerrado, MAPITO e Amazônia**, possuem baixas produtividades, altos custos silviculturais e mercados florestais incipientes, levando a preços que variam de **R\$ 132 a**

154 /m³. Além disso, apresentam prêmio de risco regional relativamente alto, que leva a custos de capital significativamente maiores, uma vez que os custos de produção já são maiores que nas outras regiões. Assim, apesar de a avaliação da disponibilidade de terras ter apontado essas regiões como favoráveis aos projetos, a presença de fatores de custo relevantes para a formação do preço da madeira faz com que elas apresentem menores competitividades.

As demais mesorregiões apresentam preços alvo intermediários. Isso se explica pelo fato dessas regiões apresentarem produtividades médias a baixas, mas custos silviculturais e prêmios de risco regionais também médios a baixos.

Gráfico 12 Sensibilidade do valor da madeira à mesorregião.



Fonte: (IEMA, 2017d)

Além disso, podemos observar pelo gráfico que a proporção de cada parcela no preço da madeira, em geral, não se altera significativamente, com exceção das regiões com maiores preços alvo pelos motivos já citados.

Retomando a avaliação da disponibilidade de terras realizada no Capítulo 3 (Figura 2), observa-se que, com exceção do Mato Grosso do Sul, as regiões com menores preços alvo de venda da madeira são as regiões que possuem as menores porções da área potencial à atividade. Por outro lado, as regiões com maior disponibilidade de terras (Amazônia, Oeste de Minas Gerais e Cerrado) estão entre as mesorregiões que atingiram os maiores preços de venda.

De qualquer modo, medidas estratégicas podem ser pensadas para aumentar a competitividade em todo o território como forma de diminuir os custos da etapa florestal e também evitar o possível desafio de localização dos projetos. A seguir, serão discutidas algumas possíveis medidas que visam fomentar a atividade florestal com fins energéticos que, como discutido anteriormente, pode contribuir para atingir as metas de desenvolvimento sustentável do país.

Medidas possíveis

As medidas apresentadas aqui foram concebidas levando em conta os principais fatores na formação do preço. Contudo, a pertinência e a viabilidade de sua implementação não foram avaliadas em profundidade, uma vez que essa análise fugiria ao objetivo inicial do estudo e poderia compor um estudo independente por si só. A discussão realizada baseia-se na observação dos resultados apresentados nos modelos produzidos durante este estudo.¹¹

Conforme discutido, o custo de capital corresponde à maior parcela do preço alvo de venda. Assim, atuar na redução dessa parcela teria o maior impacto na diminuição dos preços. Isso poderia

ser feito, por exemplo, com a criação de **linhas de crédito específicas**, que levassem em conta as características próprias da atividade. A disponibilização de taxas mais competitivas teria impacto significativo, como já foi apresentado, e poderia ser justificada para bancos de desenvolvimento ou multilaterais tendo em vista os potenciais benefícios gerados pela atividade (discutidos em maior profundidade no Capítulo 6).

Considerando que a silvicultura representa o segundo maior fator na formação do preço, o **incentivo à pesquisa** para o desenvolvimento da espécie do eucalipto, de modo a obter maior produtividade pode levar a menores preços de venda em regiões com mercado florestal incipiente e altos custos silviculturais. O investimento em **infraestrutura de transporte** nessas regiões também pode ser importante para a redução dos preços, já que os custos com colheita e transporte representam 21% do preço alvo de venda.

Ainda que representem menor parcela do preço de venda final, isenções nos impostos que incidem na atividade também poderiam torná-la mais competitiva. Os principais impostos a considerar são de responsabilidade federal (IR e CSLL, PIS, COFINS, FUNRURAL), portanto uma política de isenções causaria impacto positivo em todas as mesorregiões.

De qualquer forma, além da redução dos fatores de custo, a adoção de medidas de incentivo ao cultivo de eucalipto para geração energética também deve considerar os co-benefícios que a atividade pode trazer, no sentido do atendimento das metas nacionais de desenvolvimento sustentável. Como o cultivo de eucalipto pode ser utilizado para a **recuperação de áreas degradadas**, ele pode contribuir para a implementação do compromisso nacional quanto à restauração e reflorestamento de terras. A exigência de certificação quanto ao manejo florestal também traz benefícios, pois garante que os produtores realizem a **proteção de áreas nativas**, conforme prevê o Código Florestal.

¹¹ O modelo financeiro e o relatório técnico produzidos podem ser acessados em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-eucalipto>

5. Aspectos econômicos da produção de energia

Uma vez que foram analisadas a disponibilidade de terras para a produção de eucalipto com fins energéticos e a viabilidade desta atividade, restou examinar os principais aspectos econômicos relacionados à fase de **produção de energia**.¹²

Nesta seção, são apresentadas as principais características técnicas que impactam os custos envolvidos na produção de energia a partir da biomassa do eucalipto, assim como os resultados econômicos obtidos para essa atividade.

5.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Os principais aspectos técnicos que influenciam os custos da produção de energia a partir de biomassa se iniciam com o **recebimento e processamento da madeira**. Estamos considerando que a entrega da madeira é realizada **posto na indústria**, o que significa que os custos com o transporte da

plantação até a usina são arcados pelo produtor de eucalipto e já estão inclusos no preço de compra da madeira.

Já o processamento da madeira foi considerado como parte da atividade de produção de energia, incluindo a compra dos equipamentos necessários ao tratamento da madeira no investimento.

A madeira processada é consumida nas caldeiras geradoras de vapor e o vapor gerado é utilizado para mover os turbogeradores. Assim, as características termodinâmicas e a capacidade horária de geração de vapor das caldeiras definem a potência elétrica que a usina é capaz de fornecer. Com base na disponibilidade de fornecedores e de dados de referência sobre os custos, foram selecionadas diferentes tecnologias e portes de caldeira para análise. As configurações consideradas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Configurações de tecnologia de caldeira e potência da usina.

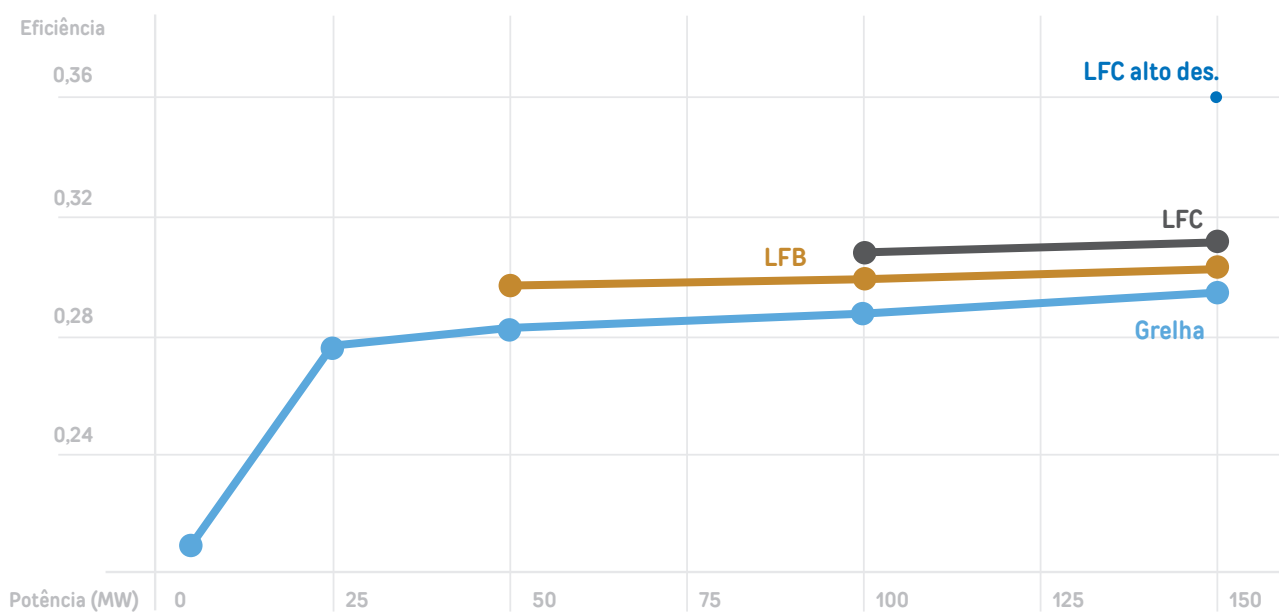
| TECNOLOGIA DA CALDEIRA | POTÊNCIA DA UTE (MW) |
|------------------------------------|----------------------|
| Grelha | 5, 25, 50, 100 e 150 |
| Leito fluidizado borbulhante (LFB) | 50, 100 e 150 |
| Leito fluidizado circulante (LFC) | 100 e 150 |
| LFC de alto desempenho | 150 |

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017b)

¹² Para mais detalhes sobre os aspectos econômicos da produção de energia a partir da biomassa do eucalipto, acesse o relatório e o modelo de custeio de usinas termelétricas, disponíveis em: <http://www.energiaambiente.org.br/estudo-economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-de-plantios-de-eucalipto>

A **eficiência** de conversão da energia contida na madeira em energia elétrica depende, principalmente, das **características tecnológicas da caldeira** e do **porte da usina**. O Gráfico 13 apresenta essa relação.

Gráfico 13 Eficiência de conversão de energia em função do porte e tecnologia da caldeira.



Fonte: (IEMA, 2017b)

A maior parte dos sistemas apresenta valores de eficiência próximos de 30%, porém existem ganhos de escala, de modo que sistemas com maior potência líquida são mais eficientes. É importante notar que, segundo dados da *International Energy Agency* (IEA, 2012), usinas de menor porte (até 50 MW) devem continuar apresentando eficiências relativamente baixas nas próximas décadas.

A análise desses aspectos é relevante porque usinas com maiores eficiências possibilitam menor consumo de madeira para gerar a mesma quantidade de energia. Isso leva a menores custos de operação pois, como será discutido na Seção 5.2, a madeira representa a maior parcela desses custos.

Além disso, usinas mais eficientes também apresentam melhor desempenho quanto aos indicadores:

» Uso de água¹³: a parcela de calor que não é convertida em energia elétrica deve ser rejeitada para o ambiente, o que é realizado na maior parte das usinas por meio de sistemas de resfriamento a água. Com uma maior eficiência, é preciso rejeitar menos calor, diminuindo a quantidade de água necessária.

» Emissões de material particulado¹⁴: por queimar menos madeira, usinas mais eficientes causam menos emissões por unidade de energia gerada. Além disso, usinas de maior porte (mais eficientes) permitem a utilização de sistemas de controle mais robustos.

13 Para mais detalhes sobre o uso de água em usinas termelétricas acesse a nota técnica “Uso de água em termoeletricas”, disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/uso-de-agua-em-termoeletricas-1>

14 Para mais informações sobre emissões em usinas termelétricas acesse a nota técnica “Geração termoeletrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle”, disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/geracao-termoeletrica-e-emissoes-atmosfericas-poluentes-e-sistemas-de-controle>

Esses indicadores correspondem aos principais impactos causados por usinas termelétricas a biomassa, conforme será discutido no Capítulo 6.

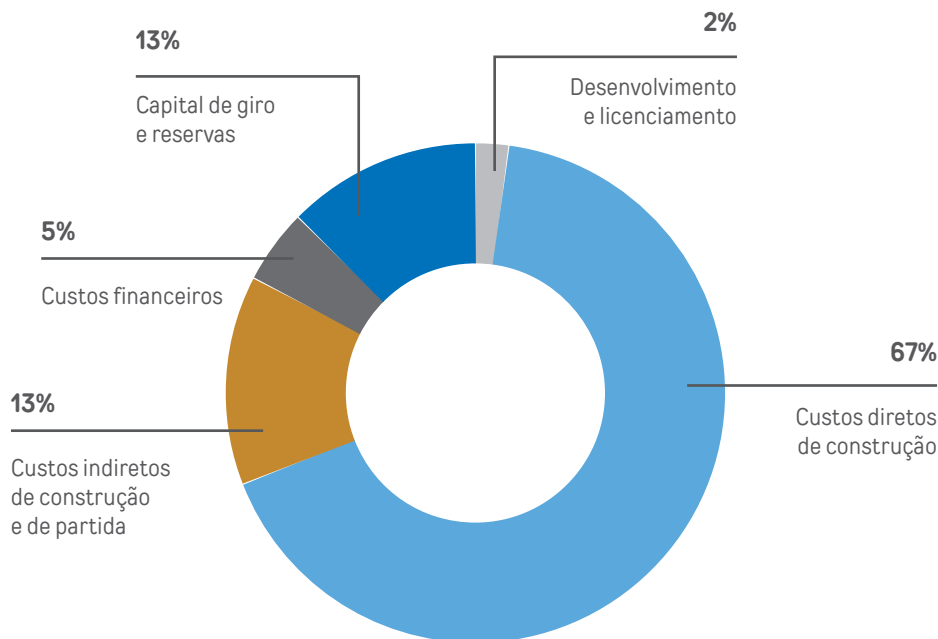
Uma forma de obter ganhos na eficiência energética é o emprego de **cogeração**. Com esse objetivo, a União Europeia adota a *Combined Heat and Power Directive*, uma diretiva que busca promover a cogeração entre os países membros, como foi verificado por levantamentos realizados pelo IEMA¹⁵. Uma medida semelhante poderia ser implementada no Brasil para fomentar o emprego da cogeração ligada a processos industriais e, conseqüentemente, potencializar a eficiência energética no país, especialmente nos polos industriais onde há demanda por calor.

5.2 FATORES DE CUSTO

Nesta seção, serão abordados os principais fatores envolvidos nos resultados econômicos da atividade de geração de energia, com foco na **hierarquia de custos** e na **formação do preço da energia**, que são aproximadamente semelhantes entre projetos com diferentes portes ou localizações. Eventuais variações nesses fatores serão apresentadas e discutidas. Para representar os resultados, foi considerado um projeto de referência, cujas características podem ser conferidas no Anexo 1.

O **investimento** necessário ao projeto equivale ao necessário para cobrir equipamentos, preparação do projeto e outros gastos antes do início da operação. O Gráfico 14 apresenta a participação de cada categoria na composição do investimento a partir de um projeto genérico. Os principais custos são, em ordem de importância: custos diretos de construção; capital de giro e reservas; custos indiretos de construção e de partida; custos financeiros; e gastos com desenvolvimento e licenciamento do projeto. Em usinas maiores, a participação dos custos de construção se torna maior, pois aumentam os custos com equipamentos.

Gráfico 14 Participação de cada categoria no investimento para o projeto de referência.



Fonte: (IEMA, 2017e)

¹⁵ O IEMA mapeou as práticas internacionais a partir de um levantamento de projetos de termelétricas com capacidade instalada acima de 50 MW que utilizam como combustível biomassa de madeira, seja na forma de resíduos da indústria florestal ou através da aquisição direta de biomassa.

O **preço alvo** de venda é composto por diferentes parcelas, representando os diferentes custos que devem ser recuperados com a venda da energia. A Tabela 6 apresenta cada uma dessas parcelas.

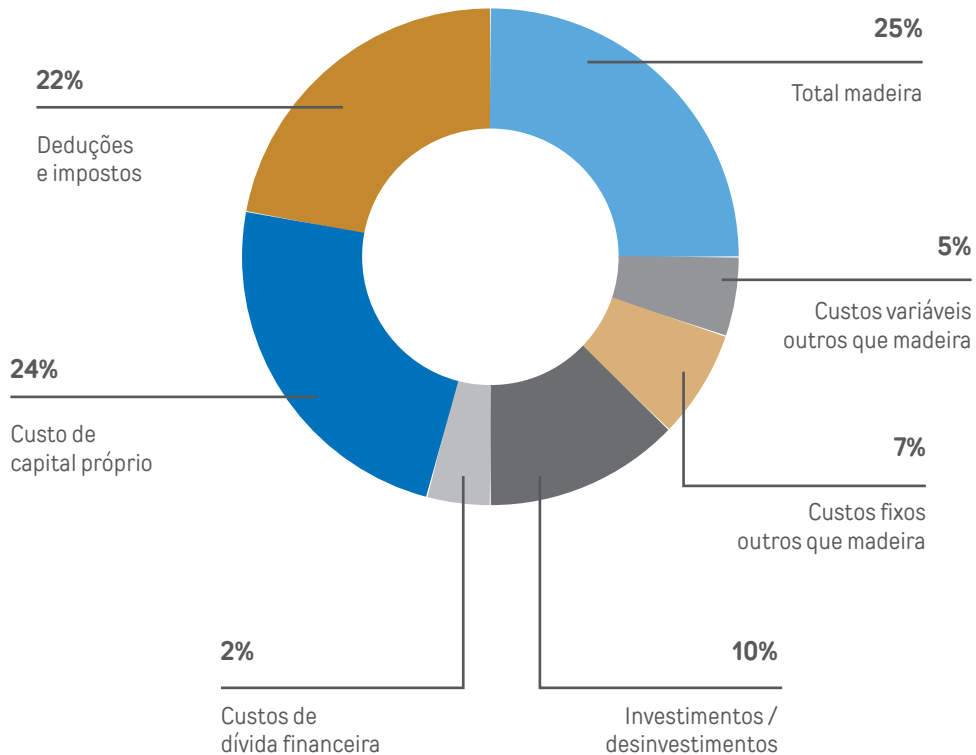
Tabela 6 Decomposição do preço alvo de venda da energia para o projeto referência.

| ITEM | DEFINIÇÃO |
|------------------------------|--|
| Investimento | Inclui investimento inicial, reinvestimento e gastos operacionais durante a partida. |
| Custos fixos de operação | Custos como mão de obra, custo de acesso à rede e parcela fixa da contratação de madeira. |
| Custos variáveis de operação | Custos da parcela variável do combustível e outros custos que dependem do nível de despacho. |
| Custo da dívida financeira | Pagamento do principal e juros da dívida financeira. |
| Custo de capital próprio | Ressarcimento do capital dos investidores. |
| Deduções e impostos | Parcela referente a PIS, COFINS, IR e CSLL. |

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017b)

O Gráfico 15 apresenta a participação de cada item no preço alvo. O **custo da madeira** representa a maior parcela do preço por ser o principal insumo para a operação. A segunda maior contribuição vem do **custo de capital próprio**, pela elevada taxa de retorno exigida e pela alta participação de capital próprio no financiamento. Em seguida vêm as **deduções e impostos**, devido ao custo de capital alto combinado ao regime de impostos aplicado. Cada uma dessas parcelas corresponde a aproximadamente 25% do preço alvo de venda final.

Gráfico 15 Participação de cada parcela no preço alvo de venda para o projeto referência.



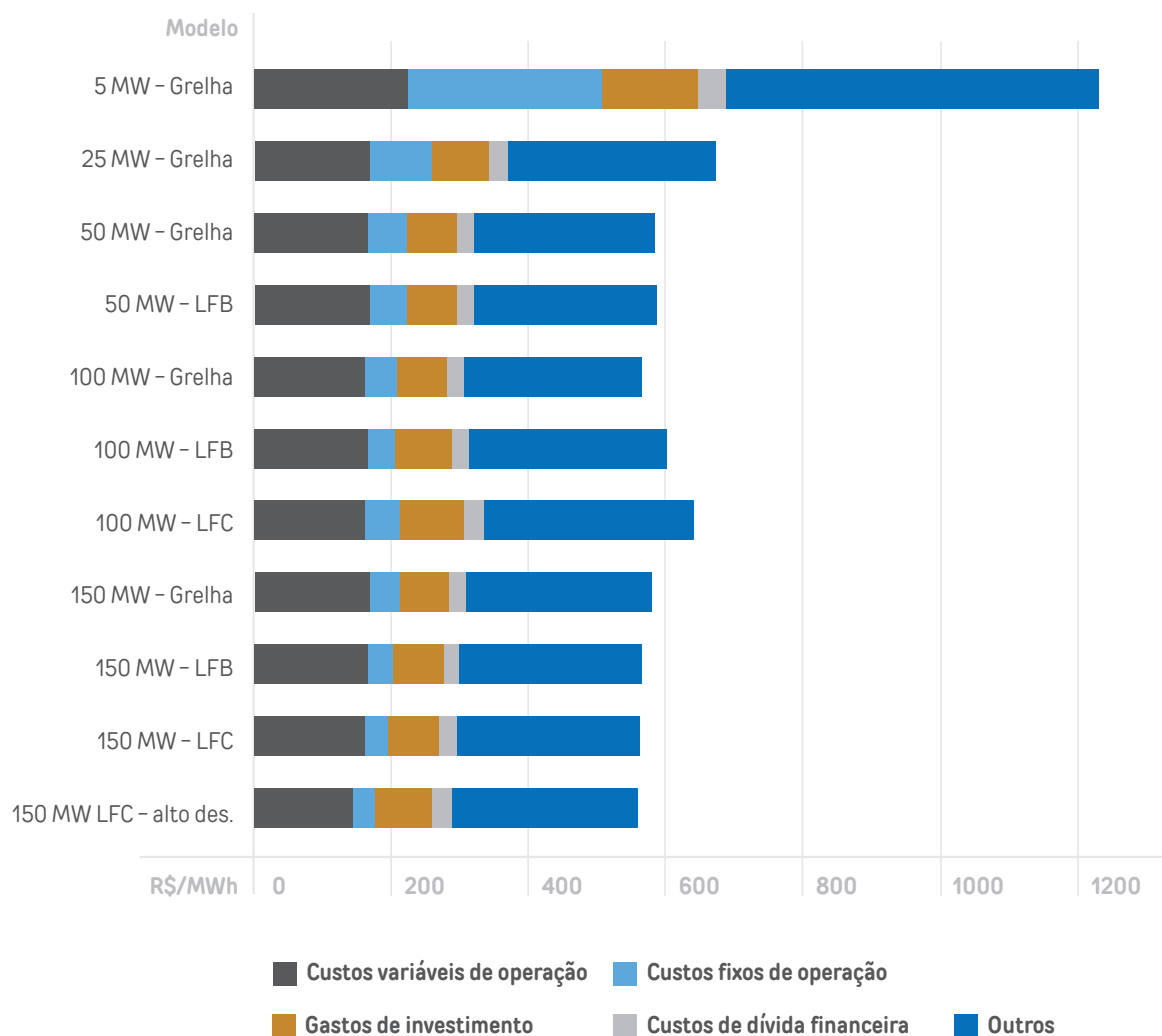
Fonte: (IEMA, 2017e)

O Gráfico 16 apresenta a variação do preço alvo de venda com o porte da termelétrica. A diminuição dos preços alvo com o aumento da capacidade instalada é relevante principalmente para usinas até 50 MW. Isso ocorre porque, nessa faixa de potência, os ganhos de eficiência com aumento do porte da usina são mais expressivos, reduzindo o consumo de madeira e, conseqüentemente, diminuindo o preço alvo, uma vez que a compra do combustível é o principal fator de custo.

As maiores parcelas no gráfico se referem ao custo de capital e às deduções e impostos (componente “outros”) e aos custos variáveis de operação, que correspondem principalmente ao consumo de madeira. Destacamos que os custos fixos têm uma pequena participação porque todo o consumo de combustível foi contabilizado como custo variável.

Gráfico 16

Variação do preço alvo de venda com o porte da usina.



Fonte: (IEMA, 2017e)

Generalização para todas as mesorregiões

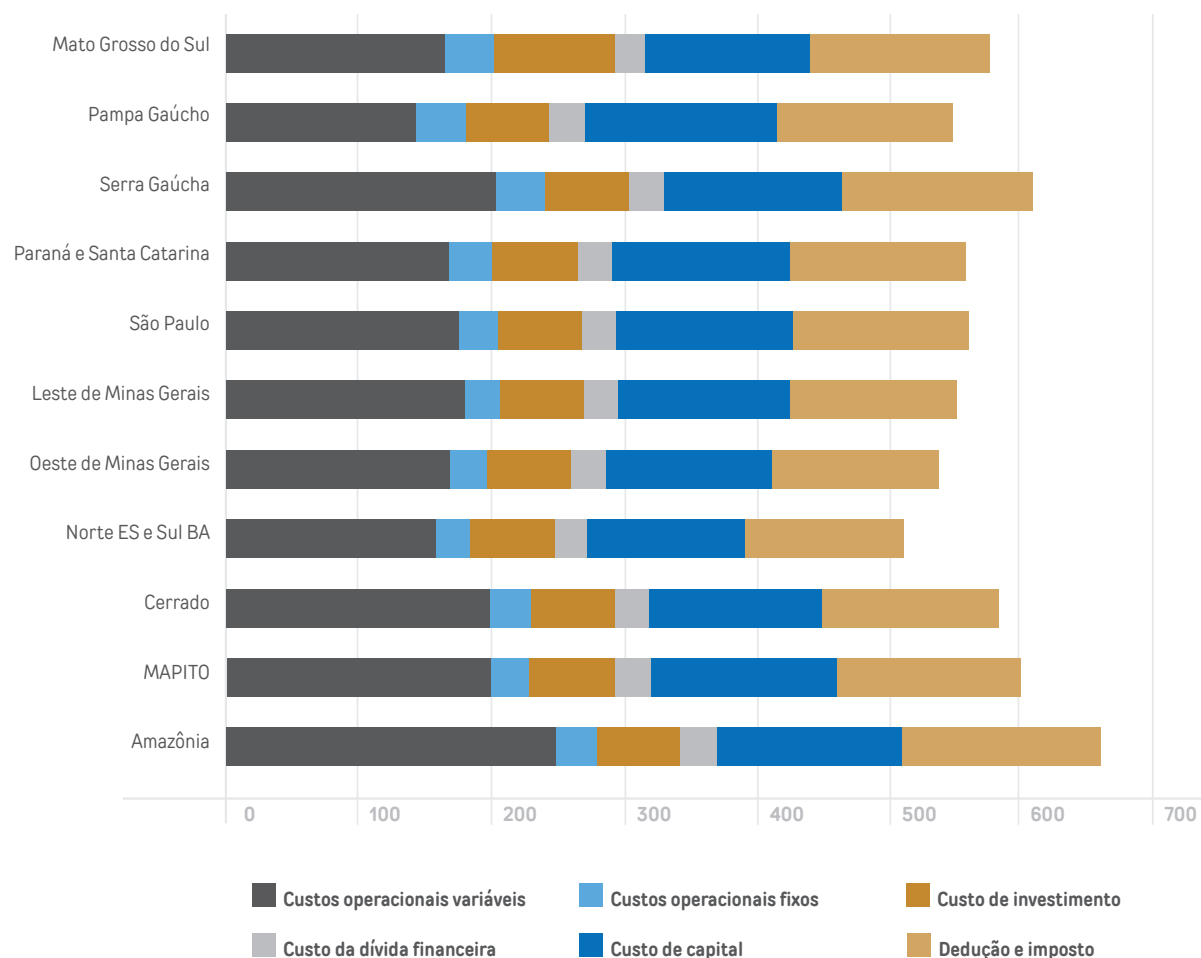
A hierarquia de custos na composição do investimento praticamente não varia entre as mesorregiões. Isso decorre do fato de que mais de 75% desse valor está relacionado aos custos de construção e de partida, que consideram equipamentos e construção civil, cujos valores não dependem da mesorregião em que se encontra o projeto.

Para calcular o preço alvo de venda da energia em todas as mesorregiões, foram considerados, além dos parâmetros técnicos já apresentados e dos resultados obtidos anteriormente, a elegibilidade dos projetos aos programas de incentivo patrocinados pela **Sudene** (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e pela **Sudam** (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), que conferem subsídios fiscais a termelétricas a biomassa localizadas em áreas selecionadas.

O Gráfico 17 apresenta os preços alvo obtidos para cada mesorregião. A proporção entre os componentes do preço alvo varia pouco entre as mesorregiões, sendo que os custos variáveis representam parcela maior nas regiões com custo da madeira mais alto. Por outro lado, existem diferenças expressivas entre os valores absolutos de preço que se devem, principalmente, aos diferentes custos da madeira em cada região e à elegibilidade aos subsídios Sudam/Sudene.

Assim, as regiões ES + BA, Pampa Gaúcho, e Oeste de MG atingiram os menores preços (R\$ 514 ± 10)/MWh por terem apresentado preços de madeira mais competitivos e/ou por serem elegíveis ao regime de incentivos. Por outro lado, as regiões Cerrado, Serra Gaúcha, MAPITO e Amazônia, por já terem apresentado desvantagens quanto ao preço da madeira e por não serem elegíveis aos subsídios Sudam/Sudene, apresentaram preços significativamente altos, variando de R\$ 582 a 656 /MWh¹⁶.

Gráfico 17 Sensibilidade do preço alvo da eletricidade à mesorregião florestal para uma termelétrica de 100 MW LFB operando 7.920 horas por ano.



Fonte: (IEMA, 2017b)

16 Os preços apresentados foram obtidos no relatório “Estudo Econômico do Custo de Energia a partir de Madeira de Plantios de Eucalipto”, disponível em: <http://www.energiaambiente.org.br/estudo-economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-de-plantios-de-eucalipto>

Além das diferenças em relação ao preço de venda da eletricidade, a escolha da mesorregião impacta também na área plantada necessária para abastecer a termelétrica, uma vez que as regiões possuem produtividades de madeira diferentes. Assim, por exemplo, com todos os outros fatores iguais, a área necessária para obter o volume de madeira que garante a produção de energia esperada é cerca de 45% maior na Amazônia (área de pior produtividade florestal) do que na região do Espírito Santo (a mesorregião de melhor produtividade).

A partir do levantamento de áreas disponíveis apresentado no Capítulo 3, foi elaborada a Tabela 7, que apresenta a proporção de área potencial levantada que seria mobilizada para abastecer uma termelétrica durante 7.920 horas ao ano, em função da mesorregião, porte e tecnologia. Observa-se que a disponibilidade de terras é muito alta para qualquer porte de termelétrica no Mato Grosso do Sul, Oeste de Minas Gerais, Cerrado e Amazônia.

Tabela 7 Proporção de área potencial para plantios comerciais de eucalipto necessária para abastecer uma termelétrica durante 7.920 horas ao ano, em função da mesorregião, porte e tecnologia.

| ÁREA PLANTADA NECESSÁRIA PARA ABASTECER O PROJETO TERMELÉTRICO / ÁREA DISPONÍVEL | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------|--------------|-------------------------|-----------|-------------|-------------|---------|---------|--------|----------|
| Porte do projeto | Mato Grosso do Sul | Pampa Gaúcho | Serra Gaúcha | Paraná + Santa Catarina | São Paulo | Leste de MG | Oeste de MG | ES + BA | Cerrado | MAPITO | Amazônia |
| 5 MW | 0,0% | 1,0% | 18,8% | 0,2% | 0,1% | 0,2% | 0,0% | 0,4% | 0,1% | 0,2% | 0,0% |
| 25 MW grelha | 0,1% | 3,8% | 71,7% | 0,7% | 0,5% | 0,9% | 0,2% | 1,4% | 0,2% | 0,7% | 0,1% |
| 50 MW grelha | 0,2% | 7,4% | 139,8% | 1,3% | 0,9% | 1,7% | 0,3% | 2,8% | 0,4% | 1,5% | 0,2% |
| 50 MW LFB | 0,2% | 7,1% | 133,6% | 1,3% | 0,9% | 1,7% | 0,3% | 2,7% | 0,4% | 1,4% | 0,2% |
| 100 MW grelha | 0,4% | 14,4% | 272,7% | 2,6% | 1,7% | 3,4% | 0,6% | 5,5% | 0,7% | 2,9% | 0,4% |
| 100 MW LFB | 0,3% | 13,9% | 263,6% | 2,5% | 1,7% | 3,3% | 0,6% | 5,3% | 0,7% | 2,8% | 0,3% |
| 100 MW LFC | 0,3% | 13,5% | 255,9% | 2,4% | 1,6% | 3,2% | 0,6% | 5,1% | 0,7% | 2,7% | 0,3% |
| 150 MW grelha | 0,5% | 21,2% | 402,1% | 3,8% | 2,6% | 5,0% | 0,9% | 8,1% | 1,1% | 4,2% | 0,5% |
| 150 MW LFB | 0,5% | 20,7% | 392,8% | 3,7% | 2,5% | 4,9% | 0,9% | 7,9% | 1,1% | 4,1% | 0,5% |
| 150 MW LFC | 0,5% | 20,1% | 380,2% | 3,6% | 2,4% | 4,7% | 0,9% | 7,6% | 1,0% | 4,0% | 0,5% |
| 150 MW LFC – alto des. | 0,4% | 17,4% | 329,3% | 3,1% | 2,1% | 4,1% | 0,8% | 6,6% | 0,9% | 3,4% | 0,4% |

Fonte: adaptado de (IEMA, 2017b)

A partir dessa análise, pode-se buscar a consolidação dos resultados obtidos até o momento, de forma a avaliar as regiões que apresentam características favoráveis ao projeto, tanto economicamente quanto em relação à disponibilidade de terras. Assim, apesar de as regiões ES + BA, Pampa Gaúcho, e Oeste de MG serem as mais competitivas do ponto de vista econômico, entre essas apenas Oeste de MG apresenta uma área potencial que pode permitir o desenvolvimento do projeto. Da mesma forma, apesar de o Mato Grosso do Sul, por exemplo, ter obtido um desempenho econômico intermediário, a alta disponibilidade de terras dessa região deve ser considerada, sendo necessário estudar medidas que podem favorecer a competitividade desta e de outras mesorregiões. Ressaltamos ainda que o mapeamento não significa disponibilidade de terras e, portanto, a consolidação dos resultados é apenas indicativa.

Medidas possíveis

Novamente, ressaltamos que as medidas estratégicas apresentadas aqui foram concebidas levando em conta os principais fatores que impactam na formação do preço. Contudo, a pertinência e a viabilidade de sua implementação não foram avaliadas em profundidade, uma vez que não fazem parte do escopo deste relatório e poderiam compor um estudo independente por si só.

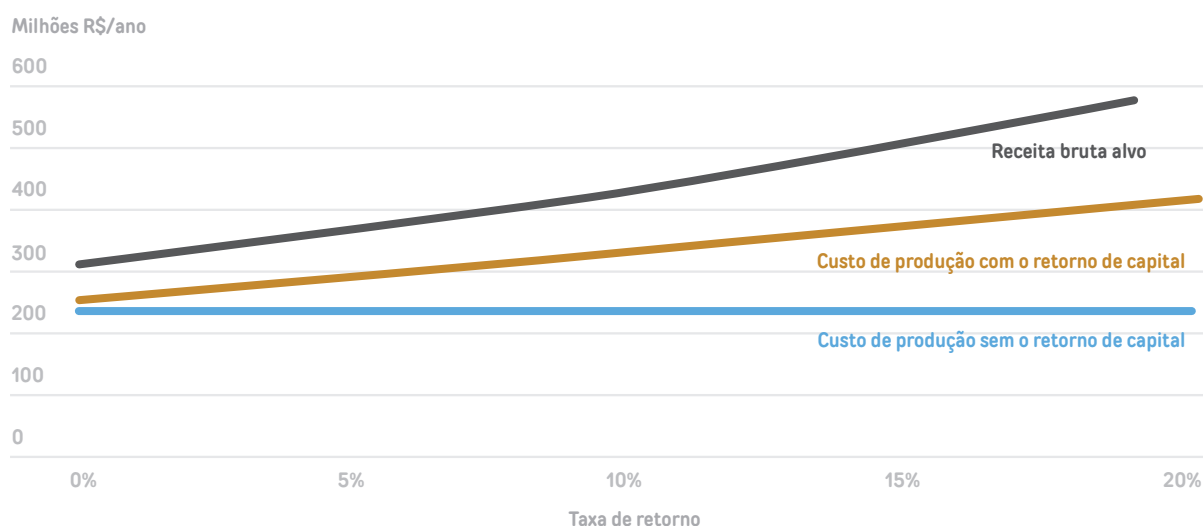
Como os custos com madeira representam a maior parte do preço de venda da energia, ações no sentido de redução do preço da madeira teriam o maior impacto. Dessa forma, as ações de fomento da atividade florestal discutidas no capítulo anterior teriam dois efeitos potenciais: o aumento da competitividade da madeira produzida em si e, como consequência, a diminuição do preço de venda da energia gerada a partir de florestas energéticas. Conforme análise realizada pelo IEMA, uma **diminuição de 25% no preço de compra da madeira**, por exemplo, causaria **diminuição de 8,3% no preço de venda da energia**, com efeito contrário na mesma proporção no caso de aumento.

O custo de capital próprio representa o segundo fator mais relevante para a formação do preço alvo e, por isso, também impacta significativamente os resultados. O Gráfico 18 apresenta a sensibilidade da receita necessária para o projeto em função da taxa de retorno esperada. A diferença entre o custo de produção com retorno de capital e a receita bruta alvo se deve às deduções e impostos.

A diminuição da taxa de retorno esperada pelos investidores tem impacto significativo na receita necessária para cobrir os custos e, consequentemente, no preço alvo de venda. Uma diminuição dessa taxa **de 13% para 12%** conduz a uma **queda de cerca de 3%** da receita e redução do preço na mesma proporção.

Gráfico 18

Varição da receita requerida para o projeto em função da taxa de retorno esperada pelo acionista para o projeto padrão no MS.



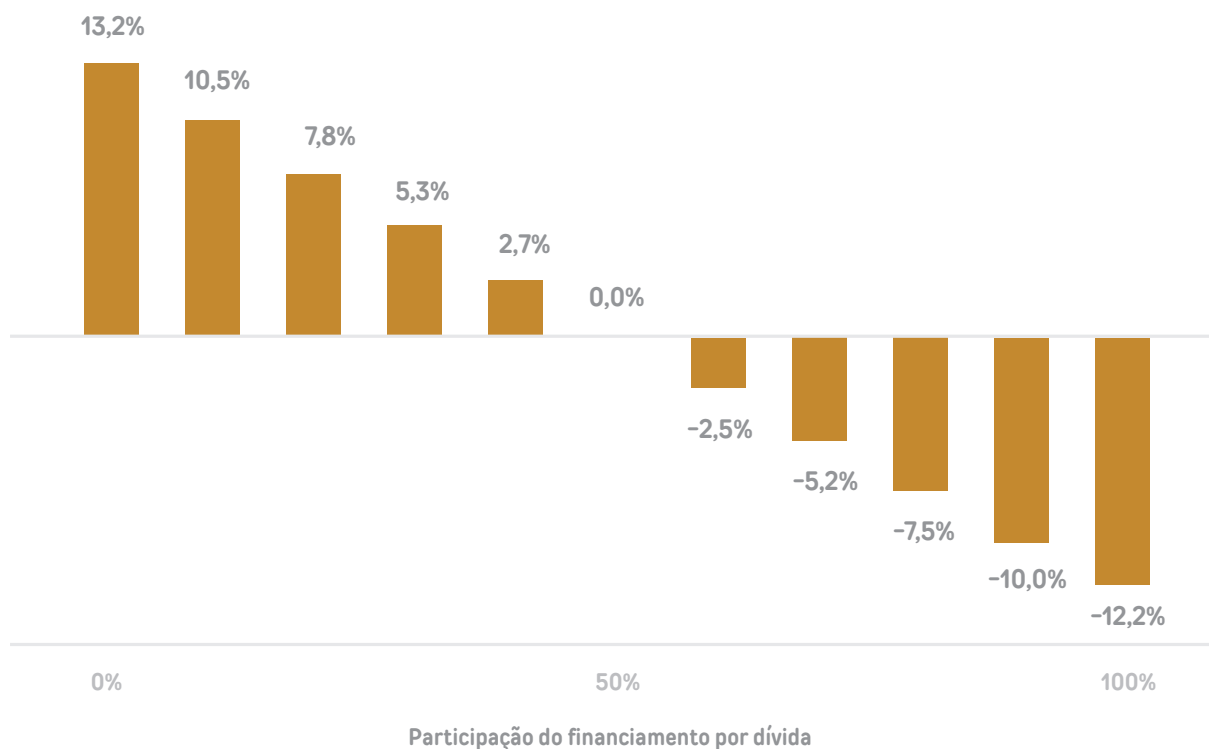
Fonte: (IEMA, 2017e)

No caso da produção de energia, uma outra maneira de reduzir os custos de capital seria aumentar a participação do financiamento por dívida. O BNDES, historicamente principal financiador de projetos no setor elétrico, admite financiar até 70% dos ativos imobilizados de usinas termelétricas. O Gráfico 19 apresenta a variação do preço alvo de venda do projeto de referência em função da proporção do financiamento por dívida. Se essa proporção chegasse a 100%, haveria **redução de**

12,2% no preço alvo de venda em relação ao obtido no caso de 50% de financiamento por dívida. A variação seria da mesma ordem para usinas de diferentes portes e em outras mesorregiões, uma vez que a proporção do custo de capital no preço alvo de venda é aproximadamente a mesma em todos os casos. Entretanto, destacamos que as condições disponibilizadas pelo banco já são consideradas muito vantajosas, de modo que pode não ser viável aprimorá-las ainda mais.

Gráfico 19 Variação do preço alvo de venda em função da proporção do financiamento por dívida.

Variação do preço alvo em relação ao caso referência



Fonte: elaboração própria a partir de (IEMA, 2017e)

Quanto às deduções e impostos, existem dois fatores que podem impactar significativamente o preço alvo final: a elegibilidade ao subsídio Sudam/Sudene e a possibilidade de aplicação de outro regime de impostos, como lucro presumido (que só está disponível para projetos abaixo de certo nível de faturamento). A Tabela 8 apresenta o preço alvo de venda do projeto referência para diferentes regimes de impostos. O regime de impostos aplicado no projeto referência foi o lucro real padrão.

Tabela 8 Preço alvo de venda da energia para o projeto referência com diferentes regimes de impostos.

| REGIME DE IMPOSTOS | PREÇO ALVO (R\$/MWH) | VARIAÇÃO |
|--------------------------------------|----------------------|----------|
| Lucro real padrão | 552 | - |
| Lucro real com subsídio Sudam/Sudene | 491 | -11,0% |
| Lucro presumido | 444 | -19,6% |
| Isento | 411 | -25,5% |

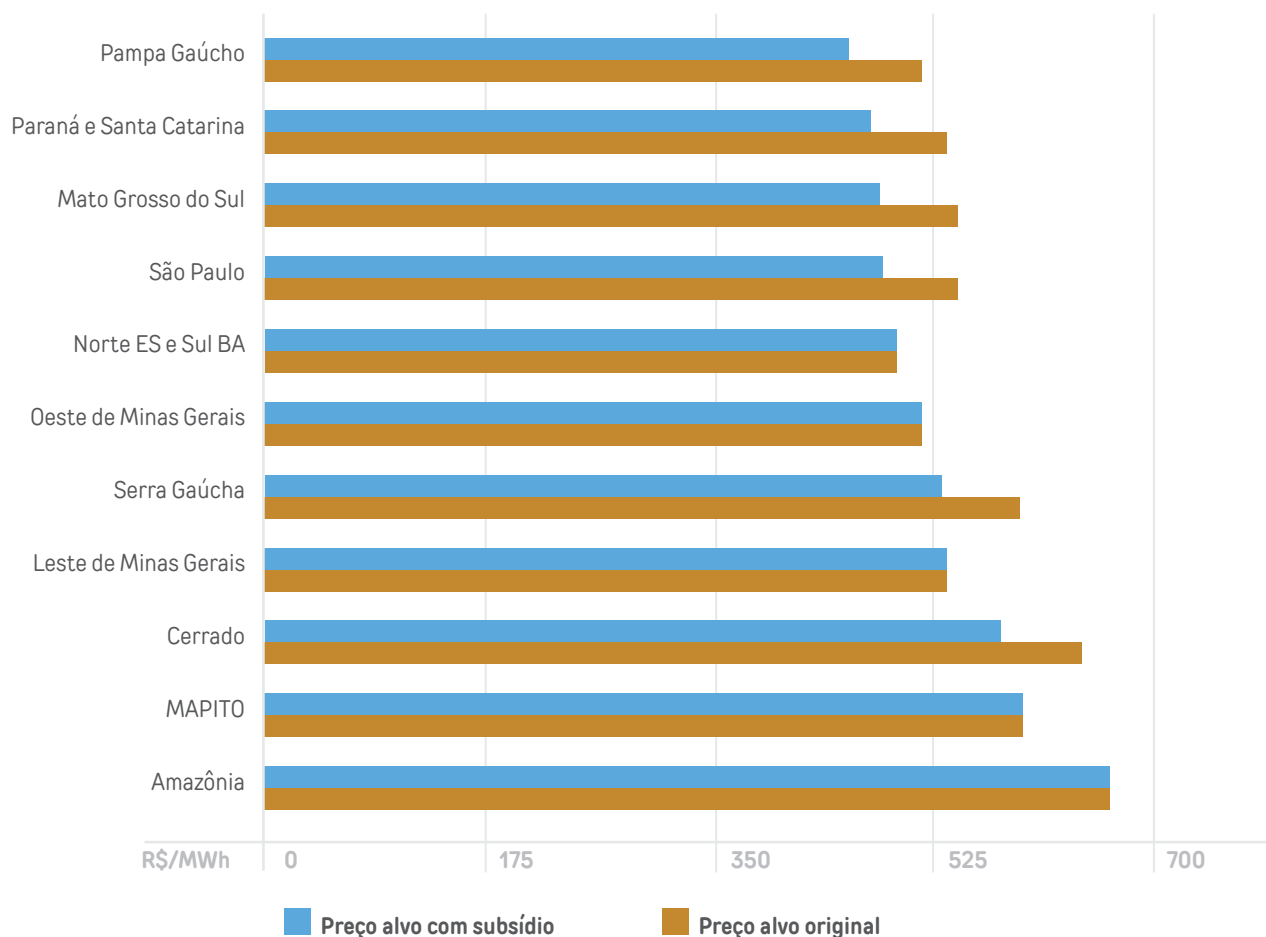
Fonte: adaptado de (IEMA, 2017b)

A isenção de deduções e impostos traria o maior impacto para os projetos, mas a possibilidade de utilização do regime de lucro presumido também teria impacto muito relevante. A elegibilidade ao subsídio Sudam / Sudene teria o menor impacto entre as três possibilidades, mas também tornaria os projetos significativamente mais competitivos.

Para analisar seu efeito na comparação entre as mesorregiões, o preço alvo de venda foi recalculado para todas as mesorregiões simulando um caso em que todas fossem elegíveis ao subsídio. O Gráfico 20 apresenta os resultados obtidos para esse caso.

Originalmente, a mesorregião mais competitiva era ES + BA, seguida de Oeste de MG e Pampa Gaúcho. Dessas, apenas a mesorregião Pampa Gaúcho não tinha elegibilidade. Com a aplicação do subsídio, essa mesorregião torna-se a mais competitiva entre todas. As mesorregiões Paraná e Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul, que não tinham subsídio originalmente, também passam a apresentar resultado mais competitivo que as mesorregiões ES + BA e Oeste de MG. Além disso, a mesorregião Serra Gaúcha, que apresentava o terceiro pior resultado sem a aplicação do subsídio, passa a superar outras 4 regiões. Assim, fica evidenciada a importância desse fator na competitividade relativa entre as mesorregiões e o efeito que uma política de subsídio em âmbito nacional causaria.

Gráfico 20 Preço alvo de venda da energia considerando elegibilidade universal ao subsídio Sudam / Sudene.



Fonte: elaboração própria a partir de (IEMA, 2017e)

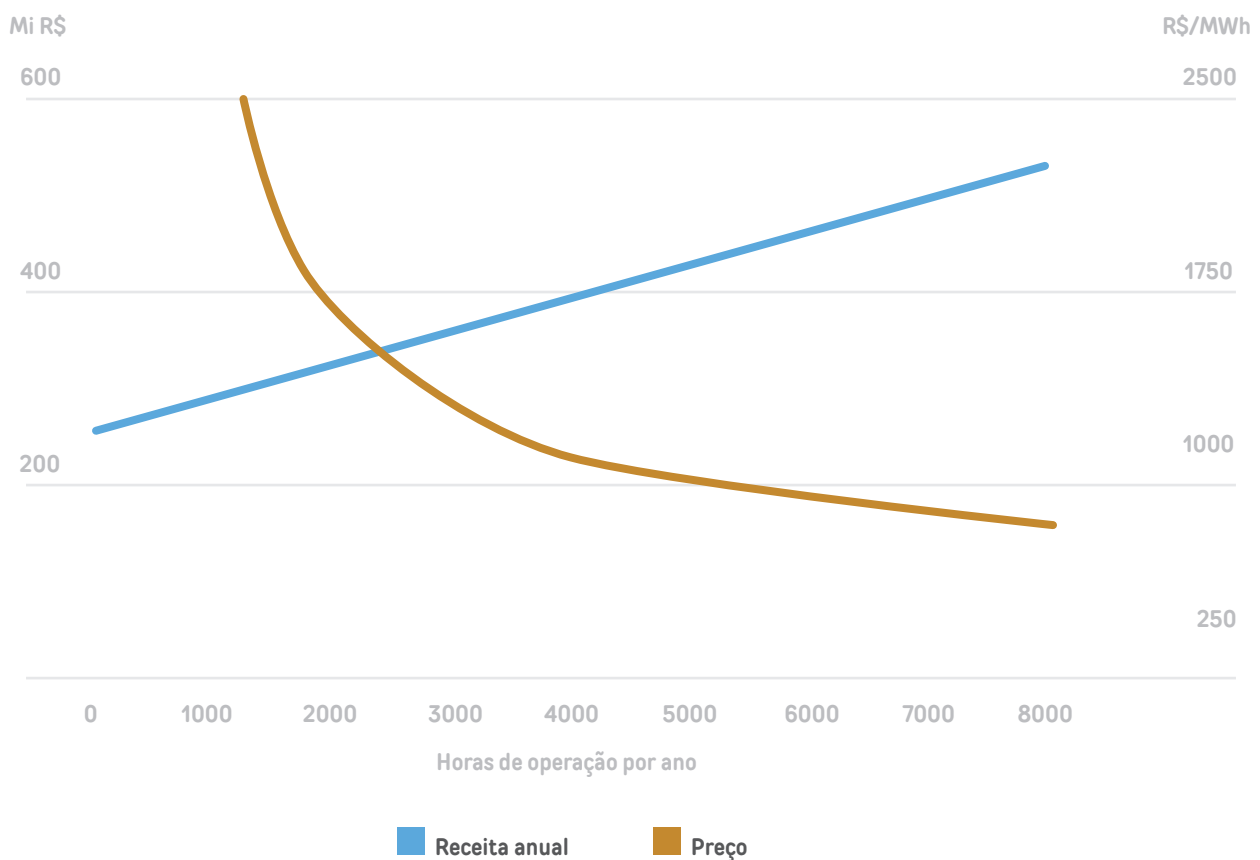
É importante notar que a ausência de um mercado de madeira consolidado em algumas regiões pode causar entraves para a contratação de madeira. Por um lado, as particularidades do setor florestal requerem contratos de venda que garantam que toda a madeira produzida seja comprada pelo gerador de energia, uma vez que não há mercado para vender o excedente da produção. Por outro lado, para o gerador, é interessante comprar apenas a quantidade de madeira que será utilizada na operação. Assim, caso seja necessário ao gerador operar por um tempo significativamente maior do que o esperado, pode haver um déficit no suprimento, levando a um impasse na contratação de madeira.

Outro fator que impacta significativamente o preço de venda da energia é o tempo anual de operação dos projetos. Esse parâmetro depende da inflexibilidade (tempo mínimo de operação) declarada e do nível de despacho da usina. O Gráfico 21 apresenta a variação da receita anual necessária e dos preços alvo de venda com o número de horas de operação por ano. Observa-se que, para uma termelétrica sem operar, a receita necessária é de cerca de R\$ 250 Mi, relacionada ao pagamento dos custos fixos, de investimento e de capital. Devido ao alto impacto desses custos, o preço alvo de venda é muito mais alto quando a termelétrica opera por menos tempo. Já para **tempos de operação maio-**

res, a receita aumenta mais significativamente do que os custos variáveis de operação, **reduzindo o preço alvo de venda**.

Essa queda dos preços com o aumento do tempo de operação, somada à necessidade de contratação de madeira com pouca flexibilidade, indicam que é mais vantajoso que esse tipo de termelétrica opere próximo do número máximo de horas por ano, com um **alto fator de capacidade**, explicitando um caráter de inflexibilidade da fonte.

Gráfico 21 Variação da receita anual e do preço de venda da energia de acordo com a operação anual.



Fonte: adaptado de (IEMA, 2017e)

6. Cenários para a biomassa dedicada

Finalizada a análise dos aspectos técnicos e econômicos da utilização de florestas energéticas, passamos nossa atenção para as perspectivas de mercado. Assim, nesta seção serão indicadas possibilidades para inserção de projetos baseados na biomassa dedicada no setor elétrico brasileiro e discutidos os seus potenciais impactos.

6.1 MODELOS DE NEGÓCIO

As possibilidades de modelos de negócio para os projetos foram concebidas levando em conta o fornecimento de madeira para a operação, com diferentes formas de comercialização da energia elétrica gerada. A Figura 3 apresenta um diagrama com os diferentes arranjos possíveis para o fornecimento de madeira.

No Modelo A, o investimento integrado, uma única entidade é responsável pelas atividades de produção de biomassa e geração de energia elétrica. Já no Modelo B, o investimento em geração, apenas

a atividade de geração de energia elétrica é internalizada, com aquisição de biomassa proveniente de um fornecedor externo. A internalização ou não da atividade de silvicultura propicia a existência de vantagens e desvantagens de um modelo de negócio em relação ao outro. A Tabela 9 apresenta as principais dessas características para cada modelo.

O IEMA mapeou as práticas internacionais a partir do levantamento de projetos mencionado anteriormente. Foi constatado que a maior parte dos projetos realiza apenas a geração de energia, comprando o combustível de produtores florestais. A utilização desse modelo em certas regiões do Brasil poderia ser dificultada pela falta de um mercado de madeira consolidado. O modelo integrado é empregado com menos frequência e ocorre principalmente na forma de associação entre empresas, em que uma delas possui a experiência na produção florestal, como empresas de papel e celulose, por exemplo, e a outra é uma empresa de geração de energia.

Figura 3 Diagrama com os modelos de negócio possíveis para o fornecimento de madeira.

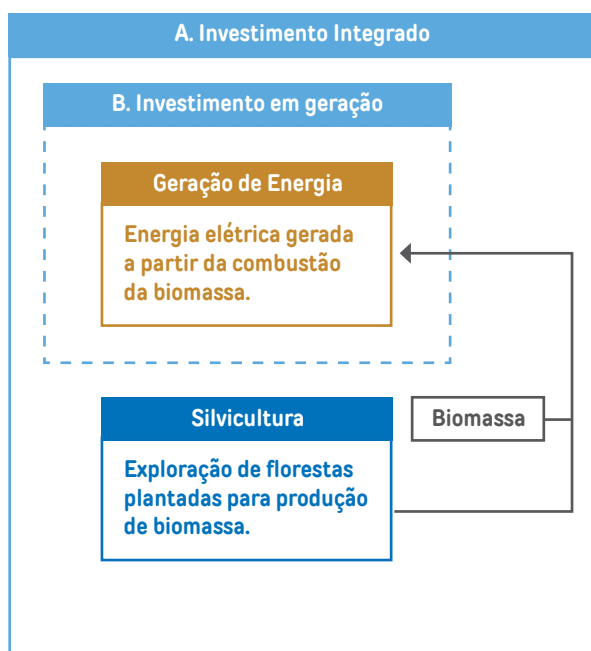


Tabela 9 Principais vantagens e desvantagens de cada modelo de negócio

| CARACTERÍSTICAS | A. INVESTIMENTO INTEGRADO | B. INVESTIMENTO SOMENTE EM GERAÇÃO |
|-----------------|--|--|
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> _ Segurança no suprimento de combustível _ Evita exposição ao mercado de madeira que é pouco consolidado _ Evita carga tributária pois não há venda da madeira _ Possíveis ganhos de eficiência logística | <ul style="list-style-type: none"> _ Maior proteção em relação aos riscos de produtividade do plantio _ Menor montante necessário para o investimento _ Menor quantidade de ativos imobilizados |
| Desvantagens | <ul style="list-style-type: none"> _ Montante de investimento mais alto _ Expertise necessária em ambos os setores _ Descasamento temporal entre aportes e obtenção de receitas devido ao prazo da primeira colheita _ Maior quantidade de capital imobilizado _ Necessidade de licenciamento ambiental separado para a atividade de silvicultura | <ul style="list-style-type: none"> _ Dependência com suprimento de biomassa _ Possível exposição ao mercado de madeira que pode ser pouco consolidado |

Riscos

Existem riscos em potencial relacionados às características da biomassa e de cada modelo que podem impactar na viabilidade dos projetos (RAUCH, 2016; UNEP, 2004). Eles devem ser considerados na fase de análise do investimento e podem influenciar as condições de financiamento disponibilizadas. A Tabela 10 apresenta os principais desses riscos e possíveis formas de mitigá-los.

Problemas relacionados à produção e/ou ao suprimento de biomassa representam alguns dos maiores riscos, uma vez que o combustível é o principal insumo para a atividade e possui o maior impacto na composição do preço alvo. Conforme já discu-

tido, a eventual falta de um mercado de madeira consolidado pode aumentar o risco de déficit no suprimento, o que por sua vez aumenta o risco do projeto ficar exposto ao preço da energia no mercado de curto prazo.

Por outro lado, conforme discutido no Capítulo 5, o consumo de madeira é responsável por cerca de 25% do preço de venda da energia. Assim, mesmo que exista um mercado disponível para aquisição da madeira, se o preço do combustível estiver acima do preço contratado em uma eventual necessidade de compra, pode haver impacto significativo no preço final da energia, mesmo que apenas uma parte da madeira seja comprada no mercado *spot*¹⁷.

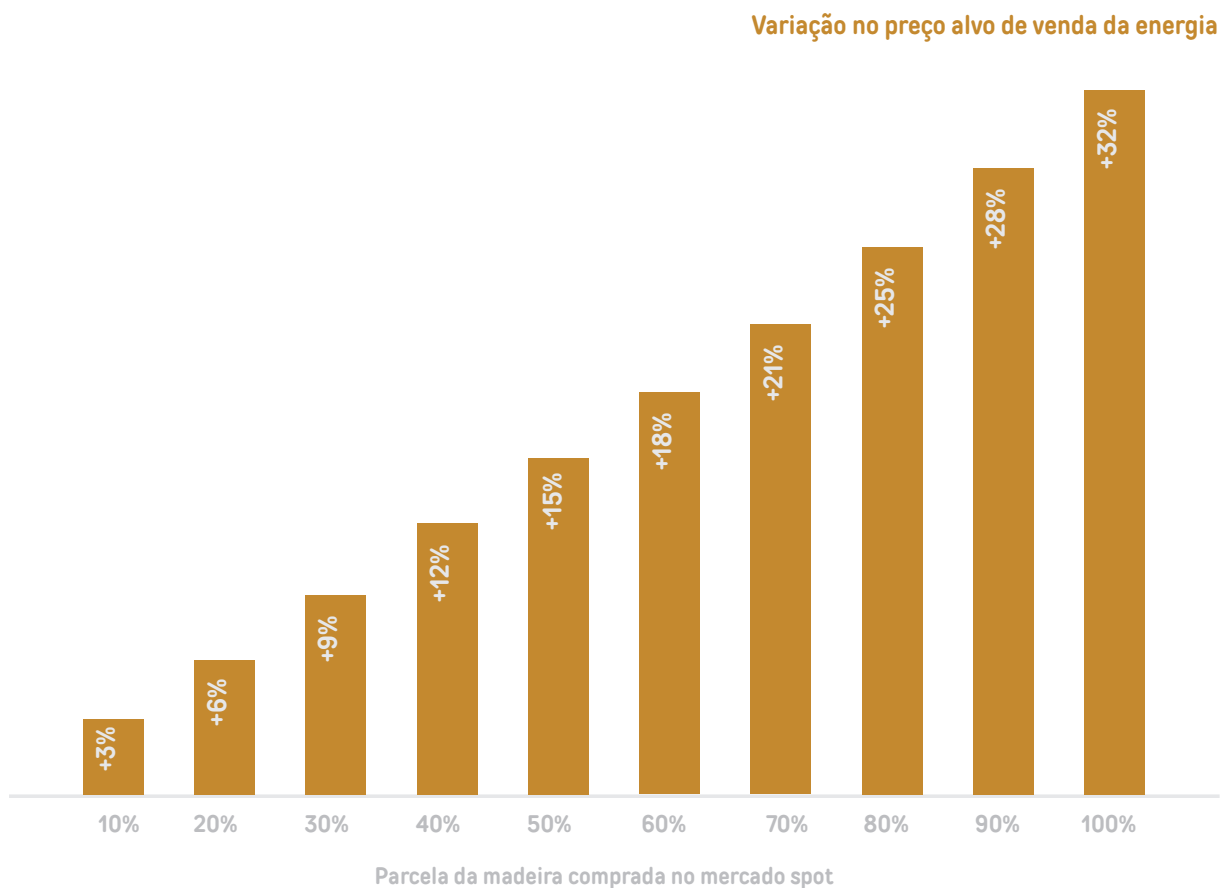
17 Utiliza-se o termo “spot” para se referir a negociações em que o pagamento é realizado à vista e a entrega da mercadoria é imediata.

Tabela 10 Potenciais riscos e formas de mitigação possíveis para cada modelo de negócio (Modelo A: integrado e Modelo B: somente geração)

| POTENCIAIS RISCOS | MODELO | | FORMAS DE MITIGAÇÃO |
|--|--------|---|--|
| | A | B | |
| <ul style="list-style-type: none"> _ Produtividade dos plantios abaixo do esperado. | x | - | <ul style="list-style-type: none"> _ Experiência no mercado florestal. _ Execução de estudos detalhados. _ Uso de espécies adequadas. _ Contratação de seguros de produtividade. |
| <ul style="list-style-type: none"> _ Produtividade dos plantios do fornecedor abaixo do esperado. _ Problemas logísticos. | - | x | <ul style="list-style-type: none"> _ Experiência no mercado florestal. _ Armazenamento de biomassa. _ Soluções logísticas cooperativas. _ Contratos de longo prazo. |
| <ul style="list-style-type: none"> _ Dificuldade de venda de eventual excedente de madeira produzido devido à falta de mercado. | x | - | <ul style="list-style-type: none"> _ Contrato com opção de venda para escoamento de eventual excedente. |
| <ul style="list-style-type: none"> _ Falta de fornecedores caso seja necessário comprar combustível além do contratado. | - | x | <ul style="list-style-type: none"> _ Contratos de abastecimento de madeira de longo prazo e/ou com opções. |
| <ul style="list-style-type: none"> _ Taxas de juros pouco competitivas. _ Limitação da parcela custeada pelos financiadores. _ Falta de opções para fornecimento de coberturas. | x | x | <ul style="list-style-type: none"> _ Experiência no mercado florestal e/ou de energia. _ Execução de estudos detalhados. _ Desenvolvimento de linha de crédito específica pelos bancos de desenvolvimento. _ Formas de financiamento adequadas. _ Formas alternativas de garantia. _ Contratos de longo prazo. |

O Gráfico 22 apresenta a variação do preço de venda da energia do projeto referência em função da parcela de madeira comprada no mercado *spot* ao dobro do preço original. Caso 50% da madeira fosse adquirida assim, haveria um aumento de 15% no preço de venda da energia. Os resultados seriam comparáveis em outras mesorregiões, uma vez que o consumo de madeira sempre representa parcela relevante do preço final da energia.

Gráfico 22 Variação do preço de venda da energia em função da parcela da madeira comprada no mercado *spot* a 2x o preço contratado.



Fonte: elaboração própria a partir de (IEMA, 2017e)

A falta de um mercado consolidado pode complicar tanto a venda de eventual excedente de madeira produzido quanto a compra de madeira no caso de operação acima do nível previsto ou déficit no suprimento. Além disso, essa situação pode influenciar a contratação da madeira no caso de investimento somente na geração, conforme já discutido.

Por outro lado, a existência de um mercado robusto de madeira poderia favorecer a **competitividade** da biomassa. Análises internacionais apontam que, apesar de haver espaço para a redução de custos

através da otimização da eficiência das usinas e do desenvolvimento de clones favoráveis à geração energética, o principal potencial está na **consolidação do comércio de combustível** (IEA, 2012; ALBANI et al, 2014). A comoditização do mercado de madeira, através do estabelecimento de padrões técnicos relativos à biomassa, seria uma forma de garantir o aproveitamento desse potencial, uma vez que permitiria custos de combustível mais estáveis, além da simplificação dos procedimentos logísticos de transporte e armazenamento, reduzindo esses custos.

Apesar de, como discutido anteriormente, projetos de grande porte permitirem maiores eficiências, a demanda por combustível é significativamente maior, portanto a escala do projeto também deve ser avaliada por esta ótica. A falta de uma **cadeia de fornecedores estabelecida** e a ausência de **infraestrutura de transporte** podem significar barreiras críticas (IEA, 2012; ALBANI et al, 2014), como citado no Capítulo 4.

As incertezas relacionadas ao fornecimento de madeira podem aumentar a percepção de risco dos financiadores em relação aos projetos. Assim, poderiam ser cobradas taxas mais altas ou haver limitação da proporção do projeto financiada. Isso teria implicações na competitividade dos projetos, conforme discutido no Capítulo 5.

A experiência internacional também atesta a importância das condições de financiamento para a competitividade da geração energética a biomassa. A participação de **subsídios** através do financiamento em bancos de desenvolvimento, justificados

pelos benefícios socioambientais da fonte, é apontada como um fator relevante na literatura, o que é confirmado pelo levantamento de projetos internacionais realizado pelo IEMA. Indica-se também que, uma vez que ocorra uma transição do nível de competitividade dos projetos, o auxílio financeiro pode deixar de ser necessário.

Mercados para comercialização da energia

Atualmente no mercado de energia brasileiro, existem três formas de comercialização de energia possíveis para os projetos de biomassa dedicada. A Tabela 11 apresenta as formas de comercialização possíveis e uma estimativa inicial dos mercados potenciais para cada uma até 2030 realizada pelo IEMA¹⁸.

A maior parte do potencial está no mercado de geração centralizada, mas sua realização depende de fatores relacionados ao planejamento do setor, mesmo assumindo que a demanda no sistema cresça conforme o esperado.

Tabela 11 Potencial de mercado e de investimento até 2030 para cada forma de comercialização.

| FORMA DE COMERCIALIZAÇÃO | DESCRIÇÃO | MERCADO POTENCIAL | INVESTIMENTO POTENCIAL |
|--|--|---|------------------------|
| Geração centralizada | Contratação em leilões com parcela de venda no Mercado Livre de Energia. | 11,6 GW | R\$ 130 bilhões |
| Contratação pelo Valor Anual de Referência Específico (VRES) | Contratação direta pela distribuidora com conexão à rede de distribuição. | 255 MW (25 projetos de 10 MW, por exemplo) | R\$ 2,9 bilhões |
| Micro ou minigeração | Geração em uma Unidade Consumidora com enquadramento na Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL. | 255 MW (51 projetos de 5 MW, por exemplo) | R\$ 8,5 bilhões |

Fonte: elaboração própria a partir de (EPE, 2017) e (IEMA, 2017e)

18 A metodologia utilizada para realizar as estimativas está apresentada no Anexo 4.

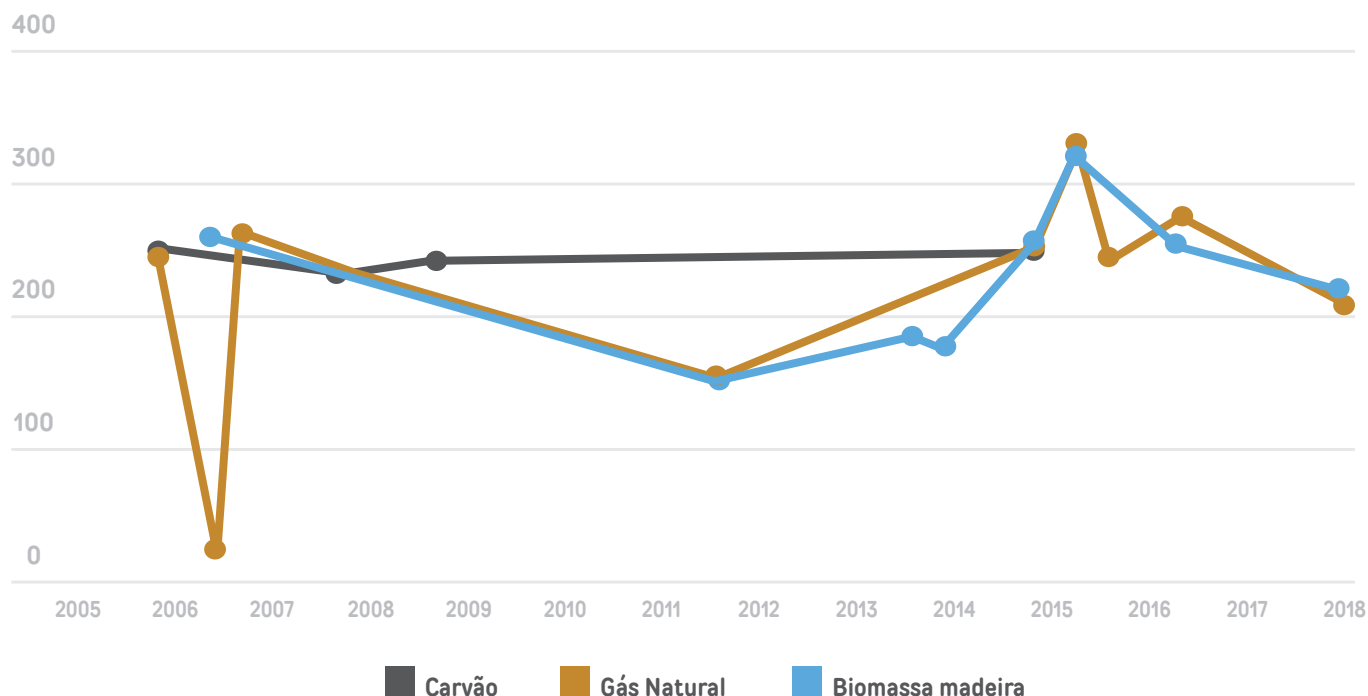
6.2 EXPERIÊNCIA NACIONAL

Na geração centralizada, o histórico do preço de venda da biomassa a cavaco de madeira ou resíduos florestais pode ser considerado competitivo quando comparado às outras fontes térmicas. Essa constatação está indicada no Gráfico 23, que apresenta a evolução dos preços médios de venda praticados nos leilões de energia nova (LEN), de reserva (LER) e de fontes alternativas (LFA) desde 2005 para termelétricas a carvão, gás natural e biomassa de cavaco de madeira e resíduos florestais. Pode-se observar que os preços para a biomassa seguem tendência semelhante aos preços para o gás natural.

Os resultados obtidos no modelo financeiro¹⁹ da produção de energia através de biomassa dedicada apontaram valores na faixa de R\$ 504 a 656 /MWh, revelando-se acima dos preços médios praticados nos leilões de energia. Entretanto, através do acompanhamento do desenvolvimento desses projetos, é possível identificar dificuldade em implementá-los. A Tabela 12 apresenta os 11 projetos de biomassa de cavaco ou resíduos de madeira já contratados em leilões de energia nova e de reserva, assim como a sua situação e probabilidade de entrada em operação. Entre eles, foram encontrados apenas 2 projetos em operação e 1 com probabilidade alta de entrada em operação.

Gráfico 23 Preços médios de venda da energia (atualizados pela inflação) em leilões de energia nova (LEN), de reserva (LER) e de fontes alternativas (LFA) para termelétricas a carvão, gás natural e biomassa (cavaco de madeira e resíduos florestais).

PREÇO MÉDIO ATUALIZADO (R\$/MWh)



Fonte: elaboração própria a partir de (CCEE, 2018)

¹⁹ A análise desses resultados é discutida com maior profundidade no relatório técnico “Estudo Econômico do Custo de Energia a partir de Madeira de Plantios de Eucalipto”. Este relatório e o modelo financeiro utilizado estão disponíveis em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-de-plantios-de-eucalipto>

A maior parte dos projetos encontra-se com atrasos em relação aos prazos estabelecidos ou teve a autorização de implementação revogada. A UTE Onça Pintada, por exemplo, precisou mudar a sua localização devido à complexidade de conexão à transmissão. Já a UTE Boltbah, que inicialmente seria construída na Bahia, teve seu projeto modificado para UTE Termoirapé, localizada no estado de Minas Gerais. Foram encontrados também entraves em relação ao financiamento dos projetos, como o caso da UTE Acre, cuja autorização foi revogada devido à falta de perspectiva em obter suporte financeiro²⁰.

Tabela 12 Projetos de termelétricas a biomassa de cavaco de madeira ou resíduos florestais contratados nos leilões de energia.

| PROJETO | POTÊNCIA (MW) | INFLEXIBILIDADE DECLARADA | SITUAÇÃO | PROBABILIDADE DE OPERAÇÃO |
|-----------------------------|---------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| CISFRAMA | 4,0 | 0,0% | - | - |
| GUAÇU | 30,0 | - | Em operação | N/A |
| CANTO DO BURITI | 150,0 | - | Autorização revogada | N/A |
| CAMPO GRANDE | 150,0 | 19,5% | Obras não iniciadas | Baixa |
| ERB CANDEIAS | 16,8 | 0,0% | Em operação | N/A |
| COSTA RICA I | 164,0 | 25,9% | Obras não iniciadas | Baixa |
| ACRE | 164,0 | 25,9% | Autorização revogada | N/A |
| TERMOIRAPÉ (ANTIGA BOLTBAH) | 50,0 | 0,0% | Obras não iniciadas | Média |
| ONÇA PINTADA | 50,0 | 15,9% | Obras não iniciadas | Média |
| PREDILECTA | 5,0 | 22,2% | Obras em andamento | Alta |
| CAMBARA | 50,0 | - | - | - |

Células não preenchidas correspondem a informações não encontradas.
Fonte: elaboração própria a partir de (ANEEL, 2018b).

20 As informações a respeito da situação das usinas foram encontradas em consultas a canais de notícias e podem ser conferidas em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53052232/aneel-revoga-autorizacao-de-termica-a-biomassa-no-acre>; <http://www.agepan.ms.gov.br/agepan-e-aneel-fiscalizam-usina-de-energia-em-implantacao-que-vai-gerar-50-mil-kw-em-ms/>; http://www.reunioes.semاد.mg.gov.br/down.asp?x_caminho=reunioes/sistema/arquivos/material/&x_nome=Item_8.1_-_PU_-_Myrtos__Gera%E7%E3o_de_Energia_S.A_-_UTE_Termoirap%E9.pdf

Como o preço de venda da energia nos leilões e os resultados de nossas análises diferem em magnitude elevada, poderia haver alguma incompatibilidade entre o levantamento de custos realizado e a consideração desses custos nos projetos vencedores dos leilões. As causas dessa incompatibilidade poderiam ser:

- » Valores subestimados na análise realizada pelos empreendedores
- » Valores superestimados na formação de custo desenvolvida: os custos apresentados aqui não consideram eventuais ganhos na fase de negociação, nem situações conjunturais do mercado (de equipamentos e/ou de madeira) que podem levar a preços mais baixos em certos casos.

Como as diferenças são significativas, pode-se avaliar que, além dessas duas hipóteses, talvez existam aspectos associados não capturados em nossas avaliações.

Os valores de investimento apresentados em nossa análise foram baseados em projetos reais (nacionais e internacionais) e validados com fornecedores. Seria natural, contudo, que houvessem diferenças, pois existem fatores de mercado que poderiam ter causado a incompatibilidade nos valores observados e que não foram incluídos em nossa análise, como por exemplo:

- » Utilização de outros combustíveis mais baratos que valem como “cavaco de madeira” além da madeira proveniente do corte tradicional.²¹
- » Retração da indústria siderúrgica, causando sobreoferta de madeira nas regiões onde o mercado é mais consolidado, como no estado de Minas Gerais, com consequente redução dos preços;

» Diminuição do mercado de celulose, levando à busca de outros mercados pelas empresas florestais, com ofertas a preço baixo para viabilizar primeiros negócios;

» Necessidade de manutenção da cadeia produtiva pelos fornecedores de equipamentos, facilitando a negociação de preços mais baixos.

O histórico de baixo desempenho desses projetos pode representar um obstáculo à expansão da biomassa dedicada, uma vez que eleva-se a percepção de risco desse tipo de empreendimento, tanto por parte dos agentes financiadores quanto por parte do planejamento do setor elétrico. A contratação atualmente prevista para a fonte indica a entrada de 100 MW por ano até 2026, segundo a última versão do Plano Decenal de Energia (PDE)²². Apesar de essa contratação ser bastante moderada, ela está adequada à realidade atual da biomassa dedicada, permitindo um melhor entendimento sobre as suas particularidades e o desempenho do projetos. Em cenários futuros, pode-se pensar em uma expansão mais intensa, que permita o aproveitamento do potencial da fonte.

Análise dos editais dos leilões

Outro ponto importante para a contratação dos projetos são as condições definidas nos editais dos leilões. A Tabela 13 apresenta as condições dos editais nos últimos cinco leilões que aceitaram inscrições de térmicas a biomassa. Em todos os leilões, os contratos seriam por disponibilidade²³ (prevendo receita fixa mais receita variável a depender do despacho) e os projetos poderiam declarar Custo Variável Unitário (CVU), usado para calcular a receita variável do projeto, nulo ou não.

21 Por exemplo, a queima dos tocos de madeira que continuam ligadas ao solo após o corte dos troncos poderia fazer sentido econômico para empresas florestais de grande porte.

22 A EPE elabora uma projeção indicativa da expansão da geração de eletricidade no Brasil que é apresentada no PDE, cuja última versão é o PDE 2026. Nesse documento, estão previstos os crescimentos anuais para a capacidade instalada no sistema até 2026, tanto para geração centralizada quanto para geração distribuída.

23 Existem duas possibilidades: no produto quantidade, o gerador deve entregar montantes fixos de energia, enquanto no produto disponibilidade a operação depende do despacho.

Tabela 13 Condições dos editais nos últimos leilões com participação de termelétricas a biomassa.

| LEILÃO | INFLEXIBILIDADE ²³ MÁXIMA CASO CVU ≠ 0 | MÍNIMO DE CONTRATAÇÃO NO ACR | PRODUTO DISPUTADO POR PROJETOS DE BIOMASSA | SISTEMÁTICA SIMPLIFICADA |
|--|---|------------------------------------|--|--|
| 22º LEN (A-3 de 2015) | 50% para GN | 70% | Biomassa e Gás Natural | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa inicial com classificação e distinção por fonte _ Etapa uniforme _ Etapa discriminatória |
| 23º LEN (A-5 de 2016) | 50% | 70% | Biomassa e Carvão | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa uniforme _ Etapa discriminatória |
| 25º LEN (A-4 de 2017) | 50% | 30% | Biomassa | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa inicial com classificação sem distinção por fonte _ Etapa contínua |
| 26º LEN (A-6 de 2017) | 50% | 30% | Biomassa e Carvão | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa inicial sem classificação _ Etapa contínua |
| 27º LEN (A-4 de 2018) | 50% | 30% | Biomassa | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa inicial com classificação sem distinção por fonte _ Etapa contínua |
| 28º LEN ²³ (A-6 de 2018) | Ainda não informado | Ainda não informado | Biomassa, Carvão e Gás Natural | <ul style="list-style-type: none"> _ Etapa inicial sem classificação _ Etapa contínua _ Etapa de ratificação |

* Este leilão ainda não havia sido realizado durante a elaboração deste Relatório.

Fonte: elaboração própria a partir de (ANEEL, 2018a)

A inflexibilidade para projetos de biomassa com CVU ≠ 0 é limitada a 50% da geração contratada nos 4 últimos leilões já realizados. Isso dificulta a garantia de operação com fator de capacidade alto, que seria importante para o suprimento de madeira conforme já discutido e pelo aumento de competitividade. Uma forma de superar esse problema seria declarar CVU nulo, que permitiria a geração de energia em níveis definidos previamente, evitando a situação de nível de operação acima do esperado.

Em geral, usinas a bagaço de cana usam essa estratégia, uma vez que operam em cogeração e a produção de energia está relacionada a outros processos cujo nível de operação varia ao longo do ano.

No entanto, essa estratégia pode não ser efetiva devido aos elevados custos variáveis associados ao combustível florestal. Além disso, ao declarar CVU nulo o empreendedor termelétrico buscará recuperar todos os seus custos, tanto fixos quanto va-

24 A inflexibilidade é a parcela da geração que o projeto exige entregar independentemente do despacho econômico do operador devido à necessidade de consumir um mínimo de combustível, por exemplo.

riáveis, apenas na parcela de renda fixa que compõe o índice de custo benefício (ICB)²⁵. Isso certamente implicaria em perda de competitividade no certame.

Nesse sentido, há evidências que reforçam o argumento de que a forma mais adequada para estes projetos participarem dos leilões seria disputando um produto de entrega de energia por quantidade. No caso desse produto, os resultados apontam que o melhor cenário para biomassa dedicada seria uma disputa com outras termelétricas, uma vez que há indicações de que o nível de competitividade entre essas usinas seria semelhante. Vale mencionar que a criação de um produto quantidade termelétrica possibilitaria ainda a utilização de usinas a biomassa para poupar os reservatórios de hidrelétricas que, por sua vez, poderiam ser usados para compensar a intermitência das fontes solar e eólica, principalmente no horário de pico.

Também destacamos a tendência de diminuição da parcela mínima contratada no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) de 70% para 30%. A possibilidade de vender maior parcela de geração fora do ACR, por meio de contratos bilaterais, pode aumentar a viabilidade dos projetos, uma vez que esses contratos podem prever entrega mínima de energia além do limite da inflexibilidade (formato *take or pay*), garantindo operação com maior fator de capacidade.

Em geral, os últimos leilões têm aplicado sistemática composta por duas etapas: uma etapa inicial e uma etapa contínua²⁶. Todos os lances efetuados em qualquer das etapas são considerados irrevogáveis.

A etapa de lances iniciais com classificação pode ser uma barreira para empreendimentos de biomassa dedicada caso eles fiquem de fora do limite de capacidade do SIN nessa etapa, impedindo sua participação na etapa contínua em que os lances são dinâmicos.

Na etapa contínua, todas as fontes térmicas podem disputar um mesmo produto, dependendo do edital do leilão, conforme apresentado na Tabela 13. Nesse caso, a concorrência com outras térmicas, principalmente a gás natural, pode inibir a participação de projetos de biomassa dedicada, uma vez que, na contratação por disponibilidade, os preços dessa fonte não seriam competitivos com os das usinas a gás natural, devido ao grande porte dos projetos, segundo nossas análises.

Situações como a crescente participação de grandes usinas a gás natural liquefeito (GNL), por exemplo, podem causar oferta muito maior que a demanda, sendo que uma única usina dessa tecnologia já pode causar sobreoferta. Pelas regras dos últimos editais, toda a capacidade do empreendimento marginal é contratada. Assim, é possível que seja contratado muito além da quantidade original demandada no leilão e a quantidade que seria contratada em um próximo leilão pode ser reduzida ou ele pode até ser inviabilizado, comprometendo o mercado potencial disponível para a biomassa dedicada.²⁷

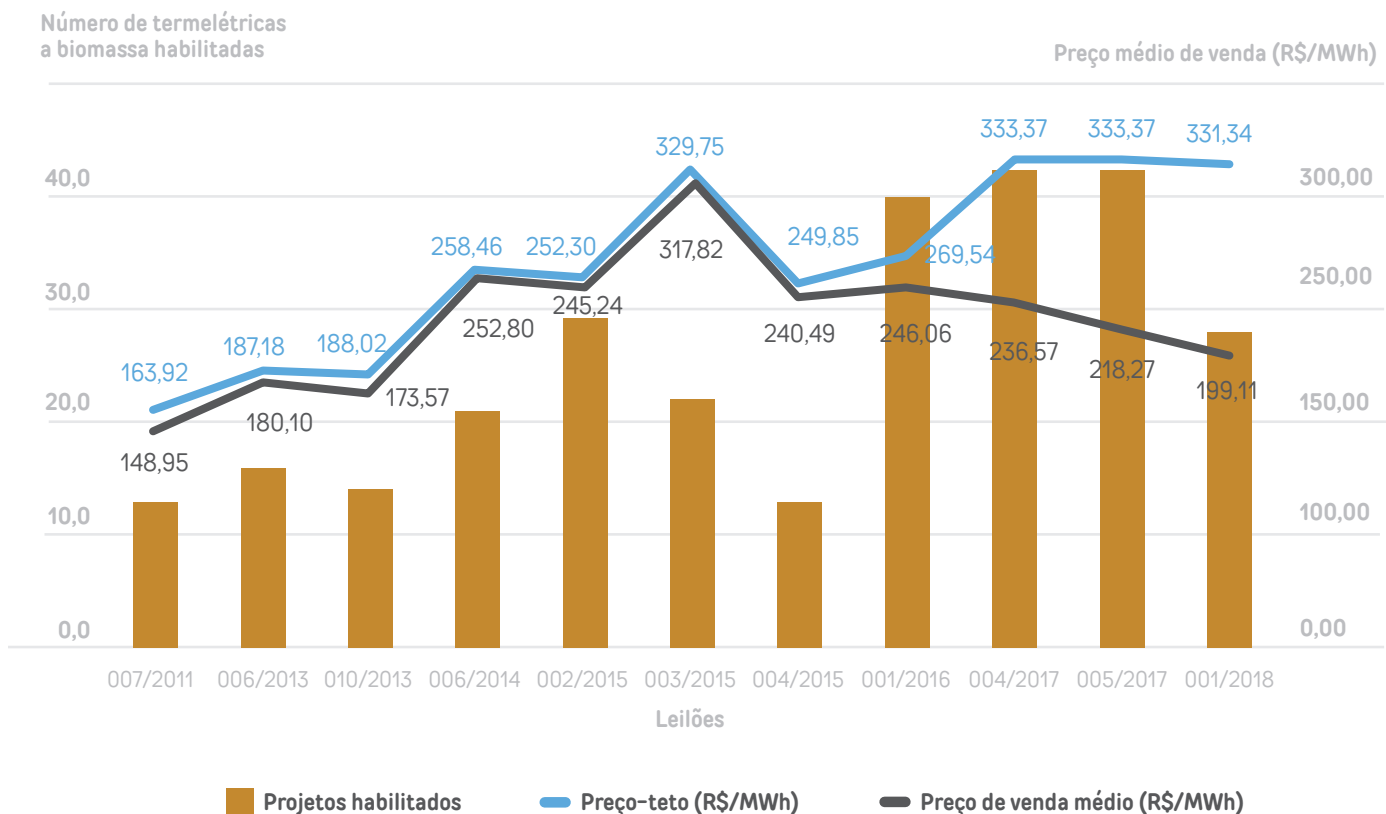
Em relação ao preços-teto, a análise dos históricos dos leilões mostra que, nos últimos anos, houve uma elevação desses preços nos editais. Essa tendência é relevante porque a definição de preços-teto mais altos pode atrair um maior número de investidores, aumentando a competição entre os projetos e, consequentemente, levando a menores preços médios de venda e maiores deságios. Esses resultados podem ser observados no Gráfico 23, que apresenta os preços-teto para biomassa nos últimos leilões de energia nova, de energia de reserva e de fontes alternativas, assim como o número de projetos habilitados a participar do leilão e o preço médio de venda. Observa-se que, a partir de 2016, ocorre uma elevação dos preços-teto, acompanhada de um aumento na participação de projetos e de uma redução nos preços médios de venda.

25 Este é o valor usado para classificar os projetos no leilão. Além dos custos fixos, ele leva em conta os custos de operação e eventuais custos econômicos de curto prazo.

26 O funcionamento dessas etapas está descrito no Anexo 2.

27 As regras do próximo leilão, o 28º LEN (A-6 de 2018), incluem mecanismos para lidar com esse problema de sobreoferta. Será contratado no máximo o suficiente para completar a quantidade demandada, ou seja, não há garantia de contratação total do empreendimento marginal. Em vez disso, ocorrerá uma etapa de ratificação adicional, na qual o empreendimento marginal terá a opção de aceitar eventual nível menor de contratação ou de retirar o seu lance.

Gráfico 24 Preço-teto, número de projetos habilitados a participar do leilão e preço médio de venda para biomassa nos últimos leilões.



Fonte: elaboração própria a partir de (CCEE, 2018)

Vale destacar, entretanto, que essa redução dos preços de contratação da energia pode não significar efetivamente uma vantagem para a biomassa dedicada, uma vez que o acompanhamento dos projetos contratados revelou dificuldades em implementá-los.

6.3 INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS

A biomassa dedicada apresenta características que a diferenciam das demais fontes térmicas, possibilitando a geração de externalidades positivas a partir da sua implementação.

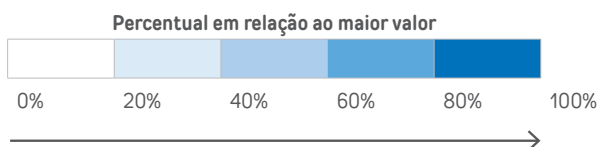
Assim, foram utilizados indicadores socioambientais para comparar a biomassa dedicada com outras fontes térmicas, de forma a observar as potenciais vantagens e desvantagens dessa fonte. A Tabela 14 apresenta valores médios e a intensidade relativa para os indicadores que representam os principais impactos socioambientais de usinas termelétricas²⁸.

A comparação entre esses indicadores para usinas termelétricas se torna especialmente importante se considerarmos a crescente expansão do parque

28 A metodologia utilizada para construir a tabela e uma análise mais detalhada dos indicadores para todas as fontes consideradas pode ser encontrada no Anexo 3.

Tabela 14 Indicadores socioambientais para as fontes usadas em usinas termelétricas.

| Fonte energética | Uso de água (m³/MWh) | | Emissão de GEE (tCO2eq/MWh) | Emissão de poluentes locais (kg/MWh) | | | | Geração de empregos (Postos/MW) | Área transformada (m²/MWh) |
|-------------------|----------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------|----------------------------|
| | Captação | Consumo | | NOx | SOx | MP10 | MP2.5 | | |
| Biomassa dedicada | 4,5 – 5,5 | 4,5 – 5,5 | 0,04 – 0,36 | 0,5 – 1,9 | 0,1 – 0,2 | 0,9 – 3,7 | 0,8 – 3,2 | 118 – 278 | 706 – 1017 |
| Carvão | 1,8 – 4,5 | 1,3 – 4,5 | 0,88 – 1,13 | 0,1 – 6,2 | 3,6 – 54 | 0 – 2,2 | 0 – 1,0 | 53 – 177 | 0,2 – 5,9 |
| Gás Natural | 0,6 – 1,9 | 0,4 – 1,4 | 0,42 – 0,55 | 0,2 – 0,6 | - | - | - | 37 – 116 | 0,4 – 0,5 |
| Nuclear | 92 – 228 | 0,4 – 1,5 | 0,01 – 0,05 | - | - | - | - | 36 – 77 | 0,02 – 0,3 |



Fontes: IEMA (2017b), Meldrum et al. (2013), Macknick et al (2012), Fthenakis & Kim (2009). IPCC (2011). European Environment Agency (2016). Barros et al. (2017). UNCDD e IRENA (2017), Trainor et al. (2016), Cheng & Hammond (2014), Gagnon et al. (2002).

termelétrico no país. Essa tendência, atribuída ao aumento de participação de fontes renováveis intermitentes no sistema e à diminuição da instalação de hidrelétricas com reservatório, pode levar ao agravamento dos impactos socioambientais de usinas termelétricas e, por isso, deve ser discutida (IEMA, 2018).

Da análise desses indicadores, podemos concluir que a biomassa dedicada tem potencial superior às demais fontes térmicas na redução das emissões de GEE, na geração de empregos e na recuperação e reflorestamento de áreas. Entretanto, destacam-se os impactos no consumo de água e nas emissões de material particulado.

As usinas a carvão apresentam o maior impacto quanto às emissões de GEE, de NO_x e de SO_x. Por esses motivos, a sua utilização tem sido debatida, sendo que o BNDES chegou a anunciar que não financiará mais projetos dessa fonte.

Já a geração nuclear não causa emissões, mas requer alta disponibilidade hídrica e altos níveis de

segurança, além da opinião pública negativa devido aos acidentes ocorridos em outros países e à pouca experiência e atrasos ocorridos no histórico brasileiro.

O gás natural apresenta níveis de emissões baixos e depende de tecnologias bem estabelecidas, mas não inclui os benefícios de geração de empregos e recuperação de terras trazidos pela biomassa dedicada.

Assim, dependendo do nível de adoção, a biomassa dedicada poderia não somente ser importante para atender às necessidades do setor elétrico, mas também contribuir significativamente para que o país atinja seus objetivos estabelecidos no Acordo de Paris. Porém, para garantir a realização desse potencial, será necessária a exigência de certificação do manejo florestal, além de uma atuação no sentido de mitigar os impactos no consumo de água e nas emissões de material particulado.

6.4 PROJEÇÃO DE CENÁRIOS ATÉ 2030

Com o objetivo de avaliar os potenciais impactos da adoção da biomassa dedicada, foram projetados diferentes cenários²⁹ de expansão da capacidade instalada dessa fonte até 2030.

Os 4 cenários projetados pelo IEMA foram os seguintes:

» Caso 1: contratação de biomassa dedicada de acordo com o previsto no **Plano Decenal de Energia (PDE) 2026** (extrapolado até 2030);

» Caso 2: **toda biomassa prevista** no PDE 2026 é contratada como biomassa dedicada, com **aumento gradativo** da contratação anual **a partir de 2026** (100 MW a mais a cada ano);

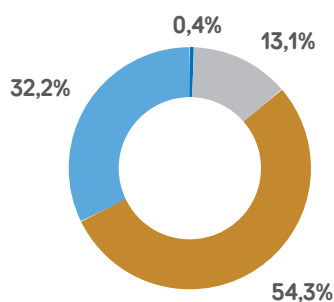
» Caso 3: contratação de biomassa dedicada igual ao Caso 2, com contratação adicional para **substituição de térmicas a carvão** ao término da contratação ou autorização atual dessas usinas;

» Caso 4: contratação de biomassa dedicada com entrada de **1 GW/ano a partir de 2022** (conforme possibilidade indicada pelo setor florestal) e **substituição de térmicas a carvão** ao fim de seus contratos.

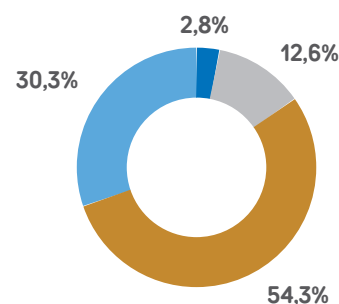
A Figura 4 apresenta a matriz elétrica em 2030 resultante para cada caso.

Figura 4 Matriz elétrica em 2030 para cada caso.

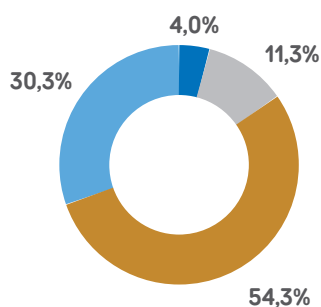
Capacidade instalada em 2030 | Caso 1



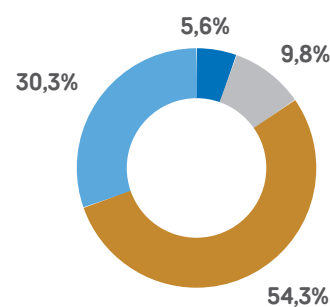
Capacidade instalada em 2030 | Caso 2



Capacidade instalada em 2030 | Caso 3



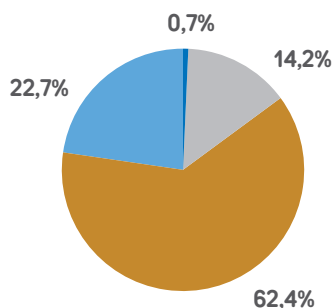
Capacidade instalada em 2030 | Caso 4



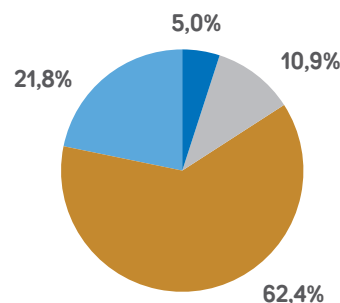
■ Biomassa dedicada ■ Não-renováveis ■ Hidrelétrica ■ Outras renováveis

29 A metodologia usada para realizar as projeções está apresentada no Anexo 4.

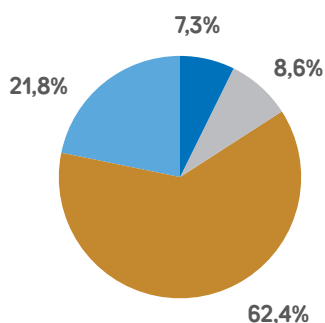
Geração de Eletricidade em 2030 | Caso 1



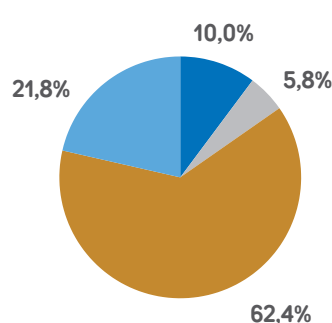
Geração de Eletricidade em 2030 | Caso 2



Geração de Eletricidade em 2030 | Caso 3



Geração de Eletricidade em 2030 | Caso 4



■ Biomassa dedicada ■ Não-renováveis ■ Hidrelétrica ■ Outras renováveis

Mesmo no Caso 1, baseado no PDE 2026, o Brasil já alcança o objetivo estabelecido pela NDC de 23% da geração de energia proveniente de fontes renováveis não hídricas em 2030. Contudo, o aumento da capacidade de biomassa dedicada no lugar de outras térmicas leva a uma participação ainda maior das renováveis, alcançando 31,8% de participação no Caso 4, com 10% de contribuição da biomassa dedicada. Destacamos que, do Caso 1 para o 2, a participação das “Outras renováveis” diminui, pois a parcela que seria adicionada de biomassa em geral passa a ser reservada para a biomassa dedicada.

No Caso 2, a biomassa dedicada também já passa a ser responsável por parcela significativa da energia elétrica gerada no SIN, com 5% do total. Com o crescimento da capacidade instalada, essa parcela poderia chegar até 10% da energia gerada no Caso 4.

Além da matriz elétrica, também foram projetados para cada caso os impactos nos indicadores de emissão de GEE na operação e de área total transformada, que se relacionam aos objetivos da NDC firmada pelo Brasil.³⁰

30 Projeções para a expansão anual da capacidade, a geração de empregos diretos e o investimento necessário podem ser encontradas no Anexo 4.

Considerando a biomassa dedicada como uma fonte neutra em emissões de carbono durante a operação, foi projetado o montante de emissões que seria evitado com a sua implementação. Para realizar essa estimativa foi utilizado o fator de emissão de CO₂ médio do SIN em 2017, que foi de 0,09 tCO₂_e/MWh (MCTIC, 2018). O Gráfico 25 apresenta a evolução das emissões evitadas até 2030 e o total acumulado no período.

No caso das emissões de GEE evitadas, o incremento anual pode ser interpretado como um “fator de emissões evitadas” (em MtCO₂_e/ano), ou seja, o montante que seria evitado anualmente pela operação da respectiva capacidade instalada de biomassa dedicada. Em nossas projeções, esse

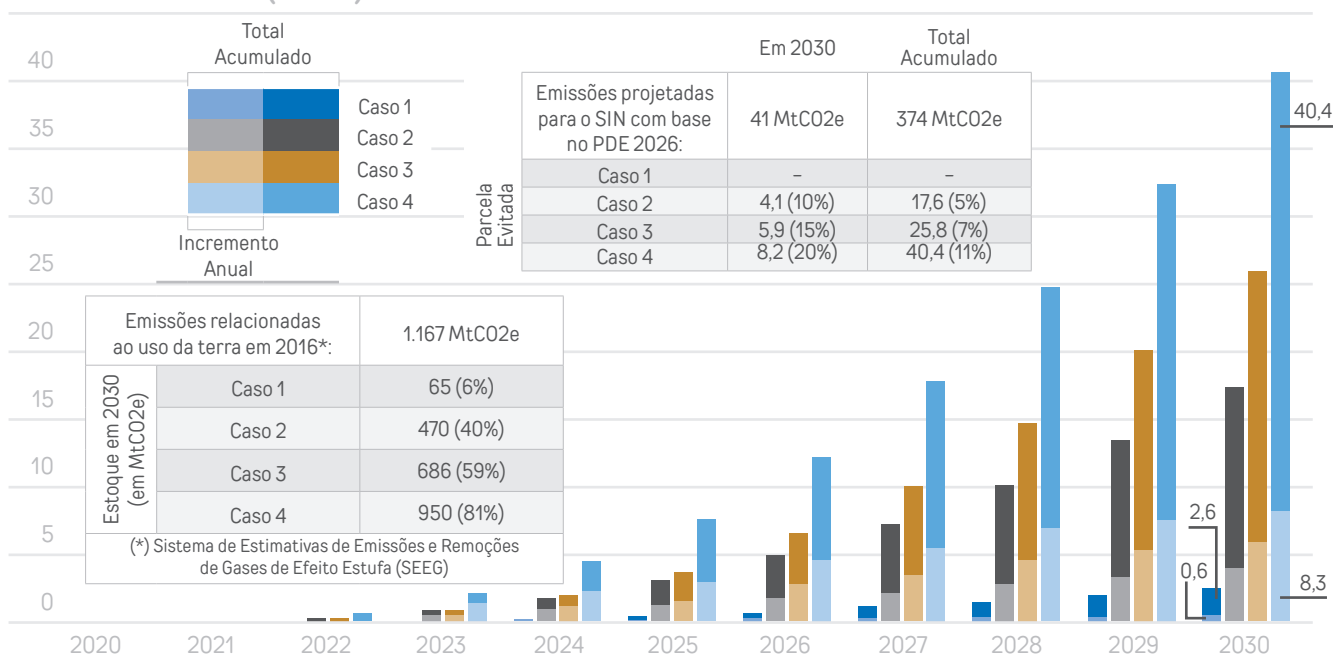
fator de emissões evitadas cresce a cada ano, pois a capacidade instalada da fonte também cresce.

Deve-se atentar para o fato de que a projeção de emissões presente no PDE já leva em conta o que seria evitado pela entrada de biomassa dedicada prevista no Caso 1.

A partir da análise dessa projeção, podemos observar que a biomassa dedicada teria o potencial de evitar até 8,3 MtCO₂_e em 2030, equivalente a quase um quinto das emissões no SIN esperadas para esse ano, seguindo a tendência do PDE 2026. Além disso, ao longo do período estudado, poderiam ser evitados um total de 40,4 MtCO₂_e ou 10,8% do previsto.

Gráfico 25 Evolução das emissões evitadas pela operação das usinas a biomassa dedicada para cada cenário

Emissões de GEE evitadas (MtCO₂_e)



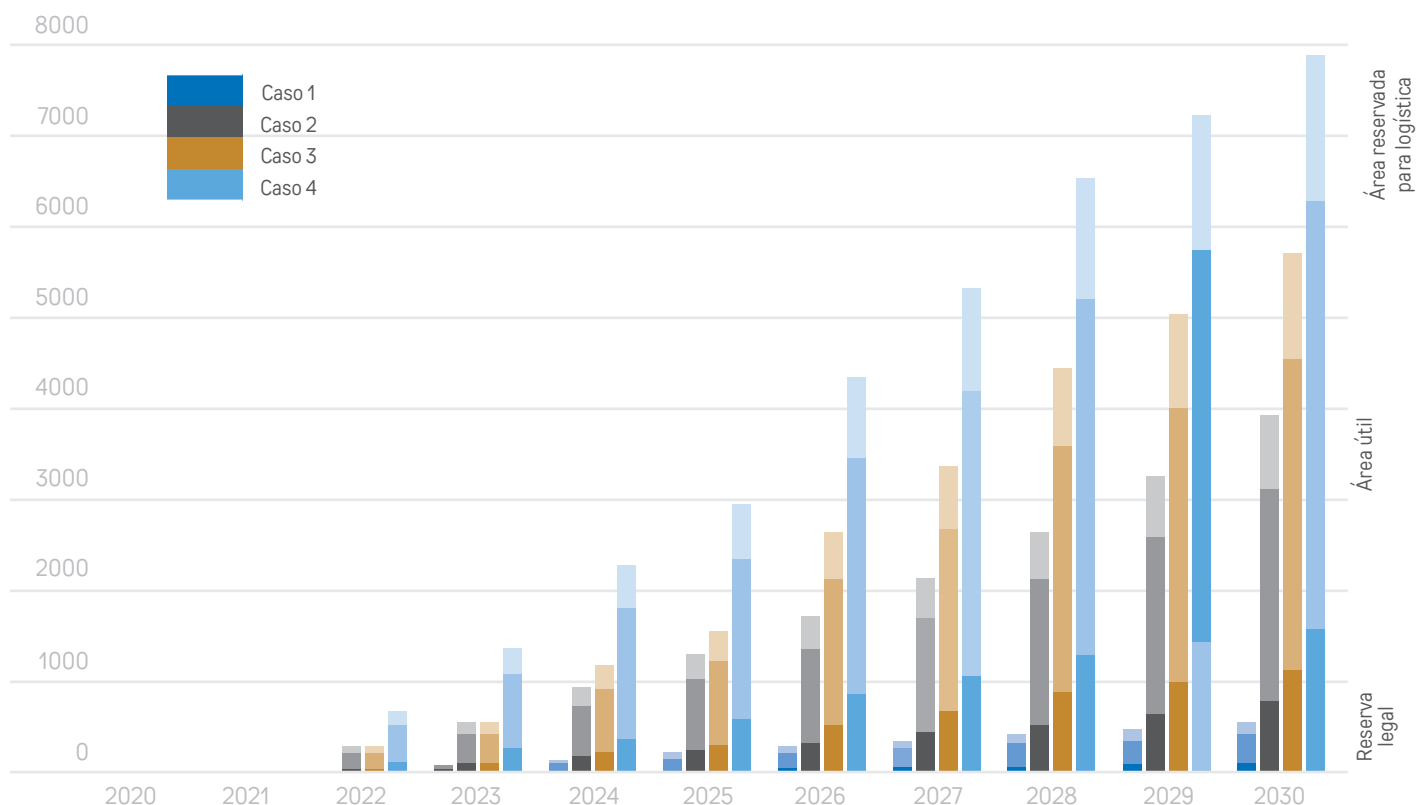
O IEMA também calculou qual seria o estoque de carbono em florestas plantadas no final do período para cada cenário³¹. No Caso 1, esse estoque seria de 65,2 MtCO₂e, o correspondente a 5,6% das emissões relacionadas ao uso da terra no Brasil em 2016. Já no Caso 4, ele seria de 949,5 MtCO₂e, mais de 14 vezes maior.

O consumo de madeira para geração de energia demandaria que determinada área do território

nacional fosse explorada para o plantio. A magnitude da área necessária depende das produtividades dos plantios e do consumo anual de madeira das usinas, que depende de sua eficiência. Assim, foram projetados valores médios para a área total transformada a partir das produtividades regionais e eficiências possíveis. O Gráfico 26 apresenta a evolução da área necessária para cada caso.

Gráfico 26

Evolução da área total transformada em cada cenário



31 A partir de dados de carbono estocado por unidade de área plantada (em MtCO₂e/ha) fornecidos pelo setor florestal e da área plantada média necessária para atender à demanda por madeira.

A área total transformada é composta por três parcelas:

- » Área útil: área produtiva, efetivamente ocupada pelos plantios de eucalipto, que corresponde a 60% do total;
- » Reserva legal: área mantida com cobertura de vegetação nativa, requerida para todo imóvel rural de acordo com a Lei 12.651/2012, que deve corresponder a no mínimo 20% do total³²;
- » Área para logística: área reservada para estradas, construções de apoio, etc., fixada em 20% do total em nossa estimativa.

No caso de menor penetração da biomassa dedicada, apenas 544 mil hectares são transformados, mesmo incluindo as três parcelas de impacto. No caso de expansão mais intensiva, 4,7 milhões de hectares seriam utilizados como área útil para o plantio de eucalipto, o que corresponderia a mais de um terço da meta de restauração e reflorestamento de áreas prevista na NDC brasileira. Se considerarmos também a área mínima de Reserva legal associada aos empreendimentos, chegaríamos a uma área de 6,3 milhões de hectares, correspondente a 52,8% da meta.

Em resumo, as projeções aqui apresentadas mostram que a biomassa dedicada poderia, em 2030:

- » contribuir com **11,65 GW**, equivalentes a 5,6% da capacidade do sistema e 10% da geração de energia;
- » evitar a emissão de **8,3 MtCO₂e**, equivalentes a 20,2% das emissões no SIN esperadas para esse ano, além de mitigar as emissões de **40 MtCO₂e** apenas no setor elétrico;
- » ocupar **6,3 milhões de hectares**, dos quais **1,6 Mha** seriam áreas de Reserva Legal, garantindo 52,8% da medida referenciada na NDC brasileira em relação à recuperação de áreas;
- » formar um estoque de carbono correspondente a mais de **23 vezes** as emissões do sistema interligado;
- » alavancar **130 bilhões de reais** em investimentos na indústria nacional, levando à geração de até **2,3 milhões de empregos** diretos com potencial de desenvolvimento das regiões do interior do país (vide Anexo 4).

Assim, concluímos que a biomassa dedicada possui um potencial significativo de contribuição ao compromisso estabelecido na NDC brasileira. A exploração desse potencial depende da articulação entre os *stakeholders*, da utilização de boas práticas e da consideração dos benefícios vinculados à fonte frente aos custos relacionados à sua implementação. Uma avaliação mais aprofundada dessa alternativa pode, portanto, ter um papel estratégico no planejamento do setor elétrico brasileiro.

32 A Lei 12.651/2012, conhecida como novo “Código Florestal”, define que a área de reserva legal deve ser de no mínimo 80% do total em empreendimentos na Amazônia, 35% para aqueles no Cerrado e 20% nas demais localidades.

7. Conclusões e recomendações

Ao longo deste relatório, procurou-se evidenciar o potencial que a geração de energia através de biomassa dedicada pode apresentar. Para isso, foram investigados os custos relacionados a essa atividade, assim como os principais desafios à sua implementação e os co-benefícios vinculados à fonte.

A característica inflexível dos projetos, reforçada pelas condições de contratação do setor florestal e pela ausência de mercados maduros de compra e venda de madeira em algumas regiões do país, evidencia que ainda será necessário identificar novas alternativas de contratação para esses projetos. Além disso, a incompatibilidade entre os preços obtidos neste estudo e nos projetos que participaram de leilões de energia indica um ponto a ser melhor analisado.

Apesar disso, é pertinente aprofundar a avaliação de possibilidades de implementação desta fonte, levando em conta seu potencial de atender às necessidades do setor elétrico e, ao mesmo tempo, contribuir com a mitigação de emissões de GEE e a recuperação de áreas degradadas. Assim, a sua implementação pode ser estratégica para o atingimento dos objetivos estabelecidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, conforme discutido nos Capítulos 1 e 6.

Uma prática que poderia contribuir para uma valorização adequada dos atributos apresentados e que impactaria diretamente na viabilidade econômica dos empreendimentos seria precificar os benefícios externos atrelados à sua operação. Entre todos os benefícios citados, a precificação das emissões de GEE talvez seja a opção mais factível³³.

O impacto da precificação do carbono no projeto referência (vide Anexo 1) foi estimado considerando que o preço³⁴ praticado seria de 50 USD/

tCO₂e, apontado por estudo elaborado pelo IDDRI (2015) como o necessário para alcançar a meta nacional de 43% de redução nas emissões até 2030. Com esse preço, usinas a biomassa dedicada poderiam ser beneficiadas com o equivalente a 17 R\$/MWh, que corresponderia a 3% do preço da energia. Caso o preço do carbono chegasse a 80 USD/tCO₂e, seria possível gerar um benefício de 27 R\$/MWh, ou 5% do preço da energia. Este mecanismo de precificação poderia favorecer o desenvolvimento de projetos de biomassa dedicada.

Além disso, existem tópicos críticos onde determinadas medidas ou considerações poderiam impactar na viabilidade da implementação da biomassa dedicada. Conforme discutido ao longo deste documento, alguns dos principais pontos de atenção são:

» Harmonização entre o setor elétrico e o florestal: a busca por condições para acomodar as restrições de cada setor discutidas ao longo do texto são essenciais para garantir a viabilidade da biomassa dedicada, ainda que sua implementação supra necessidades de ambos os setores ao criar mercado para a madeira e fornecer confiabilidade com baixo impacto socioambiental para o sistema elétrico.

» Consolidação do mercado de madeira: o estabelecimento de mercados maduros de compra e venda de madeira apresenta potencial significativo de redução dos custos da biomassa, principalmente para as mesorregiões onde esse insumo é mais caro. A comoditização desse produto poderia potencializar ainda mais esses ganhos de competitividade. Assim, medidas de incentivo à padronização da atividade e dos parâmetros da madeira em âmbito nacional poderiam favorecer a implementação da biomassa dedicada, além de fomentar o desenvolvimento das regiões do interior. Além disso, um mercado consolidado também favoreceria a dissolução do impasse entre o setor florestal e o setor elétrico sobre as con-

33 Sistemas de comércio de emissões ou mercados de carbono permitem a troca de certificados de emissões entre os agentes. Dessa forma, os custos da redução das emissões podem ser otimizados para a economia como um todo, uma vez que a possibilidade de transferência dos certificados favorece que as reduções ocorram onde o custo seja menor (UNDP, 2016). Existem mercados desse tipo operando nos EUA, na Europa, na China e outros países, enquanto no Brasil a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei n. 12.187/2009) prevê a instauração do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões, que ainda não foi implementado.

34 A maior parte dos mercados de carbono ao redor do mundo empregam, atualmente, valores abaixo de 10 USD/tCO₂e. Entretanto, estudos estimam que seriam necessários preços entre 40 e 80 USD/tCO₂e para atingir as metas do Acordo de Paris (WORLD BANK, 2018). Taxa de conversão utilizada: 3,71 BRL/USD em 25/07/2018.

dições de contratação da madeira, uma vez que reduz a necessidade de estabelecer contratos inflexíveis.

» Planejamento do setor elétrico: as características da fonte evidenciaram a necessidade de se explorar novas formas de contratação para a biomassa dedicada. Considerado que a disputa de um produto disponibilidade com $CVU=0$ pode acarretar perdas de competitividade e que os resultados apontaram para uma redução dos preços com aumento do tempo de operação, a possibilidade de criação de um produto quantidade para termelétricas pode ser estudada como um meio para a realização do potencial apresentado. Além disso, é importante continuar avaliando a operação das usinas a biomassa como uma forma de poupar as usinas hidrelétricas, deixando o operador livre para utilizar a energia armazenada nos reservatórios para compensar a crescente parcela de geração intermitente conforme necessário.

» Visão de longo prazo: a utilização de biomassa dedicada em larga escala pode ser vista como uma forma de atender aos compromissos firmados pelo país, reduzindo o custo de restrições que teriam que ser aplicadas em outros setores da economia. O desenvolvimento da fonte pode ainda contribuir em cenários futuros, em que se estabeleçam metas mais restritivas em relação à mitigação das mudanças climáticas.

A partir de nossas análises e seguindo o compromisso do IEMA com a expansão das fontes renováveis e a descarbonização da matriz elétrica, consideramos que a avaliação da utilização da biomassa dedicada, dado seu potencial significativo, deve ser mais bem aprofundada durante o planejamento do setor elétrico. A fonte constitui uma importante alternativa para garantir a segurança do suprimento frente à nova realidade do sistema, ao mesmo tempo em que gera contribuições relevantes para a recuperação de áreas, formação de estoques de carbono e redução de emissões, podendo ocupar um papel estratégico como alternativa de longo prazo na matriz energética nacional.

Entretanto, o objetivo deste relatório não foi desenvolver uma proposta de política pública para a fonte, mas sim consolidar os resultados quanto à formação de custo da madeira e da energia elétrica gerada, além de discutir a interação entre

o setor elétrico e o florestal. Assim, apesar da contribuição deste relatório para a discussão do ponto de vista do setor elétrico, ainda seria necessário explorar outros aspectos, como o planejamento territorial e ambiental e o impacto dos projetos nas comunidades, para que possa ser avaliada a pertinência de uma eventual proposta de política pública para a biomassa dedicada. Recomendamos que a investigação dos aspectos territoriais, ambientais e sociais seja considerada em eventuais aprofundamentos da discussão sobre a fonte no campo do planejamento.

ANEXO 1 – PROJETOS REFERÊNCIA

Projeto referência para a produção de madeira

Plantio na mesorregião Mato Grosso do Sul, com: duração do projeto de 32 anos, incluindo 7 anos entre o plantio e a primeira colheita; prazos de rotação de 7 anos e 2 rotações por ciclo com manejo da rebrota; área total de 10.000 hectares; sistema de colheita full tree e distância de transporte de 50 km com sistema tri-trem.

Quanto à magnitude do **investimento** necessário para realizar a atividade, o montante totaliza R\$ 81,9 milhões ou R\$ 8,9 mil por hectare nesse caso, incluindo o investimento inicial e os gastos até a primeira colheita.

Os custos de produção são de **R\$ 54 /m³**, dos quais a **silvicultura** representa a maior parte, seguida das operações de **colheita e transporte**. O **uso da terra** também tem contribuições significativas, representando a terceira maior parcela desse custo. Considerando a rentabilidade desejada por investidores na região, que é de 9%, o custo com o retorno de capital fica em **R\$ 77,7 /m³**. As deduções e impostos equivalem a R\$ 8,2 /m³, levando ao preço alvo de venda final de **R\$ 85,9 /m³**.

Projeto referência para a geração de energia

Projeto de caldeira **LFB** de **100 MW** na mesorregião do **Mato Grosso do Sul**, com compra da madeira de acordo com a operação (sem parcela fixa), venda da energia através de leilão com início da entrega da eletricidade em 6 anos e tempo de operação de 25 anos, com 7.920 horas de operação por ano. As condições de financiamento foram consideradas conforme as sugestões do simulador, ou seja, financiamento por meio do BNDES igual a 50% do valor dos ativos financiáveis com uma margem de 3% acima da Taxa de Longo Prazo, antes da correção pela inflação. A taxa de retorno esperada pelos investidores em capital após impostos e em termos reais foi estabelecida em 13%.³⁵

O investimento necessário ao projeto representa **R\$ 1.235 Mi**, ou seja, **R\$ 12,35 por Watt**, equivalente aos gastos que precedem o início da operação. O preço de alvo de venda da energia foi calculado de acordo com a rentabilidade requerida pelos investidores, sendo que o valor resultante foi de **R\$552/MWh**.

ANEXO 2 – SISTEMÁTICA DOS LEILÕES

Nos 3 últimos leilões e no próximo leilão a ser realizado, a sistemática consiste basicamente em duas etapas, descritas a seguir:

» **Etapa inicial:** cada empreendimento realiza um único lance, incluindo preço de venda e quantidade de lotes, correspondentes ao montante de energia a ser vendido. Os lances dessa fase podem ser utilizados para classificar os empreendimentos de todos os produtos do leilão dentro do limite de escoamento disponível no SIN, com ou sem diferenciação por fonte. Os lances dessa etapa também podem ser utilizados apenas como referência das condições de venda de cada empreendimento, sem realizar classificação.

» **Etapa contínua:** caso exista classificação, apenas os empreendimentos classificados participam. Nessa etapa, os lances devem ser iguais ou menores ao preço do último lance válido de cada empreendimento menos um decremento mínimo. Caso não haja um novo lance, o último lance válido é considerado. A etapa termina quando for ultrapassado um intervalo de tempo predefinido sem inserção de novos lances e a quantidade demandada de energia é contratada. Nos últimos leilões realizados, as regras garantiam que todos os lotes do empreendimento marginal que completasse a quantidade demandada seriam contratados.

35 Os outros parâmetros considerados nestes projetos de referência podem ser conferidos no material indicado.

ANEXO 3 – METODOLOGIA DO LEVANTAMENTO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS

Na construção da tabela de indicadores socioambientais, foi realizada uma revisão bibliográfica para encontrar valores médios representativos para todas as fontes. No caso da biomassa dedicada, foram utilizados valores do projeto **Florestas Energéticas** nos indicadores de uso da água e área transformada e nos demais indicadores foram tomados valores médios de aproveitamentos de biomassa como referência. A Tabela 15 apresenta as premissas tecnológicas e operacionais assumidas para realizar o levantamento de dados.

A seguir serão discutidos os principais aspectos de cada indicador, assim como o desempenho relativo das fontes em cada um deles.

Uso de água

Em usinas termelétricas, sistemas de resfriamento são utilizados para condensar o vapor que aciona os turbogeradores. Atualmente, a maioria desses sistemas no Brasil utiliza água para a refrigeração³⁶. Em sistemas de ciclo aberto, a água necessária para o resfriamento é captada de um reservatório, devolvida e reposta a cada ciclo. A parcela que evapora no processo caracteriza o consumo. No ciclo fechado, a água utilizada no resfriamento é mantida e a parcela utilizada para repor a evaporação e para diluir eventuais impurezas caracteriza o consumo.

As faixas de valores apresentadas representam os dados encontrados nas revisões da literatura realizadas por Fthenakis e Kim (2009), Macknick et al. (2012) e Meldrum et al. (2013).

Para a maioria das fontes, foram considerados sistemas de torre úmida (ciclo fechado), levando a valores de captação próximos aos de consumo. Usinas termonucleares utilizam sistemas de circulação aberta (ciclo aberto), o que explica a captação de água significativamente superior às demais fontes. Contudo, essa fonte apresenta eficiência relativamente alta, levando a um consumo de água relativamente baixo.

Já as usinas a biomassa dedicada gastariam mais água para realizar o resfriamento, pois usinas dessa fonte apresentam eficiências de conversão de energia mais baixas, levando a uma maior quantidade de calor rejeitado pelo vapor e consequentemente maiores perdas por evaporação no fluxo de água de resfriamento.

Destacamos que existem alternativas tecnológicas que podem ser viáveis no Brasil, como sistemas híbridos ou de resfriamento a seco, que diminuem ou tornam insignificante o consumo de água das usinas, constituindo alternativas importantes para todas as fontes térmicas, visto que a disponibilidade hídrica pode ser um desafio em diversas regiões do país (IEMA, 2018).

Tabela 15 Premissas tecnológicas e operacionais

| FONTE ENERGÉTICA | TECNOLOGIA DE RESFRIAMENTO | CICLO TERMODINÂMICO | EFICIÊNCIA ELÉTRICA | FATOR DE CAPACIDADE | TEMPO DE OPERAÇÃO (ANOS) |
|-------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Biomassa Dedicada | Torre Úmida | Ciclo Rankine | 30% | 90% | 25 |
| Carvão | Torre Úmida | Ciclo Rankine | 35% | 90% | 25 |
| Gás Natural | Torre Úmida | Ciclo Combinado | 43% | 90% | 25 |
| Nuclear | Circulação Aberta | Ciclo Rankine | 42% | 90% | 25 |

36 Para mais detalhes sobre o uso de água em usinas termelétricas acesse a nota técnica “Uso de água em termoeletricas”, disponível em: <http://www.energiaambiente.org.br/uso-de-agua-em-termoeletricas-1>

Emissão de GEE no ciclo de vida

A queima de combustíveis em usinas termelétricas, exceto nas nucleares, provoca a emissão de dióxido de carbono (CO_2), que é um dos gases causadores de efeito estufa (GEE). Os processos de produção do combustível e de construção da usina também causam emissões de GEE. Assim, a literatura especializada utiliza a técnica da análise do ciclo de vida das usinas (LCA, na sigla em inglês) para avaliar o impacto de projetos de geração de energia elétrica em relação a esse indicador.

As faixas de valores apresentadas aqui são provenientes de revisão da literatura realizada por Sathaye, Lucon e Rahman (2011) e incluem emissões de aproveitamentos de diversos tipos para a biomassa. Estes dados não consideram mudanças nos estoques e fluxos de carbono relacionadas às mudanças no uso da terra, que podem ser significativas mas são mais difíceis de quantificar.

As emissões relacionadas à fonte nuclear se devem totalmente à cadeia produtiva do material, uma vez que não existe combustão durante a operação da usina.

A biomassa é uma das fontes com menor impacto potencial, sendo superior apenas ao da energia nuclear. No caso da biomassa, existe absorção de carbono durante a formação do combustível, ao longo do crescimento das florestas, por exemplo. Assim, pode-se considerar que o carbono emitido é compensado pelo que foi absorvido anteriormente, anulando o saldo adicionado à atmosfera durante a operação. Por esse motivo, a União Europeia declarou nulo o fator de emissões de GEE na geração de energia em usinas a biomassa (EUROPEAN COMMISSION, 2003).

As emissões líquidas de GEE apresentadas para o ciclo de vida da biomassa, ainda que relativamente pequenas, se devem principalmente a emissões que ocorrem na fase de agricultura devido ao uso de fertilizantes, por exemplo.

Contudo, existem autores que realizam a análise para florestas energéticas a partir da floresta “em pé”. Seguindo essa formulação, estudo realizado por Sterman et al. (2017) indica que haveria um tempo de *payback* ao longo do qual o equivalente

das emissões da combustão seriam reabsorvidos pelas florestas desde que elas fossem replantadas.

No caso dos combustíveis fósseis, considera-se que a absorção do carbono ocorreu ao longo de milhares de anos e que a sua liberação conta como um acréscimo ao que já existe na atmosfera, uma vez que esse conteúdo não fazia mais parte do ciclo do carbono em andamento no planeta.

Tecnologias de captura e armazenamento de carbono poderiam diminuir o fator de emissões de GEE na operação, porém aumentariam significativamente o uso de água.

Levando em conta essas considerações, a biomassa dedicada teria um grande potencial de contribuição para o atendimento das metas de redução de emissões firmadas pelo Brasil por meio da NDC relacionada à COP 21, já discutida no Capítulo 1.

Emissão de poluentes locais

Além dos GEE, a combustão em usinas termelétricas também causa a emissão de outros poluentes atmosféricos. Em geral, essas usinas se localizam próximo aos centros de carga (cidades e/ou zonas industriais) e, portanto, essas emissões podem causar impactos importantes no ambiente e na qualidade do ar disponível para as populações nessas localidades.

Os poluentes locais mais importantes emitidos em termelétricas são:

- » Óxidos de Nitrogênio (NO_x): formados pela combustão na presença de ar. Podem contribuir para a chuva ácida e reagir com outras substâncias para formar poluentes secundários.
- » Óxidos de Enxofre (SO_x): originados da queima de material que possua enxofre. Podem subsequentemente formar ácidos, causando efeitos ambientais diversos.
- » Material particulado (MP): partículas de diâmetro muito pequeno, até $10 \mu\text{m}$ para o MP_{10} e $2,5 \mu\text{m}$ para o $\text{MP}_{2,5}$, suspensas nos gases exauridos, resultantes de combustão incompleta ou de cinzas não combustíveis. Podem causar problemas cardiorrespiratórios e contribuir com o aquecimento global.

Em nossa análise, foi considerado o intervalo de referência para tecnologias médias ou típicas do guia para inventários de emissões da União Europeia (EEA, 2016).

No caso da energia nuclear, não existem emissões de poluentes locais associadas uma vez que não há combustão. Já o gás natural não apresenta emissões de material particulado por ser um combustível gasoso e nem de SO_x por não apresentar enxofre em sua composição.

A biomassa é a fonte mais intensiva na emissão de material particulado (tanto MP_{10} quanto $MP_{2.5}$), pois seu aproveitamento trata de combustão com alta formação de cinzas, tornando necessário utilizar tecnologias de controle desse poluente. Existem tecnologias comerciais que podem ser utilizadas, inclusive com referências de melhores práticas disponíveis (IEMA, 2016a). O impacto da fonte é relativamente baixo para emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e de óxidos de enxofre (SO_x).

A combustão do carvão também apresenta altas emissões de material particulado devido à formação de cinzas. Essa fonte também pode causar emissões significativamente mais altas de SO_x devido à presença de enxofre em sua composição.

Geração de empregos diretos

Em geral, a geração de empregos diretos por empreendimentos de energia elétrica pode ser analisada a partir de três categorias:

- » Fabricação, construção e instalação;
- » Produção do combustível (quando houver);
- » Operação, manutenção e descomissionamento.

Os valores considerados em nossa análise são provenientes de estudo que engloba possibilidades para as três categorias para cada fonte realizado por Barros et al. (2017).

O potencial de geração de empregos apresentado pela biomassa é o maior entre as fontes e se deve principalmente a características do combustível. Sua produção necessita de mais trabalhadores em

comparação com outras fontes, além de apresentar maior consumo durante a operação, o que também requer mais pessoas trabalhando.

No caso dos combustíveis fósseis, a fase de extração do combustível é a mais importante nesse indicador. Apesar da crescente mecanização e automatização da mineração, usinas de carvão provocam maior geração de emprego nessa fase, levando essa fonte a gerar mais empregos que o gás natural por unidade de energia produzida.

As usinas nucleares requerem um grande número de trabalhadores nas fases de construção, instalação e descomissionamento. Contudo, são geradas poucas vagas relacionadas ao combustível e à operação por unidade de energia produzida, principalmente levando em conta o alto fator de capacidade com que essas usinas operam.

Apesar de ser um impacto positivo, o número maior de empregos gerado pela biomassa por unidade de energia produzida poderia ser interpretado como menor eficiência por trabalhador para essa fonte. Entretanto, também devemos levar em conta o contexto no qual serão disponibilizados esses empregos.

Por depender do plantio de eucalipto, parte significativa dos empregos gerados pelas usinas de biomassa dedicada seriam disponibilizados no interior e em zonas rurais, potencialmente favorecendo o desenvolvimento dessas regiões. Esse efeito é reconhecido na literatura, por mais que seja difícil mensurá-lo, conforme menciona Barros et al. (2017), citando Llera et al. (2013) e Lambert e Silva (2012).

Área transformada no ciclo de vida

A área transformada por unidade de energia gerada foi estimada considerando todo o ciclo de vida para cada fonte. Foram considerados valores com a utilização de boas práticas, ou seja, sem incluir o efeito de possíveis acidentes.

Os valores apresentados correspondem à média dos mínimos e máximos encontrados em UNCCD e IRENA (2017), Trainor et al. (2016), Cheng e Hammond (2014), Gagnon et al. (2002).

A área utilizada pela usina termelétrica em si é da mesma ordem para todas as fontes, apesar de ha-

ver variações devido ao espaço necessário para armazenar os diferentes combustíveis e para alocar os sistemas de controle utilizados.

A biomassa dedicada tem impacto em relação a esse indicador em uma escala muito maior que as demais fontes, transformando até 100x mais área por unidade de energia gerada que as outras fontes. Contudo, esse impacto pode ser positivo desde que haja boas práticas de manejo florestal.

Com essa condição, que pode ser garantida pela certificação, os plantios podem ser usados na recuperação de áreas degradadas, contribuindo para o atendimento do compromisso firmado na NDC. Além disso, a implantação de novos empreendimentos rurais implica em um aumento das áreas nativas protegidas no país devido às exigências do Código Florestal.

A fonte nuclear é a que necessita de menos área por unidade de energia gerada, mesmo considerando a área de exclusão e barreira para bloquear possíveis acidentes, uma vez que o minério bruto associado apresenta densidade energética muito alta. O gás natural também apresenta um valor baixo nesse indicador, sendo que a maior parte se deve aos gasodutos e a área utilizada pelas minas é menor que no caso do carvão.

A variação relativamente grande no caso do carvão existe devido à fase de mineração, pois as minas podem ser subterrâneas ou a céu aberto.

ANEXO 4 – METODOLOGIA DAS PROJEÇÕES

Em nossa análise foi considerada apenas a contratação de novos projetos de biomassa dedicada, desconsiderando os que estão em operação e a eventual entrada dos já contratados.

A expansão das demais fontes no período 2026 – 2030 foi calculada a partir da expansão anual média prevista no PDE 2026 para o período 2020 – 2026. Na realidade, pode haver mudança das tendências de um período para o outro.

A geração de energia foi calculada usando um fator de capacidade de 90% para a biomassa dedicada. Para as demais fontes, foi utilizado o fator de capacidade previsto no PDE para o período 2020–2026. Para o período 2026–2030, foi mantido o valor de 2026, uma vez que não é possível realizar estimativas precisas para esse horizonte. Além disso, os valores dos anos próximos tendem a ser mais realistas do que a média do período anterior, por exemplo. Ainda assim, há alguma incerteza introduzida na proporção da geração entre as fontes em 2030, apresentada na Figura 4, na Seção 6.2.

A expansão da biomassa dedicada conforme descrito em cada caso poderia levar a uma variação de até +1,5% na capacidade instalada e +5,1% na energia gerada em relação ao PDE 2026. Ainda que pequenas, essas variações foram corrigidas diminuindo adequadamente a participação das térmicas não renováveis em 2030, único ano utilizado em nossa comparação.

Quanto à biomassa dedicada, o Gráfico 27 apresenta a evolução da capacidade instalada até 2030. No Caso 1, são adicionados 100 MW por ano a partir de 2023, chegando ao total de 800 MW em 2030. Nos outros casos, foi considerada entrada de projetos a partir de 2022. No extremo de maior participação da biomassa dedicada, o Caso 4, o total instalado em 2030 seria de 11,65 GW.

Para analisar as implicações de cada cenário, foram levados em conta os indicadores cujos impactos poderiam ser avaliados ao longo do tempo e que não dependiam da localização dos empreendimentos. Essas premissas excluíram os indicadores de uso de água e emissão de poluentes locais da análise. Além da emissão de GEE e da área total transformada, apresentados na Seção 6.2, foram projetados o investimento necessário e a geração de empregos diretos em cada cenário.

A geração de empregos diretos³⁷ a partir da implementação da biomassa dedicada (em toda a cadeia de produção) foi projetada a partir do valor médio da faixa de referência apresentada. O Gráfico 28 apresenta a evolução anual desse indicador.

37 Nesse caso, estamos considerando empregos de tempo integral com duração de um ano. Ou seja, 2 empregos podem corresponder a duas pessoas trabalhando 1 ano cada ou 1 pessoa trabalhando 2 anos.

Gráfico 27 Evolução da capacidade instalada de Biomassa Dedicada para cada cenário

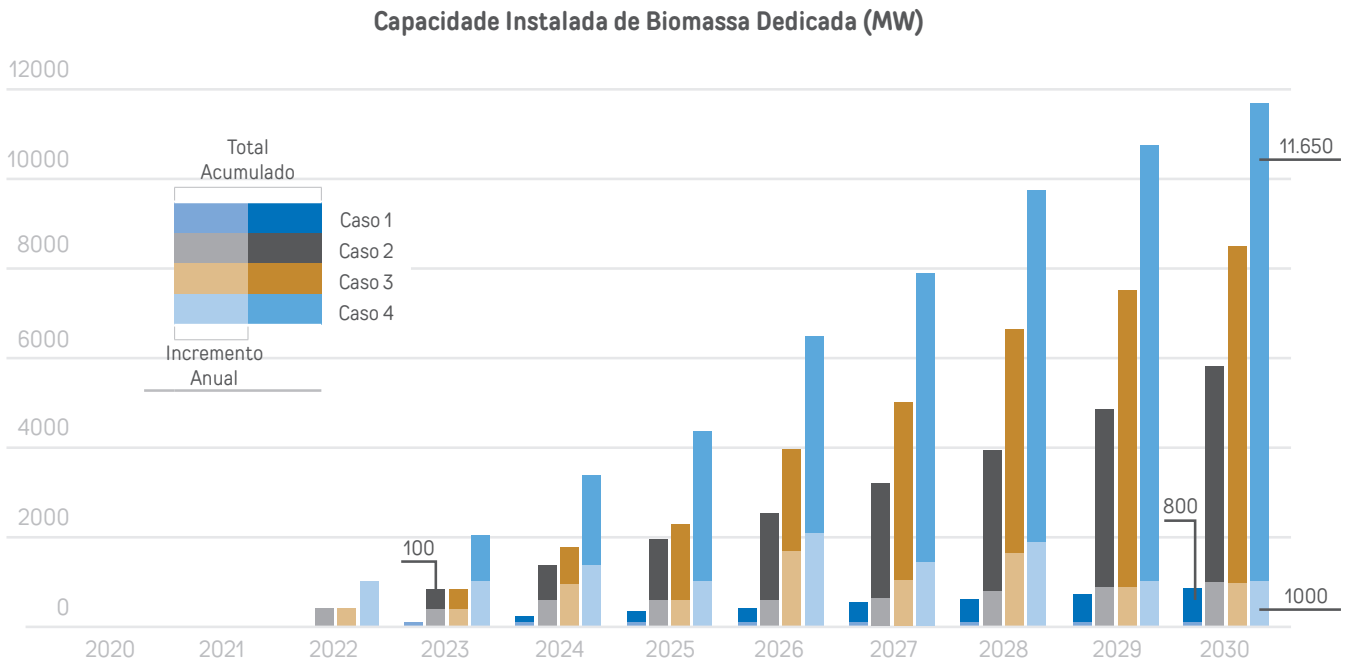
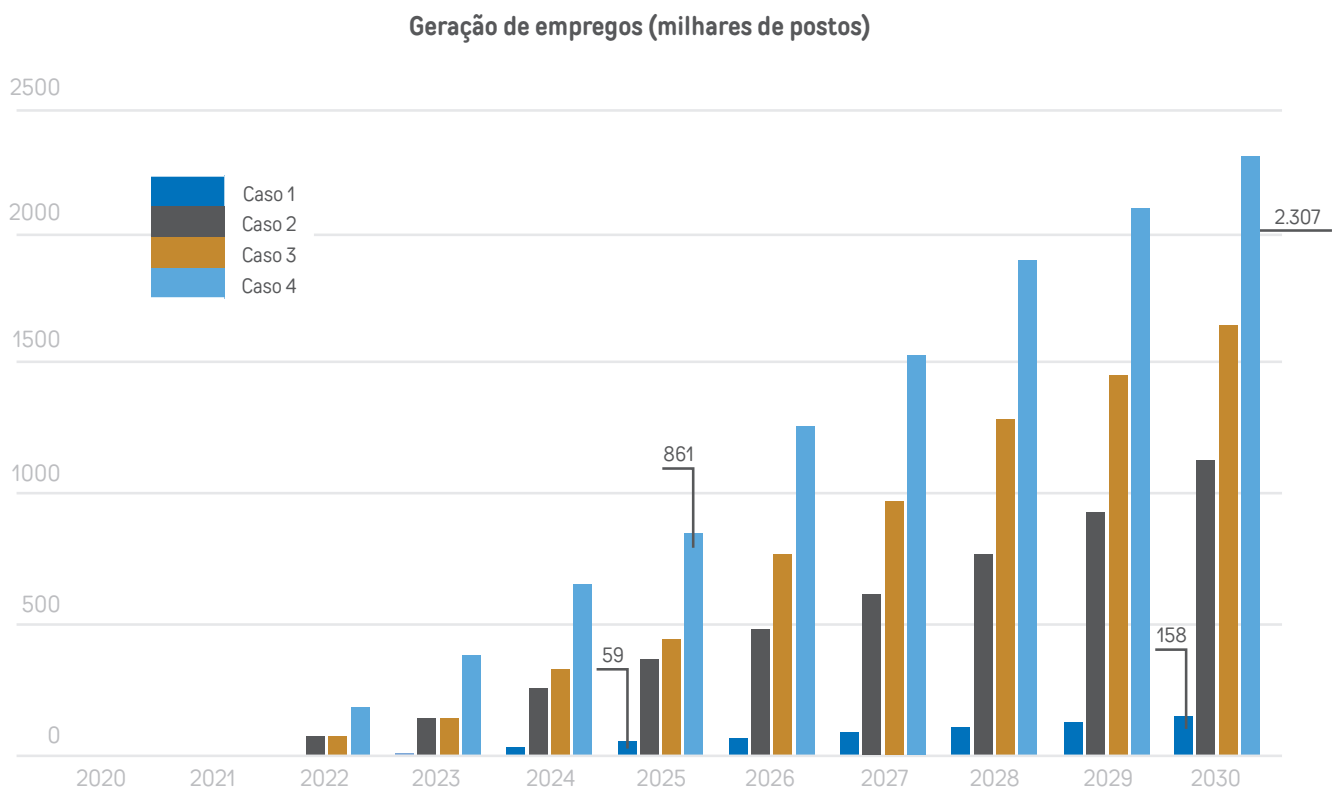


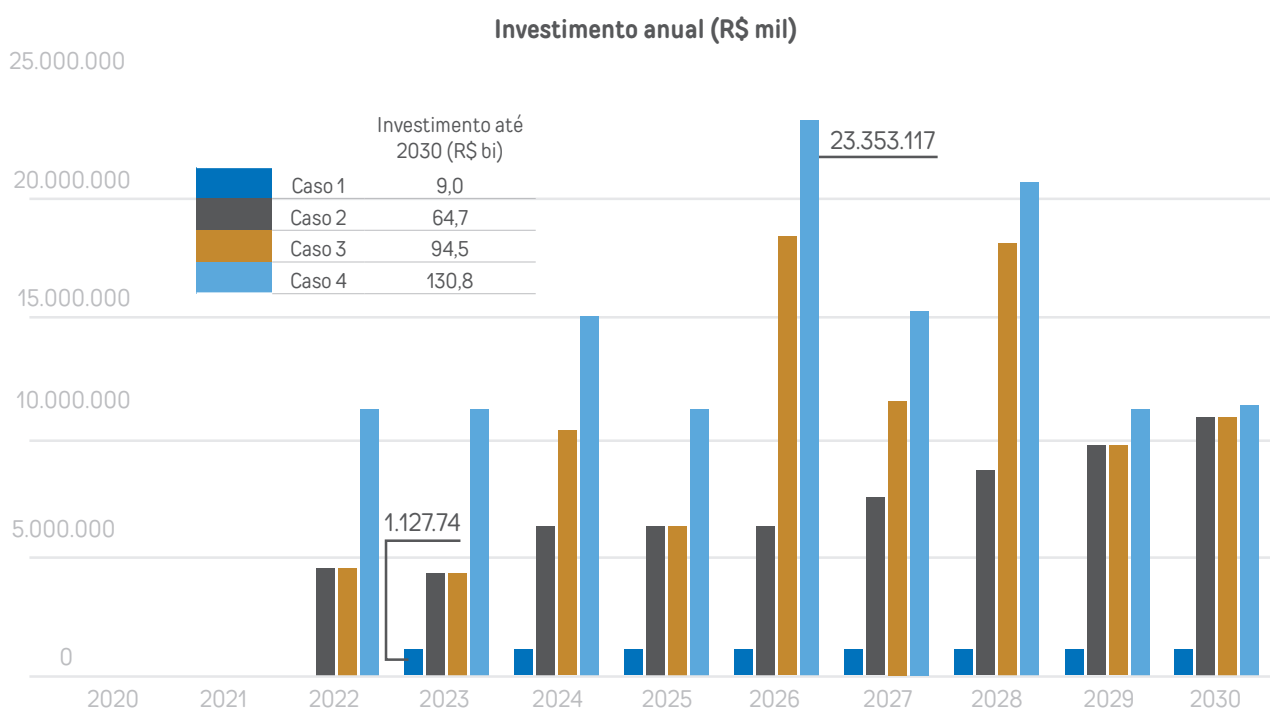
Gráfico 28 Evolução anual da geração de empregos diretos para cada cenário



A título de comparação, podemos observar que no Caso 4 seriam gerados 2,3 milhões de empregos diretos até 2030, frente a apenas 158 mil no Caso 1, ou seja, 14,6x mais empregos no cenário de maior penetração.

O investimento anual necessário para aumentar a capacidade instalada de biomassa dedicada, considerando apenas a termelétrica, foi projetado a partir do investimento médio para as diferentes configurações de usina. O Gráfico 29 apresenta a variação anual desse indicador.

Gráfico 29 Investimento anual em usinas termelétricas a biomassa dedicada



No Caso 1, o investimento anual é constante e igual a R\$1,1 bilhões, uma vez que o aumento da capacidade instalada é fixo no período, totalizando R\$9,0 bi em 2030. No Caso 2, o investimento anual inicial já é maior e aumenta gradativamente a partir de 2026. Nos Casos 3 e 4, o investimento anual apresenta picos em alguns anos devido ao investimento para cobrir a saída das usinas a carvão. No Caso 4, o investimento anual chega a R\$ 23,3 bi e a soma no período é de R\$ 130,8 bi.

Esses montantes de investimento representam uma movimentação significativa para a indústria nacional e, em conjunto com a geração de empregos, podem indicar um potencial desenvolvimento do interior e das zonas rurais do país.

Mercados potenciais

Quanto aos mercados, a estimativa para indicar o potencial da biomassa dedicada até 2030 foi realizada com base em uma extrapolação das projeções do PDE 2026. No caso da geração centralizada, a estimativa apresentada é relativa ao Caso 4. Para a geração distribuída, a maior parte do mercado é composta por geração fotovoltaica. Assim, foram considerados disponíveis para a biomassa dedicada apenas 20% da estimativa desse mercado e o valor foi dividido igualmente entre micro ou minigeração e contratação pelo VRES. Ressaltamos que os resultados apresentados são apenas uma estimativa inicial, utilizada aqui somente para comparar o tamanho de cada mercado potencial.

Referências

ALBANI, Marco; BÜHNER-BLASCHKE, Anja; DENIS, Nicolas; GRANSKOG, Anna. Bioenergy in Europe: A new beginning – or the end of the road? McKinsey, 2014. Acesso em 14 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Ediais de Geração. 2018a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/geracao4> Acesso em 25 julho de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Expansão da oferta de energia elétrica. Brasília, 2018b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/acompanhamento-da-expansao-da-oferta-de-geracao-de-energia-eletrica> Acesso em 12 de julho de 2018.

BARROS, Juan José Cartelle et al. Comparative analysis of direct employment generated by renewable and non-renewable power plants. *Energy*, v. 139, p.542–554, nov. 2017. Elsevier BV. Acesso em 14 de maio de 2018.

BRASIL. Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm Acesso em 27 de julho de 2018.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em 27 de julho de 2018.

CCEE. Resultado consolidados dos leilões. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes Acesso em 12 de julho de 2018.

CHENG, Vincent K. M.; HAMMOND, Geoffrey P. Energy density and spatial footprints of various electrical power systems. *Energy Procedia*, v. 61, p.578–581, 2014. Acesso em 14 de maio de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026> Acesso em 14 de maio de 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0087> Acesso em 14 de maio de 2018.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Chapter 1.A.1: Combustion in Energy Industries. Acesso em 14 de maio de 2018.

FTHENAKIS, Vasilis; KIM, Hyung Chul. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 6–7, p.1465–1474, ago. 2009. Elsevier BV. Acesso em 14 de maio de 2018.

FTHENAKIS, Vasilis; KIM, Hyung Chul. Life-cycle uses of water in U.S. electricity generation. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 7, p.2039–2048, set. 2010. Elsevier BV. Acesso em 14 de maio de 2018.

GAGNON, Luc; BÉLANGER, Camille; UCHIYAMA, Yohji. Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. *Energy Policy*, v. 30, p.1267–1278, 2002. Acesso em 14 de maio de 2018.

HENRIQUES, Carla O.; COELHO, Dulce H.; CASSIDY, Natalie L.. Employment impact assessment of renewable energy targets for electricity generation by 2020—An IO LCA approach. *Sustainable Cities And Society*, v. 26, p.519–530, out. 2016. Elsevier BV. Acesso em 14 de maio de 2018.

IDDRI. Beyond the Numbers: Understanding the Transformation Induced by INDCs. Paris, 2015. Acesso em 30 de julho de 2018.

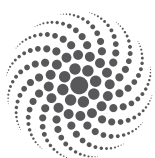
IEMA. A termoeletricidade no novo contexto do setor elétrico: a importância da avaliação de impactos ambientais. São Paulo, 2018. Acesso em 20 de julho de 2018.

IEMA. Custo de produção da madeira de eucalipto. São Paulo, 2017a. Disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-eucalipto> Acesso em 24 de julho de 2018.

IEMA. Estudo econômico do custo de energia a partir de madeira de plantios de eucalipto. São Paulo, 2017b. Disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-de-plantios-de-eucalipto> Acesso em 24 de julho de 2018.

IEMA. Geração termoeletrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle. São Paulo, 2016a. Disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/geracao-termoeletrica-e-emissoes-atmosfericas-poluentes-e-sistemas-de-controle> Acesso em 14 de maio de 2018.

- IEMA. Potencial do uso de florestas de Eucalyptus na geração de eletricidade no Brasil. São Paulo, 2017c. Disponível em: [http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-
viabilidade--potencial-do-uso-de-florestas-de-eucalyptus-na-geracao-de-eletricidade-no-brasil](http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-
viabilidade--potencial-do-uso-de-florestas-de-eucalyptus-na-geracao-de-eletricidade-no-brasil) Acesso em 24 de julho de 2018.
- IEMA. Simulador: Aspectos econômicos da produção e venda de toras de eucalipto. São Paulo, 2017d. Disponível em: [http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-
viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-euca-
lipto](http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-de-pre-
viabilidade--custo-de-producao-da-madeira-de-euca-
lipto) Acesso em 24 de julho de 2018.
- IEMA. Simulador: Preço da eletricidade produzida por uma termelétrica a madeira de eucalipto. São Paulo, 2017e. Disponível em: [http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-
economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-
de-plantios-de-eucalipto](http://www.energiaeambiente.org.br/estudo-
economico-do-custo-de-energia-a-partir-de-madeira-
de-plantios-de-eucalipto) Acesso em 24 de julho de 2018.
- IEMA. Uso de água em termoelétricas. São Paulo, 2016b. Disponível em: [http://www.energiaeambiente.org.br/uso-de-
agua-em-termoeletricas-1](http://www.energiaeambiente.org.br/uso-de-
agua-em-termoeletricas-1) Acesso em 14 de maio de 2018.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Technology Roadmap Bioenergy for Heat and Power. Paris, 2012. Acesso em 14 de maio de 2018.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Biomass for Heat and Power: Technology Brief, 2015. Acesso em 14 de maio de 2018.
- KAMMEN, D. M.; KAPADIA, K; FRIPP, M. Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate? RAEI Report, University of California, Berkeley, 2004. Acesso em 14 de maio de 2018.
- MACKNICK, J et al. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. Environmental Research Letters, v. 7, n. 4, 1 dez. 2012. IOP Publishing. Acesso em 14 de maio de 2018.
- MELDRUM, J et al. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. Environmental Research Letters, v. 8, n. 1, 1 mar. 2013. IOP Publishing. Acesso em 14 de maio de 2018.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). Fator médio – Inventários corporativos. 2018. Disponível em [http://www.mctic.gov.br/mctic/
opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_cor-
porativos.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/
opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_cor-
porativos.html) Acesso em 14 de maio de 2018.
- NICOLLETTI, M. X.; LEFÈVRE, G.B. Precificação de carbono no Brasil: perspectivas e aprendizados a partir de uma simulação de mercado cap-and-trade. In: FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER (Ed.). Mudanças Climáticas: O Desafio do Século. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2016. p. 145-169. Acesso em 27 de julho de 2018.
- RAUCH, P. Developing and evaluating strategies to overcome biomass supply risks. 2016. Acesso em 24 de julho de 2018.
- RUTOVITZ, J.; DOMINISH, E; DOWNES, J. 2015. Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney. Acesso em 14 de maio de 2018.
- SATHAYE, J. et al. Renewable Energy in the Context of Sustainable Development. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011. Cambridge University Press. Acesso em 14 de maio de 2018.
- STERMAN, J. D.; SIEGEL, L.; ROONEY-VARGA, J. N. Does replacing coal with wood lower CO2 emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy. 2018. Acesso em 20 de julho de 2018.
- TRAINOR, A. M.; MCDONALD, R. I.; FARGIONE, J. Energy Sprawl Is the Largest Driver of Land Use Change in United States. PLoS ONE, 2016. Acesso em 14 de maio de 2018.
- UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD) e INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Global Land Outlook Working Paper: Energy and Land Use. 2017. Acesso em 14 de maio de 2018.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). Financing Solutions for Sustainable Development. 2016. Acesso em 14 de maio de 2018.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Financial Risk Management Instruments for Renewable Energy Projects. 2004. Acesso em 24 de julho de 2018.
- WEI, Max; PATADIA, Shana; KAMMEN, Daniel M. Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?. Energy Policy, v. 38, n. 2, p.919-931, fev. 2010. Elsevier BV. Acesso em 14 de maio de 2018.
- WORLD BANK. State and Trends of Carbon Pricing 2018. Washington, 2018. Acesso em 27 de julho de 2018.



iema
Instituto de Energia
e Meio Ambiente