

## ***Projeto IES – Brasil 2050***

*Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de  
Emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE no Brasil  
até 2050*

***Cenário de Referência e Cenário 1,5°C***

Centro de Estudos Integrados sobre Meio  
Ambiente e Mudanças Climáticas  
**Centro Clima/COPPE/UFRJ**

**Apoio:**

**Instituto Clima e Sociedade (iCS) e WWF-Brasil**

## CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

**COORDENAÇÃO GERAL:** Emilio Lèbre La Rovere

**COORDENAÇÃO TÉCNICA:** Carolina B.S. Dubeux e William Wills

**MODELAGEM MACROECONÔMICA:** William Wills

### ESTUDOS SETORIAIS

**Setor de Transporte:** Márcio de Almeida D'Agosto, Daniel Neves Schmitz Gonçalves e George Vasconcelos Goes (Laboratório de Transporte de Carga –LTC/COPPE/UFRJ)

**Setor Industrial:** Otto Hebeda

**Setor Energético:** Amaro Olímpio Pereira Junior e Gabriel Castro

**Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU):** Michele Karina Cotta Walter, Carolina B.S. Dubeux e Isabella da Fonseca Zicarelli

**Setor de Resíduos:** Saulo Machado Loureiro e Tairini Pimenta

**Avaliação microeconômica:** Carolina Grottera

**Cobenefícios:** Daniel Oberling

**Integração dos Modelos Energéticos de Demanda:** Claudio Gesteira

**APOIO:** Carmen Brandão Reis

**EDITORAÇÃO:** Elza Maria da Silveira Ramos

**Citação:** Walter, M.K.C.; Dubeux, B.S. C.; e Zicarelli, I.F (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

**PROJETO IES-Brasil – 2050**

**Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e  
Mudanças Climáticas**

**(Centro Clima/COPPE/UFRJ)**

**Cenários de Emissão de GEE – 2050**

**(Referência e 1,5°C)**

**Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra**

**Relatório Técnico**

**Maio de 2018**

**Autores:**

Michele Karina Cotta Walter

Carolina B.S. Dubeux

Isabella da Fonseca Zicarelli



## Sumário

Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra – AFOLU .....	1
1. Apresentação do Setor .....	1
2. Objetivos .....	2
3. Metodologia .....	2
3.1. Cenário Macroeconômico .....	2
3.2. Modelagem da Produção e Área Plantada .....	3
3.3. Cálculo das Emissões .....	8
4. Dados Utilizados .....	9
5. Medidas de Mitigação e Potencial de Penetração nos Cenários .....	11
6. Resultados .....	21
6.1. Cenário de Referência .....	21
6.1.1. Oferta de Produtos Agropecuários .....	21
6.1.2. Produtividade, Produção e Área plantada .....	24
6.2. Cenário 1,5°C .....	30
6.2.1. Oferta de Produtos Agropecuários .....	30
6.2.2. Produtividade, Produção e Área plantada .....	33
6.3. Emissões Líquidas do Setor de AFOLU no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C .....	37
6.4. Custos de Mitigação das Tecnologias Adotadas .....	48
7. Prospecção Tecnológica para a Construção de um Cenário Disruptivo .....	50
8. Referências Bibliográficas .....	51

## Tabelas

<b>Tabela 1.</b>	<b>Medidas de mitigação consideradas no Cenário de Referência e hipóteses de penetração no período 2010-2050.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 2.</b>	<b>Resultados da oferta de produtos agropecuários no Cenário de Referência .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 3.</b>	<b>Produtividade média das culturas analisadas e taxa de lotação da pecuária bovina no Cenário de Referência.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 4.</b>	<b>Resultados da produção das culturas agrícolas, floresta plantada de pinus e eucalipto e pecuária no Cenário de Referência .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 5.</b>	<b>Área plantada das culturas agrícolas, floresta plantada e pastagem no Cenário de Referência .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 6.</b>	<b>Oferta de produtos agropecuários no Cenário de 1,5°C .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 7.</b>	<b>Produção das culturas agrícolas, floresta plantada de pinus e eucalipto e pecuária no Cenário de 1,5°C .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 8.</b>	<b>Área plantada das culturas agrícolas, floresta plantada e pastagem no Cenário de 1,5oC.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 9.</b>	<b>Emissões líquidas do setor de AFOLU no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C (Gg CO<sub>2</sub>e)37</b>	
<b>Tabela 10.</b>	<b>Atividades e respectivas emissões e remoções de CO<sub>2</sub>e do setor de AFOLU no Cenário de Referência .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 11.</b>	<b>Atividades e respectivas emissões e remoções de CO<sub>2</sub>e do setor de AFOLU no Cenário 1,5°C.45</b>	

## Figuras

<b>Figura 1.</b>	Crescimento do PIB doméstico .....	3
<b>Figura 2.</b>	Emissões líquidas de Afolu.....	38
<b>Figura 3.</b>	Emissões líquidas de mudança de uso da terra e florestas .....	38
<b>Figura 4.</b>	Emissões líquidas da agricultura .....	39
<b>Figura 5.</b>	Custo Marginal de Abatimento (CMA) de medidas de mitigação de AFOLU – Valor Presente de 2021 a taxa de desconto de 8% a.a. (US\$/tCO <sub>2</sub> e) – 2021-2030 .....	49
<b>Figura 6.</b>	Custo Marginal de Abatimento (CMA) de medidas de mitigação de AFOLU – Valor Presente de 2031 a taxa de desconto de 8% a.a. (US\$/tCO <sub>2</sub> e) – 2031-2050 .....	49

## Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra – AFOLU

### 1. Apresentação do Setor

A área territorial do Brasil é de 851,5 milhões de hectares (IBGE, 2016). Segundo dados do relatório IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016) estima-se que 554 milhões são ocupados com vegetação nativa (354 com florestas e 200 milhões de hectares com cerrado e outras vegetações). Da área não ocupada por vegetação nativa, cerca de 86% estão sob uso agropecuário, sendo 60 milhões de hectares ocupados pela agricultura e 198 milhões pela pecuária.

O setor agrícola é um dos principais setores da economia brasileira. O PIB do agronegócio totalizou 1,23 trilhões de reais em 2015 (CEPEA, 2016), representando 21,5% do PIB brasileiro, sendo o percentual da agricultura de 15,7% e da pecuária 6,8%. Em relação ao setor de florestas plantadas para fins comerciais (eucalipto, pinus e em menores proporções outras espécies como teca, araucária, etc.), este fechou o ano de 2015 com 1,2% de representação do PIB do Brasil e 6,0% do PIB industrial (IBÁ, 2016). Segundo a OECD/FAO (2015) esta participação representa uma pequena parcela diante do nível de desenvolvimento do país. A agricultura brasileira alcançou um forte crescimento nas últimas três décadas. A produção mais do que dobrou em volume, comparada ao nível registrado em 1990. A produção pecuária praticamente triplicou, principalmente com base nas melhorias da produtividade, e o setor contribui de forma relevante para a balança comercial do país.

Desde o final dos anos 1990, poucos países cresceram tanto no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil (MAPA, 2016). O país é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários. É o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, etanol e suco de laranja. Além disso, lidera o ranking das vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo) (MAPA, 2016). No início de 2010, a cada quatro produtos do agronegócio em circulação, no mundo, um era brasileiro. A projeção do Ministério da Agricultura é que, até 2030, um terço dos produtos comercializados seja do Brasil, em função da crescente demanda dos países asiáticos.

Dada a relevância do setor para a economia, a transição do atual modelo de produção agrícola para um modelo de baixo carbono é urgente. O setor é o segundo principal emissor de gases do efeito estufa (GEE) do país. Segundo o Terceiro Inventário Nacional de Emissões de GEE (BRASIL, 2016) o setor de Agricultura emitiu 473 milhões de tCO<sub>2</sub>e em 2010 e o setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, incluindo calagem, 355 milhões de tCO<sub>2</sub>e, representando esses dois subsectores cerca de 60% das emissões totais brasileiras (BRASIL, 2016). Por outro lado, é o setor que apresenta

maior potencial de redução de emissões pois é detentor de medidas tecnicamente viáveis de serem aplicadas.

Com a crescente demanda mundial por alimentos, as emissões de GEE tendem a aumentar, se tecnologias de baixa emissão de carbono não forem adotadas. Em razão de suas características e de sua sensibilidade ao clima, o setor de AFOLU é também um dos mais vulneráveis às mudanças climáticas. Embora as emissões deste setor ainda sejam significativas, deve-se reconhecer o esforço recente de mitigação das emissões desde 2005, quando as emissões totalizaram 1.921 milhões tCO<sub>2</sub>e, segundo o III Inventário Nacional (Brasil, 2016). Ademais, deve ser considerada a capacidade da agricultura de expandir sua produção em escala superior ao aumento das emissões, em razão de ganhos de produtividade.

## 2. Objetivos

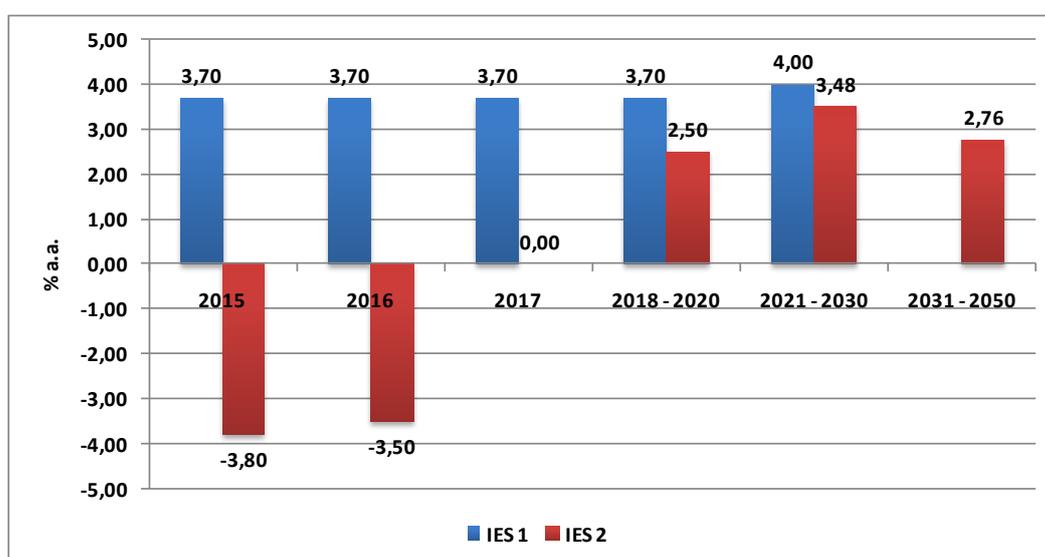
O objetivo geral deste relatório é simular dois cenários de mitigação para o setor de AFOLU até 2050: Cenário de Referência e Cenário 1,5<sup>o</sup>C. No primeiro, são consideradas as medidas de mitigação contidas nas políticas governamentais (Plano ABC e NDC), e no segundo medidas adicionais de redução de emissões, consideradas viáveis e que permitam uma redução substancial das emissões. Os objetivos específicos incluem: estimativas da evolução da produção, produtividade e área plantada do setor de agricultura, pecuária e floresta; incorporação de medidas de mitigação, respectivos potenciais de penetração e contabilização das emissões nos cenários estimados; construção de curvas de custo marginal de abatimento das medidas incorporadas; e levantamento de tecnologias disruptivas viáveis de serem adotadas para etapas seguintes desse estudo.

## 3. Metodologia

### 3.1. Cenário Macroeconômico

O estudo realizado para o setor de AFOLU na primeira fase do projeto IES-Brasil (LA ROVERE et al., 2016) explorou os efeitos econômicos e sociais de cenários com diferentes conjuntos de medidas de mitigação de emissões de GEE, no Brasil, até o ano de 2030. Este estudo foi uma das principais fontes de dados para dar continuidade às estimativas das produções agropecuárias até o ano de 2050, com os devidos ajustes quanto às diferenças nos cenários macroeconômicos.

Para o cenário macroeconômico do presente estudo, consideraram-se taxas de crescimento do PIB doméstico menores do que as utilizadas na primeira fase do IES Brasil, como ilustrado na Figura 1<sup>1</sup>. Como as atuais estimativas do setor de AFOLU têm como base os novos valores de PIB, aplicou-se uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de aproximadamente 1,15%, entre os anos 2014 e 2023, para suavizar a queda do PIB, já que vários estudos apontam uma tendência de contínuo crescimento para o setor. Para o PIB mundial, consideraram-se as taxas de crescimento do PIB mundial da EPE até 2050 (EPE, 2015).



**Figura 1.** Crescimento do PIB doméstico

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da EPE (2016)

### 3.2. Modelagem da Produção e Área Plantada

As estimativas do setor de AFOLU estão divididas em: projeção da produção agropecuária e florestal (grãos, cana-de-açúcar, madeira e pecuária), projeção da área plantada (áreas destinadas às culturas de cana-de-açúcar, soja, milho, outros grãos, florestas plantadas de eucalipto e pinus, e pastagem) e projeção da produtividade das culturas analisadas. As culturas consideradas foram cana-

<sup>1</sup> Para detalhes, ver capítulo de macroeconomia

de-açúcar, soja, milho (1ª e 2ª safra), outros grãos<sup>2</sup>, pinus e eucalipto, além da pecuária bovina de corte, leite e suínos.

### **Estimativas da oferta agropecuária e florestal**

A produção agropecuária do Cenário de Referência e do Cenário 1,5°C, até 2050, foi estimada a partir de séries históricas disponíveis em bancos de dados setoriais; dos valores de demandas de produtos agropecuários e florestais; das projeções de produção e de PIB doméstico e mundial do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016) até o ano de 2030; e da projeção de PIB doméstico e mundial, adotada no presente estudo, até o ano de 2050.

Correlacionando os dados de produção de milho, outros grãos, pecuária bovina e de leite e suínos e a série histórica do PIB doméstico do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016), até o ano de 2030, foram geradas funções logarítmicas de produção para esses produtos. Aplicando os valores da projeção do PIB doméstico do presente estudo nessas funções, foram obtidos então, os valores de produção até o ano de 2050.

A projeção de produção de grãos de soja é igual a soma das produções de grãos de soja para processamento e para exportação. A produção de grãos para processamento é função da produção total de óleo de soja que, por sua vez, é calculada inicialmente a partir da demanda de biodiesel do setor energético. Através do cálculo da média do percentual de biodiesel de óleo de soja sobre o total de biodiesel produzido no período de 2008-2016 (ABIOVE, 2017), adotou-se que, até 2050, o biodiesel de óleo de soja representaria 77% do total da produção de biodiesel no período.

Em média, o volume de óleo de soja destinado à produção de biodiesel de óleo de soja corresponde a 94,7% do total da produção do biodiesel de óleo de soja. A partir de estimativas da ABIOVE, APROBIO e UBRABIO (2016) para o consumo per capita de óleo de soja doméstico (óleo envasado, indústria alimentícia, indústria química, cosméticos, etc.) e estimativas do MAPA (2017) para a exportação de óleo de soja, foi possível projetar, até 2050, o consumo doméstico de óleo de soja sem considerar o consumo para produção de biodiesel e da exportação.

A soma destas duas parcelas com o consumo de óleo de soja para produção de biodiesel totaliza o consumo total de óleo de soja. Com os dados de grãos de soja para processamento, óleo de soja e farelo de soja de 2007-2016 (ABIOVE, 2017), calculou-se a média percentual da destinação de grãos de soja para processamento para a produção de óleo de soja. Foi aplicada a média de 20% até 2050

---

<sup>2</sup> As culturas consideradas em outros grãos são: algodão, amendoim, arroz, aveia, centeio, cevada, ervilha, fava, feijão, girassol, mamona (em baga), sorgo, trigo e triticale. Essas culturas são de lavoura temporária e, juntamente com soja, milho e cana-de-açúcar, foram responsáveis por ocupar 89% da área plantada de culturas temporárias e permanentes do Brasil, em 2015 (IBGE, 2015).

sobre a produção de óleo de soja calculada, sendo projetado, então, o total de grãos de soja para processamento até 2050. A produção de grãos para exportação foi calculada utilizando uma função logarítmica que correlaciona a série histórica do PIB mundial do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016) e a produção de soja para exportação, até 2030. A partir dos valores de projeção de PIB mundial do presente estudo, foram calculadas as exportações de grãos de soja até 2050.

A estimativa da produção de cana-de-açúcar no período de 2015 a 2050 foi realizada visando atender o consumo doméstico (demandado pelo setor de indústria), exportação de açúcar e o consumo doméstico de etanol para fins energéticos, não energéticos e para exportação (demandado pelos setores de transportes, indústria e agropecuário).

No Cenário de Referência considera-se o plantio de cana-de-açúcar para produção de açúcar e de etanol de primeira geração (E1G) até o ano de 2020. A partir de 2020, considera-se a introdução gradual da cana-energia como biomassa adicional para produção do etanol de segunda geração (E2G). Tanto para as variedades de cana (cana-de-açúcar e cana energia) quanto para a produção agroindustrial de E1G e E2G prevê-se um aumento gradual de produtividade. Foi adotada a premissa de que entre os anos de 2020 e 2050 haveria uma produção crescente de E2G, que inicia com percentual de 1% da produção em 2020 e atinge 20% em 2050.

Para o cenário 1,5°C foi considerado apenas o plantio de cana-de-açúcar e a produção de E1G durante todo período da projeção, tendo em vista a redução da demanda deste energético neste cenário, particularmente pelo setor de transportes, em função da maior penetração da eletromobilidade.

A projeção da produção de madeira oriunda de florestas plantadas de pinus e eucalipto foi feita visando atender a demanda dos segmentos de energia, celulose e papel, madeira industrializada (serrados e compensados), painéis de madeira e outros usos. Foi utilizada a série histórica de dados de produção do Anuário Brasileiro da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (ABRAF, 2013) e dados da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (IBÁ, 2016) até o ano de 2015. Para o período de 2016-2050 a produção florestal foi estimada considerando as demandas para fins energéticos (carvão vegetal e lenha) dos setores energético, industrial, residencial, serviços e agropecuário e a demanda para papel e celulose. A demanda dos segmentos de madeira industrializada (serrados e compensados) e painéis de madeira foi estimada utilizando taxas de crescimento anual extraída do estudo Opções de Mitigação (MCTI, GEF, 2016). Considerou-se que a demanda de madeira vem sendo suprida tanto por florestas plantadas quanto por florestas naturais

e dessa forma se dará até o ano de 2030. A partir de 2030, a madeira será originária apenas de florestas plantadas. Os percentuais de fornecimento de cada fonte foram obtidos em IBGE/PEVS (2016).

Para projeção do número de animais de cada categoria da pecuária, no Cenário de Referência, até 2050, foram usadas as séries históricas de dados de cabeças de gado bovino, leiteiro, suínos e aves, do IBGE, correspondente ao período de 2000-2015 (IBGE, 2016); projeções de produção e de PIB doméstico e mundial do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016) até o ano de 2030; e a projeção de PIB doméstico e mundial, adotada no presente estudo.

No cenário 1,5°C foi adotada a premissa de aumento de 20% na produtividade do rebanho bovino de corte, a qual é alcançada aplicando-se melhorias nas práticas agropecuárias. Assim, o número de animais que compõem esta categoria no cenário 1,5°C foi reduzido em 16%, em 2050. Esse aumento de produtividade é alcançado devido ao aumento da área de pastagem recuperada, melhorias no manejo das áreas de pastoreio, controle de vacinas e redução da idade de abate.

### **Projeção da área ocupada pela agropecuária e florestas**

A projeção anual de área plantada das culturas analisadas foi feita considerando a produção anual, em toneladas, e a produtividade média por hectare (t/ha).

Para a produtividade de grão de soja, considerou-se o aumento da produtividade de 3,03 t/ha em 2015 (IBGE, 2016) para 4,50 t/ha em 2050, de acordo com o estudo Opções de Mitigação (MCTI, GEF, 2016). A partir das projeções de produção e produtividade de grão de soja, estimou-se a área destinada para plantio dessa cultura até 2050. Há um crescimento de, em média, 40% da área de soja no período de 2015-2050, no Cenário de Referência e de 44% no Cenário 1,5°C.

Para milho, considerou-se o aumento de produtividade total de 5,2 t/ha em 2015 (IBGE, 2016) para 9,4 t/ha em 2050 (MCTI, GEF, 2016). O valor de produtividade considerado para o ano de 2050 é similar ao valor de produtividade do milho em países em desenvolvimento, segundo a projeção da FAO para 2050 (FAO, 2015). A partir das projeções de produção e produtividade de milho, estimou-se a área destinada para plantio de milho ao longo do período. Observa-se uma queda de 48% na área de milho de 1ª safra e, um aumento de 46% no de 2ª safra, no período 2015-2050. Considerou-se a premissa de que, até o ano 2030, a área de milho de 2ª safra seria igual a 11.412 mil hectares, área estimada no Projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016). Entre 2030 e 2050, a área de milho de 2ª safra cresce linearmente chegando a 14.557 mil hectares, o equivalente a 83% da área total de plantio de milho. Não haveria necessidade de novas áreas para expansão da produção de milho, pois as áreas de soja liberam a maior parte das áreas requeridas pelo milho (BRASIL-MAPA, 2015).

Para estimar a área de outros grãos, considerou-se um aumento da produtividade média de 2,7 t/ha em 2015 (IBGE, 2016) para 5,7 t/ha em 2050. A projeção até 2050 da produtividade foi calculada através de uma taxa de crescimento anual composta de aproximadamente 2,2%, aplicada entre o período de 2015-2050. Usando esta projeção e a projeção da produção, estimou-se a área destinada para a produção de outros grãos até 2050. Haveria uma redução de 21% da área de outros grãos no período de 2015-2050.

A área plantada de cana-de-açúcar foi estimada no Cenário de Referência considerando a demanda de cana para atender o setor sucroalcooleiro (produção de açúcar e de etanol 1G e 2G), além da produtividade da cultura. Para a cana-de-açúcar, considerou-se um aumento da produtividade de 68,3 t cana/ha em 2010 (Única, 2016) para 106,4 t cana/ha em 2050 (EPE, 2015). Para a cana energia, adotada a partir de 2020, a produtividade variou de 250 t/ha a 380 t/ha (CGEE, 2015). Os valores de produtividade agroindustrial de E1G e E2G (litros etanol/ha) foram utilizados para obter a área plantada de cana destinada à produção de etanol de primeira e de segunda geração. Observou-se um aumento de 22% na área total de cana no período 2015-2050 no Cenário de Referência. Para o cenário 1,5°C a área de cana foi estimada considerando apenas o plantio de cana-de-açúcar e a produção de etanol 1G. A área de cana neste cenário apresentou crescimento de apenas 4% no período 2015-2050.

A área total de florestas comerciais foi estimada visando atender a demanda de madeira dos segmentos de energia, celulose e papel, madeira industrializada (serrados e compensados), painéis de madeira e outros usos. Calculada a produção de madeira anual para atender a demanda estimada e considerando uma produtividade média variando de 36 a 40 m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup> no período de 2010 a 2015 (CGEE, 2015) e de 40 m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup> a partir de 2015, foi estimada a área de floresta comerciais até 2050. Ressalta-se que a demanda de madeira oriunda de floresta plantada seria suprida tanto pela floresta homogênea de pinus e eucalipto quanto pela floresta plantada em sistema de integração pecuária-floresta. Para o cenário 1,5°C foi incluído também, o plantio de florestas comerciais para produção de pellets para exportação.

Para a estimativa da área de rebanho bovino foi considerada, no Cenário de Referência, a recuperação de 15 milhões de ha de pastagens até o ano de 2030 e 30 milhões até 2050 (meta do Plano ABC e da NDC, com flexibilização de prazos). Tais valores foram duplicados para o cenário 1,5°C, segundo sugestões dos membros participantes do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC) do projeto IES Brasil. Foram consideradas diferentes taxas de lotação para pastagem recuperada e não recuperada em ambos os cenários. Para o ano de 2010 a taxa de lotação é de 1,2 cabeças de gado por

hectare (ABIEC, 2016) chegando a 1,35 cabeças em 2050 (MCTI, GEF, 2016). Para a pastagem recuperada a taxa de 1,2 em 2010 chega a 2,5 cabeças/hectare em 2050 (MCTI, GEF, 2016). De posse das projeções da pecuária bovina e da taxa de lotação de gado de corte, estimou-se a área de pastagens no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C.

O aumento da área de pastagem recuperada aliada às melhorias das práticas agropecuárias proporciona uma redução de 36% na área de pastagem no Cenário 1,5°C comparado ao Cenário de Referência.

### 3.3. Cálculo das Emissões

O balanço das emissões de GEE do setor de AFOLU foi realizado considerando as diretrizes do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação publicado em 2016 (Brasil, 2016). Este, por sua vez, tem como diretrizes técnicas os seguintes documentos elaborados pelo IPCC: “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories” (Guidelines 1996); e “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (Guidelines 2006). Foram utilizadas também as estimativas de emissões do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016).

Compõem as estimativas líquidas de emissões do setor de AFOLU as emissões de GEE e remoções de carbono da agricultura (manejo de solos agrícolas, cultivo de arroz, queima de resíduos, sistema de plantio direto, fermentação entérica e manejo de dejetos) e uso da terra e mudança do uso da terra (florestas plantadas para fins comerciais, restauração de floresta nativa, recuperação de pastagem degradada, integração pecuária-floresta, incremento de carbono em Unidades de Conservação e Terras Indígenas e desmatamento).

As emissões e remoções foram estimadas para os Cenários de Referência e 1,5°C considerando as projeções de produção e de área plantada até o ano de 2050, e a adoção de práticas de agricultura de baixa emissão de carbono. Considerou-se que a expansão da área ocupada com agricultura e florestas, estimada até 2050, ocorreria apenas em áreas de pastagens degradadas.

## 4. Dados Utilizados

Os dados utilizados nas projeções das produção, produtividade e áreas das culturas e produtos considerados, bem como suas respectivas fontes são apresentados a seguir:

### **Soja e derivados**

Para projeção da produção e da área de soja e produção de derivados: série histórica da produção de grãos de soja para processamento, óleo de soja, farelo de soja e biodiesel de soja da ABIOVE (2017) correspondente ao período de 2007-2016; série histórica da produção de biodiesel da ANP correspondente ao período de 2005-2015; demanda de biodiesel do setor de Oferta de Energia; projeções da produção de grãos de soja para processamento, óleo de soja, farelo de soja e biodiesel da ABIOVE, APROBIO e UBRABIO (2016) correspondente aos anos 2020, 2025 e 2030; projeções de produção de grão de soja, óleo de soja e farelo de soja e da produtividade do grão de soja do estudo do MAPA (MAPA, 2017); projeção da produtividade de grão de soja de 4,50 t/ha em 2050 do estudo Opções de Mitigação (MCTI, GEF, 2016); e série histórica da produção de soja, óleo de soja e farelo de soja e produtividade do grão de soja do IBGE (2016) correspondente ao período de 2000-2015.

### **Milho**

Para projeção da produção e da área de milho foram usadas: série histórica da produção total de milho, milho de 1ª e 2ª safras do IBGE correspondente ao período de 2000-2015 (IBGE, 2016); projeções de produção e de área do estudo do MAPA (MAPA, 2016); e projeção da produtividade de milho de 9,4 t/ha em 2050 (MCTI, GEF, 2016).

### **Outros grãos**

Para projeção da produção e da área de outros grãos foi usada a série histórica da produção e área de grãos (14 culturas, incluindo mamona) do IBGE correspondente ao período de 2000-2015 (IBGE, 2016) com uma produtividade de 5,7 t/ha em 2050, valor estimado usando-se a taxa de crescimento anual composta de aproximadamente 2,2%, aplicada entre o período de 2015-2050.

### **Pecuária**

Para projeção da pecuária foram usadas: série histórica de dados de cabeças de gado bovino, leiteiro, suínos e aves do IBGE correspondente ao período de 2000-2015 (IBGE, 2016); projeções de produção e de PIB doméstico e mundial do projeto IES Brasil (LA ROVERE et al., 2016) até o ano de 2030; e a projeção de PIB doméstico e mundial, adotada no presente estudo; taxa de lotação no período 2010-2015 (ABIEC, 2016) e em 2050 (MCTI, GEF, 2016).

### **Cana-de-açúcar**

Para projeção da produção e área de cana foram usados: dados de produção de cana-de-açúcar do período de 2015 a 2050 estimados com base na demanda nacional e exportação de açúcar, oriunda do setor industrial e, na demanda total de etanol para fins energéticos, não energético e exportação, estimada pelos setores de transportes e industrial desse estudo. Considerou-se que 1 tonelada de cana produz 0,132 toneladas de açúcar (média calculada com dados dos últimos 5 anos) (BRASIL, 2015).

Os percentuais de cana-de-açúcar destinados para produção de açúcar e de etanol variariam, respectivamente, de 50 % e 50% em 2005 a 40% e 60% em 2024. Em 2050, o *share* da produção de cana foi de 43% para açúcar e 57% para etanol. Esses dados foram corroborados pelas projeções da OECD/FAO (OECD/FAO, 2015) até o ano de 2024.

Os dados de produtividade correspondente ao período de 2010 a 2015 tiveram como fonte a União da Indústria de cana-de-açúcar (Única, 2016), entre 2016 a 2024 foram utilizados dados do Mapa (MAPA, 2016) e de 2025 a 2050 dados do cenário econômico 2050 do Plano Nacional de Energia 2050 (EPE, 2015). Os valores de produtividade variariam de 67,7 t/ha em 2010 a 106,6 t/ha, em 2050. Este último valor aproxima-se daquele estimado pela FAO (FAO, 2015), que é de 104 t cana/ha. Para a cana energia, adotada a partir de 2020 a produtividade variaria de 250 t/ha a 380 t/ha (CGEE, 2015).

A quantidade de cana necessária para atender a demanda de etanol estimada até 2050 foi obtida utilizando-se valores de rendimento agroindustrial (CGEE, 2015) para produção de etanol de

primeira e de segunda geração. Para o etanol de primeira geração esses valores variam entre 6.490 l/ha em 2015 a 8.660 l/ha em 2050 (CGEE, 2015). O de segunda geração entre 7.260 l/ha em 2015 a 18.610 l/ha em 2050 (CGEE, 2015).

### **Florestas Plantadas**

Para projeção da produção e área de florestas plantadas foi usada: série histórica de produção de madeira e área plantada de florestas de pinus e eucalipto, referente ao período de 2010-2012 da ABRAF (Abraf, 2013) complementada com dados do IBÁ (IBÁ, 2016) até o ano de 2015. Para o período de 2016-2050 a produção florestal foi estimada considerando as demandas para fins energéticos (carvão vegetal e lenha) e para produção de papel e celulose. A demanda de madeira dos segmentos de madeira industrializada (serrados e compensados) e painéis de madeira foi estimada utilizando-se taxas de crescimento anual extraídas do estudo Opções de Mitigação (MCTI, GEF, 2016).

Os fatores adotados para cálculo da quantidade de madeira usada na queima direta e produção do carvão vegetal foram: poder calorífico do carvão vegetal = 6.460kcal/cal (BEN, 2015), poder calorífico da lenha = 3.100kcal/t (BNDES, 2015), densidade do carvão= 250kg/m<sup>3</sup> (BEN, 2015), densidade da lenha = 500kg/m<sup>3</sup> (BNDES, 2015). Considerou-se uma melhoria na eficiência da produção do carvão vegetal, o que resultou no incremento do rendimento gravimétrico do carvão, partindo de 26% em 2015 para 33,5% em 2050, conforme CGEE (2015).

A quantidade de madeira necessária para atender a demanda do segmento de celulose e papel foi estimada utilizando-se a proporção de produção de celulose/tonelada de madeira. A produtividade média para madeira de eucalipto aos sete anos de idade, variou de 36 a 40 m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup> no período de 2010 a 2015 (CGEE, 2015) e foi considerada constante a partir de 2016 (Abraf, 2013; IBÁ, 2016; CGEE, 2015).

## **5. Medidas de Mitigação e Potencial de Penetração nos Cenários**

Durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), o governo brasileiro divulgou o seu compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9%, das emissões de GEE, estimadas para 2020, o que resultaria em uma redução em torno de um bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Na COP 21, o Brasil assumiu papel importante no Acordo de Paris, por meio da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), considerada uma das mais ambiciosas dentre os países em desenvolvimento. O

país se comprometeu a adotar medidas, que proporcionem uma redução de emissão de GEE de 37% em 2025 e de 43%, em 2030, no nível absoluto de emissões em relação a 2005.

O Cenário de Referência é caracterizado pela adoção de medidas de mitigação contidas no Plano ABC e na NDC, previstas para serem cumpridas até 2030. Algumas medidas foram adotadas com flexibilização das metas e dos prazos, sendo então estendidos esses prazos até 2050. A partir de 2030 não foram simulados maiores esforços para ampliação das medidas adotadas.

O Cenário 1,5°C é caracterizado pela intensificação da penetração das medidas do Plano ABC e da NDC, entre 2020 e 2050, plantio de floresta econômica para produção de pellets e utilização de incentivos econômicos para a constituição de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) para reduzir o desmatamento legal.

A seguir são descritas as medidas de mitigação selecionadas para comporem os dois cenários simulados, bem como apresentadas suas respectivas taxas de penetração (Tabela 1).

#### **i. Restauração de florestas nativas**

A restauração de florestas nativas, em diferentes biomas do território brasileiro, foi considerada como medida de mitigação para o Cenário de Referência e para o Cenário 1,5°C. Essa medida tem por objetivo recompor o passivo florestal decorrente das modificações entre o atual Código Florestal e sua versão antiga (Lei nº 4.771, 15/09/1965, alterada por MP nº 1.1511, 25/06/1996).

No Cenário de Referência a área a ser restaurada é de 11,4 milhões de hectares nos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa, sendo a maior parte alocada na Amazônia e na Mata Atlântica. Esta área foi adotada com base na estimativa de passivo florestal apresentada por Soares Filho (2013) e, considerando a meta da NDC brasileira, de restaurar e reflorestar 12 Mha, até 2030 (meta adotada neste estudo com flexibilização de prazo). As áreas a serem restauradas constituem-se em área de reserva legal (áreas florestais), admitindo-se o cômputo das áreas de preservação permanente no cálculo do percentual da reserva legal, desde que o imóvel esteja incluído no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Considerou-se que o método de restauração adotado é o plantio de mudas de espécies nativas. O período da projeção inicia-se em 2016 e se estende até 2050.

No cenário 1,5°C esta medida foi ampliada, adicionando-se 9,6 milhões de hectares, à área simulada no Cenário de Referência, os quais, entretanto, seriam reflorestados em áreas de pastagem, a partir de 2021. Assim, a área total de plantio/restauração de florestas nativas no Cenário 1,5°C seria de 21 milhões de hectares, no ano de 2050.

O custo total considerado para restauração florestal é de R\$ 25.334,01/ha, em reais de 2015, para o restauro do bioma da Amazônia e de R\$ 23.605,58/ha, em reais de 2015, para o restauro de outros biomas, com 30% dos seus totais sendo referentes aos custos de capital (Instituto Escolhas, 2016). Considera-se também a aplicação de uma taxa de desconto de 8% a.a. e um investimento de 5 anos. Os custos incluem as despesas com a pré-implantação da floresta (construção de aceiros e cercas), implantação da floresta (limpeza da área, controle de formigas, preparo do solo, calagem, adubação, plantio de mudas, replantio), manutenção do plantio e manejo florestal.

## **ii. Expansão de áreas de Florestas Plantadas (florestas econômicas)**

A expansão das áreas de florestas plantadas estimada no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C é composta essencialmente por pinus e eucalipto e visa fornecer matéria-prima para os segmentos de energia, celulose e papel, madeira industrializada (serrados e compensados), painéis de madeira, pellets e outros usos. A projeção da expansão da área no período de 2016-2050, em ambos os cenários, foi feita considerando as demandas e taxas de crescimento dos segmentos que compõem o setor.

O Plano ABC menciona como meta a expansão de 3 milhões de hectares de florestas plantadas para fins comerciais, em relação ao ano de 2010, totalizando 9,5 milhões de hectares em 2020. E, a NDC inclui a expansão de floresta plantada na meta de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares até 2030, para múltiplos usos. Entretanto, considerando a atual conjuntura econômica do país, optou-se por simular a área de florestas comerciais com base na necessidade de madeira para atender às demandas do setor energético, industrial, comercial, residencial. Sendo assim, a meta de expansão de 3 milhões de hectares do plano ABC seria atingida com flexibilização de prazo, em 2038.

Ressalta-se que no cenário 1,5°C foi incorporado pelo setor de energia um aumento no uso de biomassa oriunda de floresta plantada, para fins energéticos, comparado ao Cenário de Referência. E, neste mesmo cenário há uma maior oferta de madeira oriunda do sistema iPF, que contribui para atender a demanda.

Adicionalmente ao Cenário de Referência, no Cenário 1,5°C também é contemplado o plantio de florestas de eucalipto para produção de pellets para exportação. Essa medida foi adotada tendo em vista contribuir para a remoção de CO<sub>2</sub> e a crescente demanda global por pellets, tanto para uso energético industrial quanto para uso residencial/comercial.

No que se refere aos custos do plantio de florestas, os seguintes componentes são incluídos: custos de implantação como operações mecanizadas e manuais de preparo do solo, adubação, plantio

e aquisição de insumos (formicidas e fertilizantes, por exemplo); custos administrativos, custos de manutenção e custos de colheita (MOTA, 2013). O custo total considerado foi de R\$ 6.720,87/ha, em reais de 2015, para florestas plantadas sem iPF, representando a média de custos para grandes, médios e pequenos produtores, e de R\$ 5.747,15/ha, em reais de 2015, para florestas plantadas com iPF, com os custos de capital referentes a 28% e a 25% do total, respectivamente (MOTA, 2013 e GVces, 2015). Considera-se também a aplicação de uma taxa de desconto de 8% a.a. e uma vida útil de projeto de 7 anos.

Além dos custos, também foram consideradas as receitas provenientes da venda da produção de madeira de R\$ 2.111,12/ha, em reais de 2015, para florestas plantadas sem iPF e de R\$ 1.427,30/ha, em reais de 2015, para florestas plantadas com iPF. O custo considerado por m<sup>3</sup> foi de R\$ 59,47 (MCTI, GEF, 2016; LA ROVERE et al., 2016).

Já para a produção de pellets, foi adotado o custo de capital total de R\$ 12,42/t produzida.ano e o custo de operação total de R\$ 8.941,77/ano somado a R\$ 149,47/t produzida.ano, em reais de 2015, considerando também a aplicação de uma taxa de desconto de 8% a.a., uma vida útil de projeto de 10 anos e a receita de R\$ 608/t produzida.ano, em reais de 2015.

### **iii. Integração Pecuária-Floresta**

A integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) é uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema.

A iLPF busca melhorar a fertilidade do solo com a aplicação de técnicas e sistemas de plantio adequados para a otimização e intensificação de seu uso. Permite a diversificação das atividades econômicas na propriedade e minimiza os riscos de frustração de renda por eventos climáticos ou por condições de mercado (Brasil, 2012). Além disso, possibilita, ao mesmo tempo, o aumento da biodiversidade e o controle dos processos erosivos com a manutenção da cobertura do solo (Brasil, 2012).

Segundo o Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV os sistemas de iLPF completos, isto é, aqueles que contemplam as espécies agrícolas, pastagem e floresta conjuntamente ainda são pouco adotados (GVces, 2015; EMBRAPA, 2015). Soma-se a isto a maior complexidade atrelada às implicações econômicas e o cálculo da potencial redução de GEE associada à componente lavoura em sistemas integrados (GVces, 2015). Estes fatores motivaram a escolha de um sistema integrado do tipo pecuária-floresta (iPF) para compor o presente estudo. Portanto, considerou-se a iPF com 40%

pastagens e 60% florestas a cada ano. Para a reforma de pasto utilizou-se a braquiária e o componente arbóreo eucalipto.

No Cenário de Referência adotou-se a meta do Plano ABC e da NDC, com flexibilização de prazo. Ou seja, considerou-se a implantação de 5 milhões de hectares de iPF até o ano 2030. No período de 2030 e 2050 a penetração da tecnologia é zero. No Cenário 1,5°C seria incorporado um aumento linear de área após o ano de 2030, atingindo 15 milhões de hectares em 2050, conforme sugestões dos membros participantes do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC), desse projeto.

Os custos considerados para iPF foram mencionados juntamente com os custos de Florestas Plantadas.

#### **iv. Recuperação de Pastagens Degradadas**

A recuperação da pastagem, por meio do aumento da produtividade primária, eleva os aportes de carbono para o solo e, em consequência, torna-se uma importante forma de remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico (FAO, 2009; ALVES et al., 2008). Além disso, o aumento do desempenho dos animais em pastos recuperados resulta em redução das emissões por unidade de produto (LENG, 1991; HOWDEN E REYENGA, 1999).

Em ambos os cenários foi adotada a migração de pastagens de baixa tecnologia para média tecnologia, assumindo essa migração como *proxi* para recuperação de pastagens. A migração de sistemas significa a adoção de um novo pacote tecnológico que inclui correção e fertilização do solo, maior rigor no calendário de vacinas, entre outros. Para a reforma de pasto utilizou-se a braquiária.

No Cenário de Referência, considerou-se a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até o ano de 2030 e adicionalmente 15 milhões de hectares até 2050, totalizando 30 milhões de hectares recuperados em 2050. Esses valores de áreas têm como referências as metas estabelecidas no Plano ABC e na NDC, considerando uma flexibilização dos prazos para cumprimento. Para o Cenário 1,5°C, foi sugerido pelos membros do CEC um aumento da área recuperada, de modo a atingir 60 milhões de hectares em 2050.

Na análise de custos foram considerados as despesas da recuperação de pastagens com a compra de insumos (incluindo aquisição dos bezerras), operação e manutenção de máquinas, mão de obra e custos administrativos juntamente com o manejo de áreas de pastagens, a melhoria genética e a redução da idade de abate. O custo total considerado foi de 110,52 R\$/@ do boi.ano, em reais de 2015, com uma receita de 172,09 R\$/@ do boi.ano, em reais de 2015, considerando que apenas 7% do custo total são custos de capital (KIMURA, W. J.; SANTOS; E. F., 2016 e GVces, 2015).

#### **v. Sistema de Plantio Direto (SPD)**

O SPD na palha consiste em um conjunto de processos tecnológicos destinados à exploração de sistemas agrícolas produtivos, compreendendo mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura, manutenção permanente da cobertura do solo, diversificação de espécies e minimização ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura (Brasil, 2012).

O Plano ABC estabelece como meta a expansão de 8 milhões de hectares do Sistema Plantio Direto no período de 2011-2020. Esta meta foi incorporada ao Cenário de Referência até o ano de 2020. Após 2020, considera-se que o SPD seria implantado em 100% da área adicional de soja, milho e arroz para ambos os cenários, tanto em sistemas de SPD homogêneos quanto em sistemas integrados (iLPF, iPF). A escolha das três culturas é devido ao fato da produtividade destas serem maiores sob o SPD do que sob o cultivo convencional, o que ocorre de maneira contrária para algumas outras culturas como feijão e algodão, por exemplo. (MCTI, GEF, 2016).

O custo total considerado para o uso do SPD é de 88,76 R\$/ha.ano, em reais de 2015, sendo este adotado através da diferença entre os custos do cultivo convencional e do cultivo sob SPD. A receita considerada é de 121,59 R\$/t.ano de soja, em reais de 2015, sendo esta adotada através do percentual do ganho de produtividade de aproximadamente 9% da soja quando sob SPD em relação ao seu preço de venda. (MCTI, GEF, 2016).

#### **vi. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)**

A fixação biológica de nitrogênio reduz a aplicação de fertilizantes nitrogenados por meio do uso de inoculantes. As principais lavouras candidatas a essa tecnologia são soja e milho.

Para atingir uma produtividade de 3.000 kg/ha na soja, é necessário aplicar 240 kg de nitrogênio por ha (Hungria, M. et al., 2001), enquanto com a fixação biológica de nitrogênio esse volume cai para menos de 10 kg de fertilizantes nitrogenados por hectare. Esta tecnologia já está sendo adotada em 100% da produção de soja no Brasil (EMBRAPA, 2012b). No caso do milho, a fixação biológica de nitrogênio com o uso de inoculantes ainda não é uma prática consolidada.

O Plano ABC estabelece como meta a expansão de 5,5 milhões de hectares da fixação biológica até o ano 2020. Considerou-se no Cenário de Referência a aplicação da tecnologia em 100% da área de soja e 10% da área das outras culturas, no período de 2015-2050, de modo a alcançar a meta do Plano ABC em 2020. No Cenário 1,5°C a tecnologia foi adotada em 100% da área de soja e 30% das áreas de milho, arroz, feijão, trigo e cana de açúcar (MCTI, GEF, 2016).

O custo considerado para o uso da FBN é de -98,36 R\$/ha.ano, em reais de 2015, porque considera, além do custo do inoculante, a economia obtida por não ser mais necessário o aporte de N.

#### **vii. Tratamento de Dejetos Animais**

O tratamento correto de efluentes decorrentes de animais estabulados contribui para redução de metano e possibilita o aumento da renda dos agricultores. As duas principais vias são a compostagem ou energia produzida a partir do biogás.

O Plano ABC considera a ampliação do uso de tecnologias para tratamento de mais 4,4 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos de animais até 2020 para geração de energia e produção de composto orgânico.

A geração de energia é feita através do direcionamento dos dejetos das granjas para o sistema de biodigestor. No biodigestor, o biogás é formado pela fermentação do material orgânico. O biogás gerado é direcionado ao sistema de queimador fechado onde é queimado. Este sistema sofisticado evita a emissão de GEE para a atmosfera, o que é comum nos procedimentos usuais dos atuais sistemas de dejetos da suinocultura (UNFCCC, 2010).

A quantidade de dejetos destinados a produção de biogás em 2050 seria de 4,06 milhões de toneladas no Cenário de Referência e de 8,12 milhões de toneladas no Cenário de 1,5°C. Estes resultados têm como premissa o cenário adotado pela EPE (2016a) no qual considera-se que, em 2050, apenas 24% do potencial teórico de produção do biogás será considerado viável economicamente. Deste 24%, apenas 30% seriam destinados à geração de eletricidade, o que significa aproximadamente 7% do total. Para um cenário de “Nova Política”, este percentual dobra e é considerado então o percentual de 14% para o Cenário 1,5°C. Tal premissa foi incluída a partir de 2030, ano em que a EPE (2016) adota um maior aproveitamento dos resíduos agrícolas para geração do biogás.

O custo total considerado para geração de energia elétrica a partir do dejetos suíno foi de R\$ 15.774,87/kW instalado, em reais de 2015, e inclui a planta de biodigestão e o motor de combustão interna + grupo gerador. Deste custo total, 5% são adotados como custos de operação e manutenção (EPE, 2014). Considera-se também a aplicação de uma taxa de desconto de 8% a.a. e uma vida útil de projeto de 20 anos. A receita considerada foi de R\$ 131,90/MWh gerado.ano, em reais de 2015, e se baseia na venda da energia elétrica ao *grid*.

#### **viii. Incremento de Carbono em áreas de Unidades de Conservação e Terras Indígenas**

De acordo com as diretrizes do IPCC (2006) para Inventários Nacionais, é prevista a contabilização das emissões e remoções antrópicas de GEE em áreas manejadas. No Inventário Nacional (Brasil, 2016) define-se como Área Manejada aquela contida em Terras Indígenas (TIs) e em Unidades de Conservação (UCs) municipais, estaduais e federais, excetuando-se as Reservas Particulares de Preservação Natural (RPPN) devido à falta de informação consistente. Portanto, a partir da criação e manutenção de unidades de proteção de vegetação nativa, tais áreas passam a ser consideradas “florestas manejadas”, e o respectivo sequestro de carbono, remoção antrópica.

Sendo assim, o Inventário Nacional de Emissões (Brasil, 2016) considera em sua metodologia a inclusão da remoção de carbono em UCs e TIs, para contabilização das emissões líquidas. Tendo em vista a contabilização desta fonte de remoção pelo Inventário Nacional e a importância da preservação dessas áreas para a manutenção dos estoques de carbono, optou-se por considerar tais remoções como uma medida de mitigação para este estudo.

Para ambos os cenários foi considerada a área de UCs e TIs de 191 milhões de hectares, referente ao ano de 2010 (Brasil, 2016) até o ano de 2030. Adotou-se a premissa de que a partir deste ano há um incremento de área de UC e TI, totalizando 237 milhões de hectares em 2040 e, que essa área permanece constante até 2050.

#### **ix. Incremento de Carbono em Áreas Privadas com Conservação Florestal via Incentivos Econômicos**

Incentivos econômicos previstos na legislação podem contribuir para a redução do desmatamento fazendo com que a vegetação dessas áreas não desmatadas removam carbono, tal qual as Unidades de Conservação e as terras indígenas.

Os principais incentivos podem vir de mecanismos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e comércio de Cotas de Reserva Ambiental (CRA), previstos no Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 e modificações posteriores) (Brasil, 2012B). A CRA é um título legal negociável representativo de áreas com vegetação nativa intacta ou em regeneração que excedem os requisitos da Reserva Legal (RL). Portanto, o proprietário ou possuidor de imóvel com Reserva Legal conservada e inscrita no Cadastro Ambiental Rural – CAR, cuja área ultrapasse o mínimo exigido por Lei, poderá utilizar a área excedente para fins de constituição de Cota de Reserva Ambiental.

De acordo com o Código Florestal, produtores rurais que precisam restaurar a vegetação nativa para atender os requisitos mínimos da RL, podem optar em manter a sua área produtiva e compensar a sua RL. Uma das formas de se fazer esta compensação é através de contratos de CRA no mesmo bioma<sup>3</sup> e estado, ou em área definida como prioritária em outro estado. Rajão et al., (2015) consideram o CRA como um instrumento potencial para impedir a supressão de vegetação nativa além dos limites impostos pela lei, ou seja, proteger áreas que poderiam ser legalmente desmatadas.

Deste modo, a adoção de mecanismos como PSA e CRA foi considerada neste estudo como uma medida de mitigação para reduzir, a partir de 2021, o desmatamento legal nos biomas Amazônia, Cerrado e Pampa, em áreas oriundas de propriedades privadas, com titularidade de 30 anos perfazendo um total de 3,5 milhões hectares. O valor da área e sua respectiva distribuição nos biomas foram definidos com base nos estudos de Soares Filho et al., (2016) e Rajão et al., (2015).

O custo de mitigação desta medida foi de 3.109,89 R\$/CRA.ano (1 CRA = 1 ha de floresta nativa preservado), em reais de 2015, sendo o custo anual administrativo para evitar o desmatamento de R\$ 315,00/ha.ano (Soares Filho et al, 2016) referente a registros, fiscalização, multas, e o custo de oportunidade da terra de R\$ 2.795,00/ha.ano, em reais de 2015, referente à média do custo da terra nos biomas considerados (Agriannual, 2015).

A Tabela 1 apresentada uma síntese das medidas de mitigação adotadas no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C, bem como a evolução da penetração de cada medida ao longo dos anos.

---

<sup>3</sup> Ver nova interpretação dada pelo Supremo Tribunal Federal, em 2018.

**Tabela 1.** Medidas de mitigação consideradas no Cenário de Referência e hipóteses de penetração no período 2010-2050

Medidas de Mitigação	Penetração (milhões de ha)				
	2010	2020	2030	2040	2050
Expansão de Floresta Econômica REF	6,5	6,6	7,3	9,9	13,1
Expansão de Floresta Econômica 1,5°C*	6,5	6,6	8,0	11,1	14,9
Integração Pecuária Floresta REF	0	1,2	5,0	5,0	5,0
Integração Pecuária Floresta 1,5°C	0	1,20	5,0	10,0	15,0
Restauração de Floresta Nativa REF	0	0,5	1,5	4,0	11,4
Restauração de Floresta Nativa 1,5°C	0	0,5	2,4	6,9	21,0
Incremento de C em UC e TI** REF	191,5	191,5	191,5	237,5	237,5
Incremento de C em UC e TI 1,5°C	191,5	191,5	191,5	237,5	237,5
Sistema de Plantio Direto REF	30,8	39,3	45,9	47,6	47,8
Sistema de Plantio Direto 1,5°C	30,8	39,3	49,5	50,6	49,8
Fixação Biológica de Nitrogênio REF	23,3	33,4	42,4	46,3	47,6
Fixação Biológica de Nitrogênio 1,5°C	23,3	33,4	52,4	55,3	56,1
Recuperação de Pastagens REF	0	7,8	15,0	22,5	30,0
Recuperação de Pastagens 1,5°C	0	7,8	20,0	40,0	60,0
Tratamento de Dejetos de Suínos*** REF	0	0,5	0,8	1,7	4,0
Tratamento de Dejetos de Suínos 1,5°C	0,0	0,5	2,4	4,5	8,1
Conservação Florestal em áreas privadas desmatáveis legalmente 1,5°C	0	0	0,3	1,0	3,5

\* Inclui área de florestas para pellets; \*\*UC-Unidade de Conservação e TI-Terras Indígenas; \*\*\*Milhões de toneladas

## 6. Resultados

Os resultados das projeções de AFOLU para os Cenários de Referência e 1,5°C são apresentados em termos de:

- Oferta de produtos agropecuários (farelo de soja, óleo de soja, açúcar, etanol e biodiesel e madeira);
- Produtividade, produção e área plantada das culturas agrícolas, florestais e da pecuária.
- Emissões e remoções de CO<sub>2</sub>e das tecnologias analisadas.

### 6.1. Cenário de Referência

#### 6.1.1. Oferta de Produtos Agropecuários

Conforme apresentado na Tabela 2, a produção da maioria dos produtos analisados cresce de forma expressiva até o ano de 2050, influenciados tanto pelo consumo doméstico quanto pelas exportações líquidas.

**Tabela 2.** Resultados da oferta de produtos agropecuários no Cenário de Referência

Produção (milhões de t )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Farelo de Soja	23,13	27,00	30,77	35,84	37,82	42,69	45,16	52,88	55,93	59,50
Óleo de Soja	5,74	6,93	8,07	9,20	9,71	10,96	11,59	13,57	14,36	15,27
Açúcar	34,18	38,01	33,84	35,56	37,38	39,25	44,23	49,85	56,18	63,29
Etanol total*	16,28	28,32	32,62	31,76	38,25	46,64	53,39	59,81	63,43	66,14
Etanol 1G*	16,28	28,32	32,62	31,45	36,14	41,97	46,72	50,84	52,33	52,91
Etanol 2G*	0,00	0,00	0,00	0,32	2,10	4,66	6,67	8,97	11,10	13,23
Biodiesel	0,00	2,39	3,94	5,42	5,76	7,42	7,83	10,47	11,18	12,14

\* Bilhões de litros

\*\* Milhões de m<sup>3</sup>

Fonte: Elaboração própria

A projeção da produção de biodiesel chega a 12,14 bilhões de litros em 2050, representando um crescimento expressivo comparando-se a 2010, quando sua produção era de 2,4 bilhões de litros. O aumento da parcela de biodiesel na mistura do diesel representa uma das medidas propostas pela NDC em busca do alcance da meta de, aproximadamente, 18% da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira, até o ano de 2030. O aumento de biodiesel na mistura passa de B7, em 2015, para B12 na agropecuária, ligeiramente superior que nos demais setores (B12), em 2030. Tal medida pode ser considerada como um dos principais responsáveis por este expressivo crescimento da produção de biodiesel no período de 2010-2050, que reflete o aumento da demanda do combustível pelos setores energéticos, principalmente o de transportes, e que chega a 2050 com a mistura no diesel de B18 e B15 para agropecuária e para os outros setores, respectivamente.

As produções dos derivados da soja, o óleo de soja e o farelo de soja, também têm um expressivo crescimento no período de 2005-2010, com suas projeções chegando a 15,27 e 59,50 milhões de toneladas em 2050, respectivamente. O óleo de soja, além de suprir a demanda doméstica da indústria alimentícia e química, é a principal matéria-prima para produção do biodiesel. A parte da sua produção destinada à produção do biodiesel alcança mais de 50% no fim do período, o que mostra como seu crescimento também é impulsionado pelo aumento da demanda do biodiesel.

De acordo com a projeção feita pelo setor de indústria deste mesmo projeto<sup>4</sup>, a produção de açúcar no período de 2015-2030 apresenta crescimento médio de 10% e de 2030 a 2050 de cerca de 61%, passando de 39,2 milhões de toneladas em 2030 para 63,2 milhões de toneladas em 2050 (Tabela 2). De acordo com os dados da OECD/FAO (2015) o percentual de açúcar exportado seria equivalente, em média, a cerca de 60 a 70% do total produzido.

Com relação ao etanol anidro e hidratado a produção atinge 46,6 bilhões de litros em 2030 e 66,1 bilhões de litros em 2050 (Tabela 2). Deste total produzido, 6% em média são destinados à exportação, 4% ao uso não energético (industrial) e a maior parte ao consumo energético doméstico, particularmente, do setor de transportes<sup>5</sup>.

De acordo com a modelagem do setor de transportes, o etanol anidro seria utilizado no modo rodoviário em adição de até 27% à gasolina. O etanol hidratado seria utilizado nos veículos leves *flexible fuel* e híbridos. Quanto à escolha do tipo de combustível para os veículos do tipo *flexible fuel* e para os veículos leves híbridos a utilização foi ajustada linearmente até alcançar o percentual de 70% para o etanol hidratado em 2050, tendo como base a NDC que visa aumentar o consumo de

---

<sup>4</sup> Ver detalhes no capítulo de indústria

<sup>5</sup> Ver detalhes no capítulo de transportes

biocombustíveis na matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, aumentando assim oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração). O percentual de 70% foi calculado com base na evolução do modo rodoviário de passageiros, conforme previsão do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) sobre utilização do etanol em substituição à gasolina, e com base em uma visão conservadora da estimativa declarada na NDC brasileira, da produção de etanol em 2025 e 2030 de 45 e 54 bilhões de litros, respectivamente.

A projeção de produção de etanol de segunda geração no Cenário de Referência passou a ser produzido a partir de 2020, utilizando a biomassa de uma nova variedade de cana, denominada cana-energia. O percentual de produção de etanol 2G em 2020 é de 1% da produção total e chega 20% em 2050. A produção de E2G em 2030 foi de 4,6 bilhões de litros e em 2050 de 13,2 bilhões de litros (Tabela 2).

### **6.1.2. Produtividade, Produção e Área plantada**

As hipóteses de produtividade, e os resultados de produção e de área plantada das culturas agrícolas, florestas comerciais e de pastagens, para o período de 2010 a 2050, são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 3, 4 e 5.

Ao avaliar as projeções de crescimento da produção das culturas, a tendência foi de aumento da produção entre 2010-2050, com exceção do milho que apresenta taxa de crescimento negativa no período 2015-2020. A cultura que apresentou maior taxa de crescimento, em termos de produção foi a cana-de-açúcar (Tabela 4). Por outro lado, de modo geral, observa-se uma redução da área total ocupada pela agricultura no país em 2050 (Tabela 5), pelos ganhos de produtividade do setor.

A produção das culturas de soja, milho e outros grãos foi estimada até 2050 de acordo com o comportamento do PIB doméstico e, ainda que o PIB utilizado para as projeções dessas culturas tenha sido ajustado no período de 2014-2023 para que fosse possível amortecer a queda sofrida recentemente, o crescimento da produção foi menor do que o esperado nesse período. Contudo, até 2050, com a retomada do crescimento sustentado da economia a partir de 2020, a projeção da produção chega a 165,66 milhões de toneladas, aumentando em quase 2 vezes seu valor no período de 2015-2050 (Tabela 4).

**Tabela 3.** Produtividade média das culturas analisadas e taxa de lotação da pecuária bovina no Cenário de Referência

PRODUTIVIDADE (t/ha)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CULTURAS AGRÍCOLAS</b>									
Cana-de-açúcar	67,70	61,34	72,73	74,33	93,30	97,27	101,25	103,81	106,37
Cana-energia			250,00	270,00	300,00	320,00	340,00	360,00	380,00
Milho	4,54	5,16	5,80	6,30	6,88	7,50	8,13	8,77	9,40
Soja	2,95	3,03	3,31	3,38	3,58	3,80	4,03	4,27	4,50
Outros grãos	2,28	2,69	2,99	3,33	3,71	4,14	4,61	5,14	5,72
<b>Taxa de lotação – pastagem não recuperada (cabeça de gado/ha)</b>	1,22	1,25	1,26	1,28	1,29	1,31	1,32	1,34	1,35
<b>Taxa de lotação- pastagem recuperada (cabeça de gado/ha)</b>		1,36	1,52	1,68	1,85	2,01	2,17	2,34	2,50

Fonte: Cana-de-açúcar: IBGE (2016), Única, (2016) e EPE (2015); Milho e soja: IBGE (2016) e MCTI, GEF (2016); Outros grãos: IBGE (2016) e usando taxa CAGR; Taxa de lotação pecuária bovina: ABIEC (2016) e MCTI, GEF (2016)

**Tabela 4.** Resultados da produção das culturas agrícolas, floresta plantada de pinus e eucalipto e pecuária no Cenário de Referência

PRODUÇÃO	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CULTURAS AGRÍCOLAS (milhões de t)</b>									
Cana-de-açúcar e cana energia	620,41	569,64	638,43	716,15	859,42	1010,41	1167,40	1287,75	1402,54
Milho	55,36	85,28	82,64	93,05	110,41	124,23	138,04	151,85	165,66
Soja	68,76	97,46	110,15	124,52	142,83	156,06	176,47	189,42	203,07
Outros Grãos	26,31	28,55	29,97	31,49	34,03	36,04	38,06	40,08	42,10
<b>FLORESTA PLANTADA (milhões de m<sup>3</sup>)</b>									
Produção madeireira (sem iPF)	228,77	243,20	231,05	237,99	253,78	300,92	346,40	397,89	458,87
Produção madeireira (em iPF)	*	14,40	28,80	50,40	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00
Produção madeireira total	228,77	257,60	259,85	288,39	325,78	372,92	418,40	469,89	530,87
<b>PECUÁRIA (milhões de cabeças)</b>									
Rebanho bovino	209,54	215,20	209,74	213,00	218,43	222,75	227,07	231,39	235,71
Rebanho Bovino de leite	22,92	21,75	25,04	26,46	28,83	30,71	32,59	34,48	36,36
Suínos	38,96	40,33	43,16	45,71	49,98	53,37	56,75	60,14	63,53

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 5.** Área plantada das culturas agrícolas, floresta plantada e pastagem no Cenário de Referência

ÁREA PLANTADA (milhões de ha)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CULTURAS AGRÍCOLAS</b>									
Cana-de-açúcar e cana energia	9,12	9,29	8,67	8,99	8,43	9,33	10,20	10,81	11,35
Milho – 1ª safra	7,14	5,92	3,89	3,91	4,68	4,41	4,02	3,58	3,08
Milho – 2ª safra	5,05	9,93	10,42	10,92	11,41	12,20	12,99	13,79	14,58
Soja	23,34	32,21	33,28	36,84	39,92	41,07	43,75	44,40	45,13
Outros grãos	11,56	10,63	10,02	9,45	9,16	8,71	8,26	7,80	7,36
Área total de culturas agrícolas	56,21	67,97	66,28	70,11	73,60	75,73	79,22	80,37	81,50
<b>FLORESTA PLANTADA</b>									
Floresta plantada (sem iPF)*	6,51	6,85	6,56	6,83	7,34	8,67	9,95	11,40	13,12
Floresta plantada (em iPF)	0,00	0,60	1,20	2,10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Área total de florestas plantadas	6,51	7,45	7,76	8,93	10,34	11,67	12,95	14,40	16,12
<b>PECUÁRIA</b>									
Pastagens para rebanho bovino	171,76	171,83	164,31	162,85	162,53	160,33	157,33	153,56	149,05
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>229,43</b>	<b>237,33</b>	<b>227,93</b>	<b>230,97</b>	<b>235,06</b>	<b>235,52</b>	<b>236,51</b>	<b>234,55</b>	<b>232,09</b>
ÁREA TOTAL (com milho 2ª safra)	234,48	247,26	238,35	241,89	246,47	247,72	249,5	248,34	246,67

\*iPF = integração Pecuária Floresta. Fonte: Elaboração própria

A projeção da produção de soja, além do comportamento do PIB doméstico, também sofre a influência do comportamento do PIB mundial, já que aproximadamente 50% da sua produção destinam-se ao mercado externo. Dessa forma, até mesmo no período de queda do PIB doméstico, a projeção de sua produção manteve-se em crescimento, chegando em 2050 com 203,07 milhões de toneladas de grãos de soja, dobrando o seu valor no período de 2015-2050 (Tabela 4). A projeção da produção de outros grãos tem o menor aumento no período de 2015-2050 entre as três culturas, alcançando a produção de 42,10 milhões de toneladas (Tabela 4).

Apesar do aumento considerável no valor da produção, as projeções das áreas plantadas dessas culturas não aumentam na mesma proporção e, no caso de outros grãos, até mesmo ocorre o processo contrário, ou seja, é observada queda no valor da área plantada. No caso da soja, ocorre o aumento da área plantada, porém como sua produtividade cresce de 3,03 para 4,50 t/ha no período de 2015-2050 (Tabela 3), a área plantada chega a 45,13 milhões de hectares, um aumento de aproximadamente 40% no mesmo período (Tabela 5). Para o milho, considera-se o aumento na produtividade de 5,16 para 9,4 t/ha no período de 2015-2050 (Tabela 3). A área total aumenta cerca de 11%, contudo, nota-se uma importante diferença entre o crescimento da área plantada do milho de 1ª safra e do milho de 2ª safra. A área plantada do milho de 2ª safra, também conhecido como “milho safrinha” por não ter tanta importância até há poucos anos atrás, aumenta de 9,93 para 14,58 milhões de hectares no mesmo período. Já a área plantada do milho de 1ª safra sofre uma queda de 48%, chegando a 3,08 milhões de hectares em 2050 (Tabela 5). A área plantada de outros grãos sofre uma queda de 21% no período de 2015-2050, com um aumento de produtividade de 2,69 para 5,72 t/ha no mesmo período (Tabela 3).

A produção de cana-de-açúcar e de cana energia duplicou no período de 2015-2050, atingindo uma produção de 859,42 milhões de toneladas em 2030 e 1,40 bilhões em 2050, conforme apresentado na Tabela 4. O *share* da produção de cana destinado à produção de açúcar e de etanol foi em média de, respectivamente, 40% e 60% em 2030 e de 46% para açúcar e 54% para etanol em 2050.

Considerando o aumento gradual de produtividade da cana-de-açúcar e da cana-energia (Tabela 3) bem como o rendimento agroindustrial da produção de etanol de primeira e de segunda geração, mencionados no item 3.2, a área plantada de cana estimada para o ano de 2050 de 11,35 milhões de hectares (Tabela 5). Tendo em vista o plantio da cana energia e a produção de etanol de segunda geração, a partir de 2020, observa-se uma retração na expansão da área plantada de cana no período de 2020-2030 e, posterior aumento da área ocupada com esta cultura entre 2030-2050. Em

2030 a área plantada de cana energia é equivalente à 354,69 mil hectares e em 2050 a 713,15 mil hectares.

De acordo com a projeção da produção de madeira oriunda de florestas plantadas, que visa atender às demandas dos segmentos de celulose e papel, energia, madeira serrada, painéis e outros usos, a quantidade de madeira a ser produzida em 2050 é de 530,87 milhões de m<sup>3</sup> (Tabela 4). Deste total, cerca de 14% são madeira oriunda de sistemas de integração Pecuária Florestas (iPF) e 86% de florestas homogêneas (não consorciadas). A produtividade média por hectare considerada para as florestas plantadas em sistema homogêneo aos sete anos de idade, foi de 40m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup>, enquanto que nos sistemas de iPF foi de 26 m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup> (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

Observa-se um grande crescimento na demanda de madeira de floresta plantada para energia entre o período de 2015 e 2050. A demanda de madeira para produção de carvão vegetal, oriunda de floresta plantada passa de 40,17 milhões de m<sup>3</sup>, em 2015 para cerca de 63,69 milhões m<sup>3</sup> em 2050. Isso se deve, principalmente, ao aumento na demanda de carvão vegetal na indústria de ferro-gusa e aço, estimada pelo setor industrial<sup>6</sup>. No caso da lenha para queima direta, o aumento é ainda mais expressivo no período de 2015-2050. A demanda de madeira para lenha passou de 75,29 milhões m<sup>3</sup> em 2015 para 205,72 milhões m<sup>3</sup> em 2050. Esse aumento tornou-se significativo, particularmente, após o ano de 2030, quando há maior demanda dessa biomassa para uso nas centrais hidrelétricas de serviço público (bioeletricidade) conforme estimativa do setor de oferta de energia<sup>7</sup>.

Ressalta-se que de acordo com as premissas adotadas neste estudo, até o ano de 2030, o segmento de energia ainda absorve um percentual de madeira oriunda de florestas nativas, e não apenas de florestas plantadas. E, a partir de 2030, 100% da madeira destinada à produção de carvão e para lenha é oriunda apenas de floresta plantada.

A área de florestas plantadas não consorciadas, de pinus e eucalipto, para fins comerciais atinge 13,12 milhões de hectares em 2050. Quando considerados os 3 milhões de hectares de iPF (60% da área de 5Mha de iPF), a área total é de 16,12 milhões de hectares (Tabela 5).

Segundo o Plano ABC, a meta relacionada às florestas plantadas é de expandir 3 milhões de hectares, até 2020, com relação ao ano de 2010. Ou seja, atingir 9,5 milhões de hectares em 2020. A estimativa de área plantada de floresta econômica não consorciada, para o período 2015-2050, segundo as demandas dos setores energético, industrial, residencial, comercial e de serviços, atingiu os 9,5 milhões

---

<sup>6</sup> Ver detalhes no capítulo de indústria

<sup>7</sup> Ver detalhes no capítulo de oferta de energia

de hectares no ano de 2038 e quando consideradas a integração pecuária-floresta a área chega a 9,6 milhões de hectares em 2027. Ou seja, a meta do plano ABC foi levada em conta com uma dada flexibilização de prazo, pois tendo em vista a conjuntura econômica do Brasil, priorizou-se proceder às estimativas de área considerando a demanda dos setores absorvedores de biomassa de floresta plantada.

Com relação à pecuária observa-se um aumento no número de cabeças do rebanho bovino, de leite e suíno no período de 2015-2050. Assim como nas culturas de soja, milho e outros grãos, a evolução do PIB doméstico também foi utilizada na projeção do número de cabeças dos rebanhos no período. Em 2020, por limitações da modelagem, o número de cabeças de rebanho bovino sofre uma queda de um pouco menos de 3% em relação a 2015 e só volta a superar o número de cabeças de 2015 em 2030, quando chega a 218,43 milhões de cabeças, quase 2% a mais do que o valor de 2015. Para 2050 são estimadas 235,71 milhões de cabeças de rebanho bovino. Os rebanhos de bovino de leite e de suíno apresentam os maiores crescimentos da pecuária no período de 2015-2050, com um aumento de 67% e 57%, chegando em 2050 com a projeção de 36,36 e 63,34 milhões de cabeças, respectivamente (Tabela 4).

Quanto à taxa de lotação do rebanho bovino, adota-se a taxa de 1,3 cabeças de gado/hectare em pastagens não recuperadas e 2,5 cabeças de gado/hectare para pastagens recuperadas (Tabela 3), em virtude da medida de mitigação adotada referente à recuperação de áreas de pastagens degradadas (15 milhões de ha até 2050). A intensificação da pecuária proporciona uma redução da área de pastagem de 171,83 milhões de hectares em 2015 para 149,05 milhões de hectares em 2050 (Tabela 5).

## **6.2. Cenário 1,5°C**

### **6.2.1. Oferta de Produtos Agropecuários**

As premissas econômicas adotadas no Cenário de 1,5°C foram as mesmas do Cenário de Referência. Entretanto, foram incorporados os resultados das medidas de mitigação dos setores de indústria, transporte e de energia, que resultaram em um cenário com maior produção de biomassa florestal, biodiesel e menor produção de etanol. Isso implica em alterações na produção das culturas e na ocupação das áreas ocupadas pela agricultura e florestas, quando comparado ao Cenário de Referência.

Conforme apresentado na Tabela 6, a produção de biodiesel, em 2050, foi de 13,76 bilhões de litros no Cenário 1,5°C, o que reflete um aumento de 13% em relação ao Cenário de Referência. Por

outro lado, a produção de Etanol é de 44,90 bilhões de litros neste mesmo ano. Ou seja, redução de 33% comparado ao Cenário de Referência. Esse comportamento é influenciado, particularmente, pelas medidas de mitigação adotadas no setor de transportes, que visam a maior participação de biocombustíveis (biodiesel), inclusão de novos biocombustíveis como o bioquerosene e bio-óleo, aumento da participação de veículos elétricos, além de maior participação do transporte metroviário de passageiros e de veículos compartilhados. Tendo em vista que essas tendências se refletem principalmente na quantidade de etanol demandado, não foi considerada a produção do etanol de segunda geração no Cenário de 1,5°C.

**Tabela 6.** Oferta de produtos agropecuários no Cenário de 1,5°C

Produção (milhões de t )	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Farelo de Soja	27,00	30,77	36,23	38,34	51,67	52,22	58,94	63,63	63,65
Óleo de Soja	6,93	8,07	9,30	9,84	13,26	13,40	15,13	16,33	16,34
Açúcar	38,01	33,84	35,56	37,38	39,25	44,23	49,85	56,18	63,29
Etanol 1G*	28,32	32,62	31,76	36,00	40,39	44,83	47,18	47,59	44,90
Biodiesel	2,39	3,94	5,56	5,95	11,13	10,73	12,89	14,25	13,76

\* Bilhões de litros

Fonte: Elaboração própria

## 6.2.2. Produtividade, Produção e Área plantada

Assim como no Cenário de Referência a produção agrícola e florestal cresce no Cenário 1,5°C, no período de 2020-2050. Entre 2015 e 2020 algumas culturas e a produção florestal apresentam queda em alguns anos, reflexo da redução da atividade econômica simulada nesse período.

No ano de 2050, a produção de grãos totaliza 416,51 milhões de toneladas, valor superior ao do Cenário de Referência, devido à nova demanda de produtos de soja. No caso da produção de cana-de-açúcar houve uma redução de 25% na em relação ao Cenário de Referência, passando de 1.402,54 milhões de toneladas para 1.031,45 milhões. Essa redução ocorre devido na queda da produção de etanol, conforme citado anteriormente.

A produção de madeira oriunda de floresta plantada é crescente ao longo do período 2020-2050, atingindo 731,69 milhões de m<sup>3</sup> em 2050 (Tabela 7). A quantidade de madeira produzida no Cenário 1,5°C é 38% superior em relação ao Cenário de Referência em 2050. Esse aumento é devido às taxas de crescimento anuais positivas, adotadas nos segmentos de florestas plantadas (madeira serrada, painéis e outros usos) a partir de 2020; à maior participação de biomassa florestal na matriz energética, medida de mitigação simulada no setor de energia e; à inclusão da produção de pellets de madeira oriunda de floresta plantada neste cenário.

A demanda de biomassa de floresta plantada pelo setor energético, para uso em centrais elétricas cresce expressivamente a partir de 2020 no Cenário 1,5°C. No período 2020 a 2035 a taxa de crescimento anual chega a 6% (período de maior expansão). A partir de 2030 a demanda continua a crescer, porém em taxas menores. A demanda de biomassa para produção de carvão vegetal também cresce neste cenário, porém em taxas bem menores, cerca de 1,3% ao ano no período 2020-2050.

Os valores de produtividade considerados no Cenário 1,5°C são os mesmos do Cenário de Referência (Tabela 3). Portanto, as áreas ocupadas pelas culturas neste Cenário refletem apenas o aumento ou a redução do nível da atividade.

A área ocupada com culturas agrícolas neste cenário aumenta de 67,97 milhões de hectares em 2015 para 81,10 milhões de hectares em 2050 (Tabela 8). No Cenário de Referência a área total atinge a 81,50 milhões de hectares. Essa diferença é devido ao aumento da área de soja e redução da área de cana no Cenário 1,5°C.

Embora a demanda total de madeira dos segmentos celulose e papel, energia, madeira serrada, painéis e outros usos (exceto para pellets) seja maior no Cenário 1,5°C, em 2050, a área ocupada com florestas plantadas homogênea para tais finalidades é menor (12,75 milhões de hectares) comparada ao Cenário de Referência (13,10 Mha). Isso porque no Cenário 1,5°C há maior expansão de área de

florestas em sistemas de integração pecuária-floresta (15Mha em 2050), os quais, juntamente com os plantios homogêneos atende à demanda de madeira estimada (Tabela 8). A área de floresta plantada para pellets atinge 2,15 milhões de hectares em 2050, visando atender uma demanda estimada, para 2050, de 22,12 milhões de toneladas de pellets.

Com relação à pecuária a projeção do número de os bovinos de leite e suínos não alterou comparado ao Cenário de Referência. Já na categoria bovino de corte houve uma redução de 16% no número de cabeças de gado, no ano de 2050, no Cenário 1,5°C. Em 2015, o rebanho bovino totalizava 215,2 milhões de cabeças e, em 2050, 196,46 milhões, redução equivalente a 9% ao longo do período.

A redução do rebanho bovino neste cenário foi simulada considerando a projeção da produção de carne ao longo do período (De 2015-2027 dados do MAPA e após 2027 taxas de crescimento da FAO: 2015-30 = 1,22%aa e 2031-50 = 0,64%) e um aumento exponencial de 20% na produtividade do rebanho ao longo dos anos, considerando as premissas recuperação de pastagens, manejo de áreas de pastagens, melhoria genética e redução da idade de abate de 37 para 27 meses (Strassburg, 2014).

A área de pastagem apresenta uma redução de 45% no período 2015-2050, totalizando 94,39 milhões de hectares em 2050 no Cenário 1,5°C (Tabela 8). Esse valor, comparado à área de pastagem do Cenário de Referência, representa uma redução de 36%, em 2050. Isso ocorre, particularmente devido ao aumento da área de pastagem recuperada neste cenário, que parte de 20 milhões de hectares em 2030 e chega a 60 milhões em 2050, e conseqüentemente ocasiona o aumento da taxa de lotação por hectare.

**Tabela 7.** Produção das culturas agrícolas, floresta plantada de pinus e eucalipto e pecuária no Cenário de 1,5°C

PRODUÇÃO	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CULTURAS AGRÍCOLAS (milhões de t)</b>									
Cana-de-açúcar	620,41	569,64	630,93	648,21	735,77	841,29	931,10	997,11	1031,47
Milho	55,36	85,28	82,64	93,05	110,41	124,23	138,04	151,85	165,66
Soja	68,76	97,46	110,69	125,24	155,09	165,71	184,75	199,94	208,75
Outros Grãos	26,31	28,55	29,97	31,49	34,03	36,04	38,06	40,08	42,10
<b>FLORESTA PLANTADA (milhões de m<sup>3</sup>)</b>									
Produção madeireira (sem iPF)*	228,77	243,20	230,36	232,04	262,33	303,17	340,30	373,45	429,68
Produção madeireira (em iPF)	*	14,40	28,80	50,40	72,00	108,00	144,00	180,00	216,00
Produção madeira para Pellets		0,29	0,80	8,78	18,61	32,62	46,64	66,32	86,01
Produção madeireira total	228,77	257,89	259,96	291,22	352,94	443,79	530,94	619,77	731,69
<b>PECUÁRIA (milhões de cabeças)</b>									
Rebanho bovino	209,54	215,20	209,74	209,54	212,66	213,22	211,49	206,34	196,43
Rebanho Bovino de leite	22,92	21,75	25,04	26,46	28,83	30,71	32,59	34,48	36,36
Suíños	38,96	40,33	43,16	45,71	49,98	53,37	56,75	60,14	63,53

\*iPF = Integração Pecuária Floresta  
 Fonte: Elaboração própria

**Tabela 8.** Área plantada das culturas agrícolas, floresta plantada e pastagem no Cenário de 1,5°C

ÁREA PLANTADA (milhões de ha)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>CULTURAS AGRÍCOLAS</b>									
Cana-de-açúcar	9,12	9,29	8,68	8,72	7,89	8,65	9,20	9,61	9,70
Milho – 1ª safra	7,14	5,92	3,89	3,91	4,68	4,41	4,02	3,58	3,08
Milho – 2ª safra	5,05	9,93	10,42	10,92	11,41	12,20	12,99	13,79	14,58
Soja	23,34	32,21	33,44	37,05	43,35	43,61	45,81	46,86	46,39
Outros grãos	11,56	10,63	10,02	9,45	9,16	8,71	8,26	7,80	7,36
Área total de culturas agrícolas	56,21	67,97	66,45	70,05	76,49	77,58	80,28	81,63	81,10
<b>FLORESTAS PLANTADAS</b>									
Floresta plantada (sem iPF)*	6,51	6,85	6,54	6,66	7,58	8,85	10,01	11,06	12,75
Floresta plantada (em iPF)	0,00	0,60	1,20	2,10	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00
Florestas plantadas para pellets		0,01	0,02	0,22	0,47	0,82	1,17	1,66	2,15
Área total de florestas plantadas	6,51	7,46	7,76	8,98	11,05	14,17	17,18	20,22	23,90
<b>PECUÁRIA</b>									
Pastagens para rebanho bovino	171,76	171,83	164,31	159,48	155,92	146,98	134,26	117,01	94,39
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>229,43</b>	<b>237,33</b>	<b>228,08</b>	<b>227,59</b>	<b>232,05</b>	<b>226,52</b>	<b>218,72</b>	<b>205,07</b>	<b>184,82</b>
ÁREA TOTAL (com milho 2ª safra)	234,48	247,26	238,50	238,51	243,46	238,72	231,71	218,86	199,40

\*iPF = integração Pecuária Floresta

Fonte: Elaboração própria

### 6.3. Emissões Líquidas do Setor de AFOLU no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C

Segundo dados do Terceiro Inventário Nacional de Emissões de GEE (BRASIL, 2016), em 2010 o setor de AFOLU emitiu 827.747 GgCO<sub>2</sub>e, sendo que a Agricultura foi responsável pela emissão de 472.741 GgCO<sub>2</sub>e e a Mudança do Uso da Terra e Florestas, incluindo calagem, pela emissão líquida de 355.006 GgCO<sub>2</sub>e. As emissões da Agricultura representaram 35% das emissões totais de CO<sub>2</sub>e do país em 2010, enquanto as relacionadas à Mudança do Uso da Terra e Florestas representaram 26%.

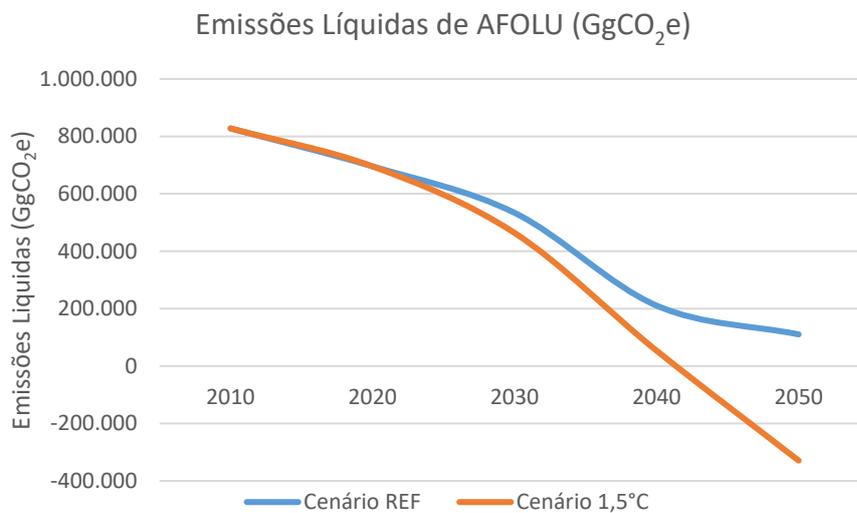
Durante o período 2010-2015, onde as estimativas foram efetuadas usando dados publicados, verificou-se aumento no total das emissões líquidas de AFOLU. Entre 2015-2020 observa-se queda das emissões e, da mesma forma haveria queda nas emissões ao longo do período, atingindo, em 2050, 110.315 GgCO<sub>2</sub>e no Cenário de Referência e -329.107 GgCO<sub>2</sub>e no Cenário 1,5°C (Tabela 9). Entre 2015 e 2020, tal queda pode ser atribuída à redução da produção devido à influência da crise econômica (queda do PIB no período inicial) e, no médio e longo prazo, à intensificação de medidas de mitigação relacionadas ao Plano ABC e à NDC.

Conforme apresentado na Tabela 9 e na Figura 2 as estimativas mostraram uma forte redução das emissões líquidas totais de AFOLU, a partir de 2020, no Cenário de 1,5°C. Essa redução está relacionada ao esforço adicional de mitigação, implícito neste Cenário, o qual é expresso principalmente pelo subsetor de Mudança de Uso da Terra (Figura 3).

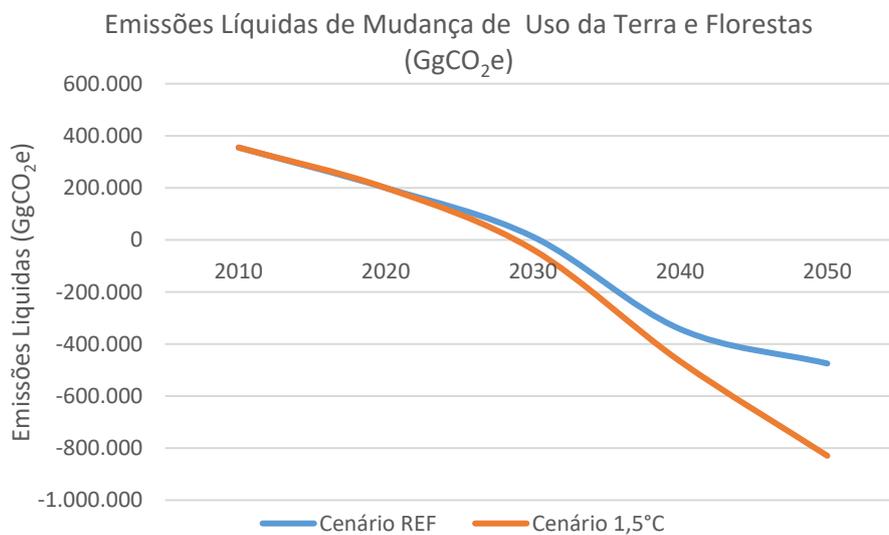
**Tabela 9.** Emissões líquidas do setor de AFOLU no Cenário de Referência e no Cenário 1,5°C (Gg CO<sub>2</sub>e)

Emissões totais (GgCO <sub>2</sub> e)	2010*	2020	2030	2040	2050
<b>AFOLU</b>					
Cenário REF	827.747	695.459	533.664	210.621	110.315
Cenário 1,5°C	827.747	695.406	463.553	53.559	-329.107
<b>Mudança de Uso da Terra e Florestas</b>					
Cenário REF	355.006	199.845	12.205	-342.724	-474.957
Cenário 1,5°C	355.006	199.872	-36.922	-466.683	-829.488
<b>Agricultura</b>					
Cenário REF	472.741	495.613	521.459	553.345	585.272
Cenário 1,5°C	472.741	495.534	500.475	520.242	500.381

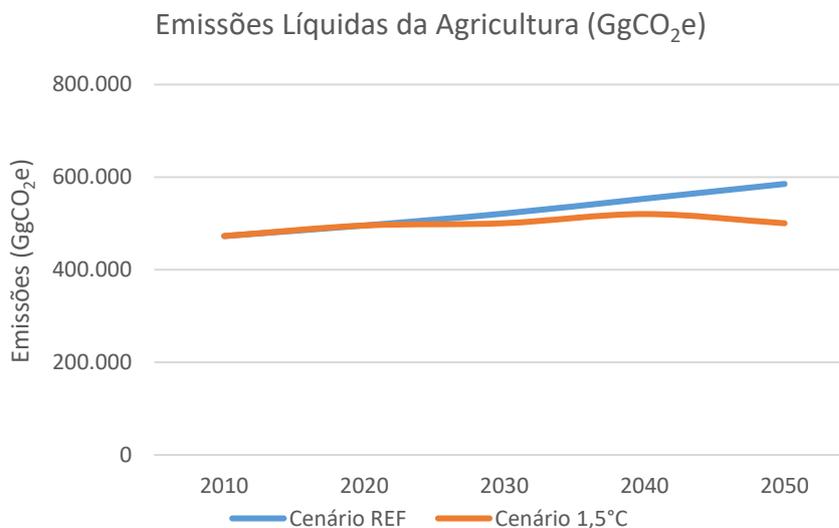
\*2010 dados do III Inventário Nacional  
 Fonte: Elaboração própria



**Figura 2.** Emissões líquidas de Afolu



**Figura 3.** Emissões líquidas de mudança de uso da terra e florestas



**Figura 4.** Emissões líquidas da agricultura

As emissões líquidas do setor de AFOLU foram obtidas por meio da soma da emissão líquida de Mudança de Uso da Terra e Florestas e da emissão total da Agricultura. As Tabelas 10 e 11 apresentam, detalhadamente, as emissões brutas, as remoções e as emissões líquidas nos Cenários de Referência e 1,5°C, ao longo do período.

As principais fontes de emissão das atividades de Mudança de Uso da Terra e Florestas são a perda de biomassa, devido ao desmatamento, a conversão do uso da terra e a aplicação de calcário. O valor da emissão bruta do ano de 2010 foi extraído do III Inventário Nacional (MCTI, 2016).

Ao longo do período de 2011-2030 foram adotadas reduções de taxa de desmatamento semelhantes para os dois cenários. Em 2020, a estimativa foi feita com base na meta da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), de redução 80% nos índices anuais de desmatamento da Amazônia e 40% do Cerrado, tomando como referência a área média desmatada anualmente no período de 1996-2005 para a Amazônia (1,9 milhões de ha) e no período de 1999-2008 para o Cerrado (1,5 milhões de ha) (BRASIL, 2010). Adotou-se então a premissa de que essa meta seria totalmente cumprida no bioma Amazônia, o que corresponde a uma média anual de desmatamento de 393 mil ha e parcialmente no bioma Cerrado (38%), equivalente a 973 milhões de ha desmatados anualmente, em 2020. Em 2030 esse percentual foi de, respectivamente, 85% para a Amazônia (235 mil ha desmatados anualmente) e 48%, para o Cerrado (816 mil ha desmatados).

A partir de 2040, no Cenário de Referência, adotou-se como emissão bruta do desmatamento o valor de 143.000 GgCO<sub>2</sub>e, que é o valor citado no documento “Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris

sob a UNFCCC” (MMA, 2015). Este valor foi mantido constante até 2050 e corresponde à uma média anual de desmatamento equivalente a 578 milhões de ha. No Cenário 1,5°C, o valor de emissão bruta do desmatamento, em 2050, na Amazônia é zero, enquanto no Cerrado a redução da taxa anual de desmatamento é de 97%, em relação ao período 1996-2005, ou seja a área anual desmatada seria de 39,2 mil ha. A redução das emissões totais brutas no Cenário 1,5°C, em 2050, correspondem a 80% em relação ao Cenário de Referência (Tabelas 10 e 11).

Por outro lado, as maiores remoções no setor de AFOLU ocorrem devido à manutenção do estoque de carbono em áreas de UC e TI, pela recomposição da vegetação nativa e pela expansão de florestas plantadas. Observa-se nas Tabelas 10 e 11 que as remoções no Cenário 1,5°C são 14% e 32% superiores, em 2030 e 2050, respectivamente, ao Cenário de Referência. O Cenário 1,5°C passa a ter remoções de CO<sub>2</sub> adicionais ao Cenário de Referência, a partir de 2021, quando as metas do Plano ABC são reforçadas pelas metas da NDC. Entretanto, as remoções passam a ser mais expressivas a partir de 2040 quando há uma maior penetração das medidas de mitigação relacionadas à restauração de florestas nativas visando a adequação do passivo ambiental e expansão de florestas plantadas em sistema de integração pecuária-floresta. Contribuíram também para aumento da remoção no Cenário 1,5°C as medidas de mitigação relacionadas à expansão de florestas plantadas não consorciadas para produção de pellets e a conservação de floresta nativa incentivada pela emissão de CRAs, as quais não foram incluídas no Cenário de Referência.

A premissa referente ao reflorestamento de 9,6 milhões de hectares de florestas nativas no período de 2021 a 2050, adicionais à área restaurada no Cenário de Referência (11,4 Mha), resultou numa remoção adicional de 100.320 GgCO<sub>2</sub>e no ano em 2050, totalizando 21 milhões de hectares e somando uma remoção de 283.563 GgCO<sub>2</sub>e (Tabela 11).

A variação das remoções ao longo do período é consequência da área restaurada. No Cenário de Referência 56% da restauração ocorre em áreas de bioma Amazônia, 26% de Mata Atlântica e 14% Cerrado e o restante nos biomas Pampas, Caatinga e Pantanal, resultando em uma remoção média anual é de 4,37 tC/ha ou 16 tCO<sub>2</sub>/ha. No Cenário 1,5°C a proporção de área é a mesma por bioma, entretanto a restauração ocorre em áreas de pastagem, com índice de remoção de 2,85 tC/ha ou 10,45 tCO<sub>2</sub>/ha.

A expansão de florestas plantadas no Cenário de Referência atingiu, em 2050, uma área de 16,2 milhões de hectares, sendo 13,2 milhões de hectares em sistemas consorciados e 3,0 milhões de hectares de floresta integrada (iPF). A soma dessas medidas proporcionou a remoção de 80,55 GgCO<sub>2</sub> no ano de 2050 (Tabela 10). No Cenário 1,5°C a área total foi de 23,9 milhões de hectares, sendo 14,9

milhões de hectares em sistemas homogêneos para atender diferentes segmentos, incluindo pellets e 9 milhões de hectares em sistemas integrados (iPF). A expansão dessas florestas proporcionou a remoção de 109.974 GgCO<sub>2</sub> em 2050 (Tabela 11), 36% a mais do que o Cenário de Referência. Além disso, há também a mitigação oriunda da utilização do carvão vegetal em substituição ao carvão mineral, e da geração de eletricidade a partir de biomassa florestal (cavacos) que foram contabilizadas nos setores de indústria e energia.

A variação das remoções de carbono promovidas pelas florestas plantadas ao longo do período é consequência da área restaurada. O índice de remoção anual é de 49 tC/ha ou 117 tCO<sub>2</sub>/ha.

O incremento de carbono em áreas de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, consideradas em ambos os cenários é a medida de maior potencial de remoção de CO<sub>2</sub>. A área de aproximadamente 191,5 milhões de hectares de florestas manejadas referente ao ano de 2010 (MCTI, 2016) foi mantida até 2030, sendo que 82% dessas terras estão contidas na Amazônia. Em 2040 adotou-se a premissa que esta área seria de 237,5 milhões de ha (equivalente a área de UC e TI em 2017). A remoção anual de carbono corresponde a 284.584 e 375,651 GgCO<sub>2</sub>e em 2030 e em 2050, respectivamente. O índice de remoção anual dessa medida é de 0,4 tC/ha ou 1,4 tCO<sub>2</sub>/ha.

Com relação à conservação florestal incentivada pela emissão de Cota de Reserva Ambiental (CRA), esta proporciona uma remoção adicional ao Cenário de Referência equivalente a 45.890 GgCO<sub>2</sub>e, no ano de 2050, sendo 57% dessa remoção simulados para ocorrer na Amazônia, 40% no Cerrado e 3% no Pampa. Trata-se de um mecanismo previsto no Código Florestal e que possui potencial para reduzir o desmatamento em áreas que podem ser desmatadas legalmente. O índice de remoção anual dessa medida é de 3,57 tC/ha ou 13,1 tCO<sub>2</sub>/ha.

De acordo com Rajão et al. (2016) a implementação da CRA deve criar um mercado para negociação das terras florestadas, agregando valor monetário à vegetação nativa. Este mercado de CRA poderá diminuir significativamente o déficit de RL a um custo reduzido, dado que os custos de oportunidade da conservação da floresta são muito mais baixos do que os custos de restauração. A troca de CRAs pode se tornar uma maneira de baixo custo para facilitar o cumprimento da lei, protegendo simultaneamente excedentes florestais que poderiam ser legalmente desmatados.

Por fim, a medida de mitigação relacionada à recuperação de pastagem degradada, também integra as emissões líquidas da Mudança do Uso da Terra e Florestas. No Cenário 1,5°C a meta de ampliação de área de pastagem a ser recuperada em 2050 foi intensificada após o ano de 2020, atingindo 30 milhões de hectares, o dobro da área simulada no Cenário de Referência. Essa foi uma premissa adotada conforme sugestões dos membros do Comitê de Elaboração de Cenários. Portanto,

as remoções de carbono no solo, provenientes da recuperação de pastagens, em 2050, são equivalentes a 19.368 GgCO<sub>2</sub>e no Cenário de Referência e a 51.380 GgCO<sub>2</sub>e no Cenário 1,5°C. A variação das remoções ao longo do período é consequência da área de pastagem recuperada. O índice anual de remoção é de 1 tC/ha ou 3,67 tCO<sub>2</sub>/ha.

Vale lembrar que a medida recuperação de pastagens possui efeito direto nas emissões de CO<sub>2</sub>e oriundas da fermentação entérica e do manejo de solos (subsetor de agricultura), pois resulta em redução do número de cabeças de gado para a mesma produção de carne e, conseqüentemente, na quantidade de dejetos de bovinos que serão incorporados ao solo.

No que se refere ao subsetor de agricultura, as principais fontes de emissão são a fermentação entérica (CH<sub>4</sub>) e os solos agrícolas (N<sub>2</sub>O). No Cenário de Referência as emissões da fermentação entérica são crescentes no decorrer dos anos, enquanto no Cenário 1,5°C observa-se uma queda, a partir de 2030, que é atribuída à intensificação da medida de mitigação recuperação de pastagens, como mencionado acima e à melhoria das práticas agropecuárias, contempladas no Plano ABC e na NDC, que ocasionam redução do rebanho bovino. A emissão da fermentação entérica no ano de 2050 é 394.447 GgCO<sub>2</sub>e no Cenário de Referência, enquanto no Cenário 1,5°C é de 330.131 GgCO<sub>2</sub>e.

A variação das emissões de fermentação entérica ao longo dos anos é consequência da variação do número de cabeças do rebanho bovino. Portanto, o indicador de emissão por cabeça de gado foi de 0,06 tCH<sub>4</sub> ou 1,67 tCO<sub>2</sub>e.

Com relação às emissões dos solos agrícolas, o principal GEE emitido é o N<sub>2</sub>O oriundo, principalmente, da aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos/orgânicos em áreas agrícolas e de pastagens; do nitrogênio oriundo de resíduos de culturas deixados sobre os solos agrícolas e; da deposição de dejetos animais sobre áreas de pastagens. Considerando as projeções realizadas para a área agrícola e de pastagem, bem como o crescimento do rebanho no país no Cenário de Referência e queda no Cenário 1,5°C, as emissões de GEE oriundas dos solos agrícolas seriam, respectivamente, de 156.093 GgCO<sub>2</sub>e e 136.956 GgCO<sub>2</sub>e, em 2050, representando uma redução de emissão de 12% no Cenário 1,5°C (Tabelas 11 e 12).

A variação das emissões dos solos agrícolas ao longo dos anos é consequência do aumento da produtividade das culturas agrícolas e do uso da fixação biológica de nitrogênio (FBN), as quais têm como resultado a redução da área plantada e do uso de fertilizantes nitrogenados, respectivamente. Portanto, o indicador de emissão por hectare foi de, em média, 0,007 tN<sub>2</sub>O ou 1,85 tCO<sub>2</sub>e para o Cenário de Referência e, em média, de 0,006 tN<sub>2</sub>O ou 1,67 tCO<sub>2</sub>e para o Cenário de 1,5°C. A diferença

dos indicadores entre os cenários é devida, principalmente, à diferença dos níveis de utilização da FBN.

**Tabela 10.** Atividades e respectivas emissões e remoções de CO<sub>2</sub>e do setor de AFOLU no Cenário de Referência

Atividades/Emissões e remoções (Gg CO <sub>2</sub> e)	2010	2020	2030	2040	2050
<b>AFOLU</b>	<b>827.747*</b>	<b>695.459</b>	<b>533.664</b>	<b>210.621</b>	<b>110.315</b>
<b>Mudança de uso da terra e florestas</b>					
<b>Emissões Líquidas</b>	<b>355.006*</b>	<b>199.845</b>	<b>12.205</b>	<b>-342.724</b>	<b>-474.957</b>
<b>Emissões brutas totais</b>	<b>667.770*</b>	<b>525.876</b>	<b>374.891</b>	<b>181.701</b>	<b>183.754</b>
<i>Emissões brutas de desmatamento</i>		483.923	338.746	143.000	143.000
<i>Outras emissões brutas de MUT** e calcário)</i>		41.952	36.145	38.701	40.754
<b>Remoções</b>	<b>-312.764*</b>	<b>-326.031</b>	<b>-362.687</b>	<b>-524.426</b>	<b>-658.712</b>
<i>Florestas Plantadas não Consorciadas</i>	-	0	-18.256	-45.422	-60.865
<i>Restauração de Floresta Nativa</i>	-	-7.955	-22.634	-64.401	-183.243
<i>Recuperação de Pastagem</i>	-	-20.282	-17.529	-19.268	-19.268
<i>Sistemas Silvipastoris</i>	-	-13.211	-19.685	-19.685	-19.685
<i>Unidades de Conservação e Terras Indígenas</i>	-	-284.584	-284.584	-375.651	-375.651
<i>Conservação Florestal em áreas privadas desmatáveis legalmente</i>					
<i>Florestas plantadas para Pellets</i>					
<b>Aplicação de calcário nos solos</b>	10.424	12.918	15.820	18.377	20.430
<b>Agricultura</b>	<b>472.741</b>	<b>495.613</b>	<b>521.459</b>	<b>553.345</b>	<b>585.272</b>
<b>Fermentação Entérica</b>	312.424	349.218	364.350	379.399	394.447
<b>Manejo de Dejetos</b>	20.959	22.201	24.206	26.186	28.144
<b>Solos Agrícolas</b>	119.899	125.891	135.299	146.764	156.093
<b>Cultivo de Arroz</b>	12.998	10.433	6.900	6.766	7.081
<b>Queima de Resíduos Agrícolas</b>	6.460	3.474	3.167	0	0
<b>Sistema de Plantio Direto</b>	0	-15.602	-12.463	-5.770	-493

Valores negativos referem-se às remoções; \*Valores totais baseados no III Inventário Nacional; \*\* MUT: Mudança de Uso da Terra  
 Fonte: Elaboração própria

**Tabela 11.** Atividades e respectivas emissões e remoções de CO<sub>2</sub>e do setor de AFOLU no Cenário 1,5°C

Atividades/Emissões e remoções (Gg CO <sub>2</sub> e)	2010	2020	2030	2040	2050
<b>AFOLU</b>	<b>827.747*</b>	<b>695.406</b>	<b>463.553</b>	<b>53.559</b>	<b>-329.107</b>
<b>Mudança de uso da terra e florestas</b>					
<b>Emissões Líquidas</b>	<b>355.006*</b>	<b>199.872</b>	<b>-36.922</b>	<b>-466.683</b>	<b>-829.488</b>
<b>Emissões brutas Totais</b>	<b>667.770*</b>	<b>525.902</b>	<b>376.611</b>	<b>156.238</b>	<b>36.969</b>
<i>Emissões brutas do desmatamento</i>		483.923	338.746	125.668	7.591
<i>Outras emissões brutas de MUT** e calcário</i>		41.979	37.864	30.570	29.378
<b>Remoções</b>	<b>-312.764*</b>	<b>-326.031</b>	<b>-413.533</b>	<b>-622.922</b>	<b>-866.458</b>
<i>Florestas Plantadas não Consorciadas</i>	-	0	-32.722	-41.126	-60.168
<i>Restauração de Floresta Nativa</i>	-	-7.955	-32.243	-95.449	-283.563
<i>Recuperação de Pastagem</i>	-	-20.282	-31.200	-51.380	-51.380
<i>Sistemas Silvopastoris</i>	-	-13.211	-19.685	-32.698	-32.369
<i>Unidades de Conservação e Terras Indígenas</i>	-	-284.584	-284.584	-375.651	-375.651
<i>Conservação florestal em áreas privadas desmatáveis legalmente</i>	-	0	-4.396	-14.202	-45.890
<i>Florestas plantadas para Pellets</i>	-	0	-8.704	-12.415	-17.437
<b>Aplicação de calcário nos solos</b>	10.424	12.944	17.540	23.030	28.923
<b>Agricultura</b>	<b>472.741</b>	<b>495.534</b>	<b>500.475</b>	<b>520.242</b>	<b>500.381</b>
<b>Fermentação Entérica</b>	312.424	349.218	354.900	353.888	330.131
<b>Manejo de Dejetos</b>	20.959	22.201	23.902	25.400	26.212
<b>Solos Agrícolas</b>	119.899	125.812	130.047	137.439	136.956
<b>Cultivo de Arroz</b>	12.998	10.433	6.900	6.766	7.081
<b>Queima de Resíduos Agrícolas</b>	6.460	3.474	3.167	0	0
<b>Sistema de Plantio Direto</b>	0	-15.602	-18.442	-3.251	0

Valores negativos referem-se às remoções; \*Valores totais baseados no III Inventário Nacional; \*\* MUT: Mudança de Uso da Terra  
 Fonte: Elaboração própria

Em menores proporções têm-se também como fontes de emissão da agricultura a atividade de manejo de dejetos, a queima de resíduos agrícolas e o cultivo de arroz. Segundo o III Inventário Nacional (Brasil, 2016), o manejo de dejetos contribui com apenas 6% das emissões da agricultura no Brasil. Sendo os outros 94% atribuídos à fermentação entérica. Devido às características de pecuária extensiva no Brasil, as lagoas de tratamento anaeróbio constituem uma fração pequena, e mesmo para o gado confinado (corte) ou para sistemas de produção de leite, também se observa o uso restrito de instalações de tratamento de dejetos animais (Brasil, 2016). As estimativas das emissões oriundas do manejo de dejetos apresentaram redução de 3% no Cenário 1,5°C em relação ao Cenário de Referência, atingindo 26.212 GgCO<sub>2</sub>e em 2050 (Tabela 11). O grupo de animais que mais contribui para as emissões relacionadas ao manejo de dejetos são os suínos.

A variação das emissões de manejo de dejetos ao longo dos anos é consequência da variação do número de cabeça de animais. Portanto, o indicador de emissão por cabeça é de 0,01 tCO<sub>2</sub>e.

A queima de resíduos agrícolas, particularmente, da cana-de-açúcar, apresenta emissões de GEE decrescentes, que cessam em 2031 em ambos os cenários. As premissas adotadas para a projeção das emissões são baseadas no Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista (UNICA, 2014) que antecipa os prazos legais para a eliminação da prática da queima previstos pela Lei Estadual nº 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2002). Sendo assim, no estado de São Paulo, os prazos são antecipados de 2021 para 2014, nas áreas onde já é possível a colheita mecanizada, e de 2031 para 2017, nas áreas em que não existe tecnologia adequada para a mecanização. Para o restante do país, consideram-se os prazos previstos pela Lei nº 11.241/2002. É importante ressaltar que a área plantada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo corresponde a aproximadamente 50% da área plantada total de cana-de-açúcar do país. As emissões em termos de CO<sub>2</sub>e nos Cenários de Referência e 1,5°C foram as mesmas, equivalentes a 3.167GgCO<sub>2</sub>e em 2030.

A variação das emissões de queima de resíduos agrícolas ao longo dos anos é consequência da variação da área de plantio de cana-de-açúcar. Portanto, o indicador de emissão por hectare de cana-de-açúcar plantado foi de 0,01 tCH<sub>4</sub> ou 0,37 tCO<sub>2</sub>e.

Para estimativa das emissões de CH<sub>4</sub> oriundas do cultivo de arroz, foi considerado o sistema de manejo de inundação, que correspondeu, em média, a 60% do total de arroz produzido no país em 2013 (EMBRAPA, 2014). Esse percentual foi considerado até o ano de 2050. As emissões oriundas de arroz inundado foram equivalentes a 7 milhões de toneladas em 2050 em ambos os cenários. A redução das emissões entre os anos de 2015 e 2050, que correspondeu à cerca de 50%, refletem, basicamente, ao aumento de produtividade da cultura obtido nesse período. Conforme as projeções

de produção realizadas para o arroz, houve um crescimento de 10% na área plantada no período de 2015 a 2030 e, de 14% entre 2030 e 2050. Entretanto, o aumento de produtividade considerado para a cultura, que passa de 5,2 em 2015 para 12,4 em 2050, ocasiona a redução da área de plantio e consequentemente a redução das emissões. Sendo assim, a variação das emissões ao longo do período é decorrente da variação da área, tendo como indicadores de emissão 0,33 tCH<sub>4</sub>/ha colhido.

Com relação ao Sistema de Plantio Direto (SPD), segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP, 2016) a área de grãos cultivada sob este sistema em 2015 era de 32 milhões de hectares. A meta do Plano ABC é que entre o período de 2011-2015 e de 2016-2020, 2,8 e 5,2 milhões de hectares adicionais, respectivamente, sejam cultivados no SPD e, a partir de 2020, considera-se que toda área plantada adicional de grãos também passe a ser cultivada no SPD.

Para o cálculo da remoção, o fator de remoção aplicado foi 0,00183 Gg CO<sub>2</sub>e/ha/ano, considerando que a fixação do carbono ocorra nos primeiros 10 anos de cultivo da área sob SPD. Por exemplo, a área considerada para o cálculo da remoção no ano de 2020, em ambos os cenários, são os 8 milhões de hectares da meta do plano ABC além da área que já estava sob SPD no ano de 2010, o que juntos alcançam a remoção de 15,6 milhões de tCO<sub>2</sub>e. No fim do período, a área plantada adicional da agricultura torna-se cada vez menor, o que faz com que a remoção no ano de 2050 alcance apenas a 0,49 milhões de tCO<sub>2</sub>e no Cenário de Referência e que não exista remoção devido ao SPD para o mesmo ano no Cenário de 1,5°C.

Considerando o balanço das emissões da Mudança de uso da terra e florestas e da Agricultura e as medidas de mitigação e respectivos potenciais de penetração, que compõem os cenários de Referência e 1,5°C, as emissões líquidas do setor de AFOLU totalizaram, respectivamente, 110.315 GgCO<sub>2</sub>e e -329.107 GgCO<sub>2</sub>e em 2050. Observa-se que a partir de 2030, as emissões totais passam a ser negativas no Cenário 1,5°C enquanto no Cenário de Referência isso acontece em 2040. Isso reflete, particularmente, as hipóteses de redução das taxas de desmatamento e as medidas de mitigação voltadas para o aumento da remoção de CO<sub>2</sub> e para a redução do rebanho bovino no país.

#### 6.4. Custos de Mitigação das Tecnologias Consideradas<sup>8</sup>

A Tabela 12 consolida, para cada uma das medidas de mitigação apresentadas: os custos de capital e de operação e manutenção; a receita; o potencial de abatimento de emissões e o custo marginal de abatimento para os períodos de 2021-2030 e 2031-2050.

Em ambos os períodos, a medida de mitigação com maior potencial de abatimento de emissões é a intensificação da pecuária e a recuperação de pastagens degradadas, representando aproximadamente 41% do total. Já a medida de mitigação com menor potencial de abatimento de emissões é a geração de energia elétrica a partir do tratamento de dejetos suínos, representando menos do que 1% do total. Entre os períodos, a maior variação de potencial de abatimento de emissões de uma medida de mitigação em relação ao total ocorre para a restauração de floresta nativa. Há um aumento de 16,6% para 28,8% na sua participação no potencial de abatimento de emissões.

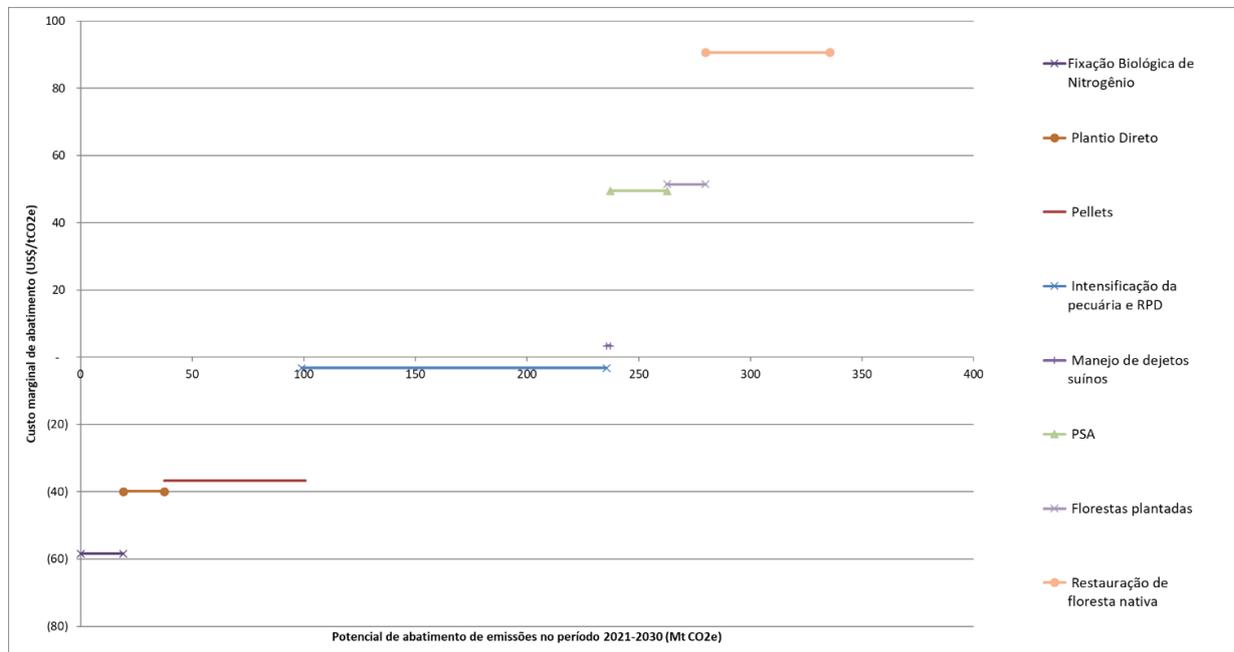
Para as estimativas, foram adotados os seguintes parâmetros:

- Custos apresentados em dólares de 2015
- Valor de referência médio do barril de petróleo no período até 2050: 87 US\$  
(Baseado no cenário '450 Scenario' do World Energy Outlook 2015 da Agência Internacional de Energia)
- Taxa de desconto: 8% a.a.
- Custos de mitigação de 2021 a 2030: expressos em valor presente de 2021
- Custos de mitigação de 2031 a 2050: expressos em valor presente de 2031

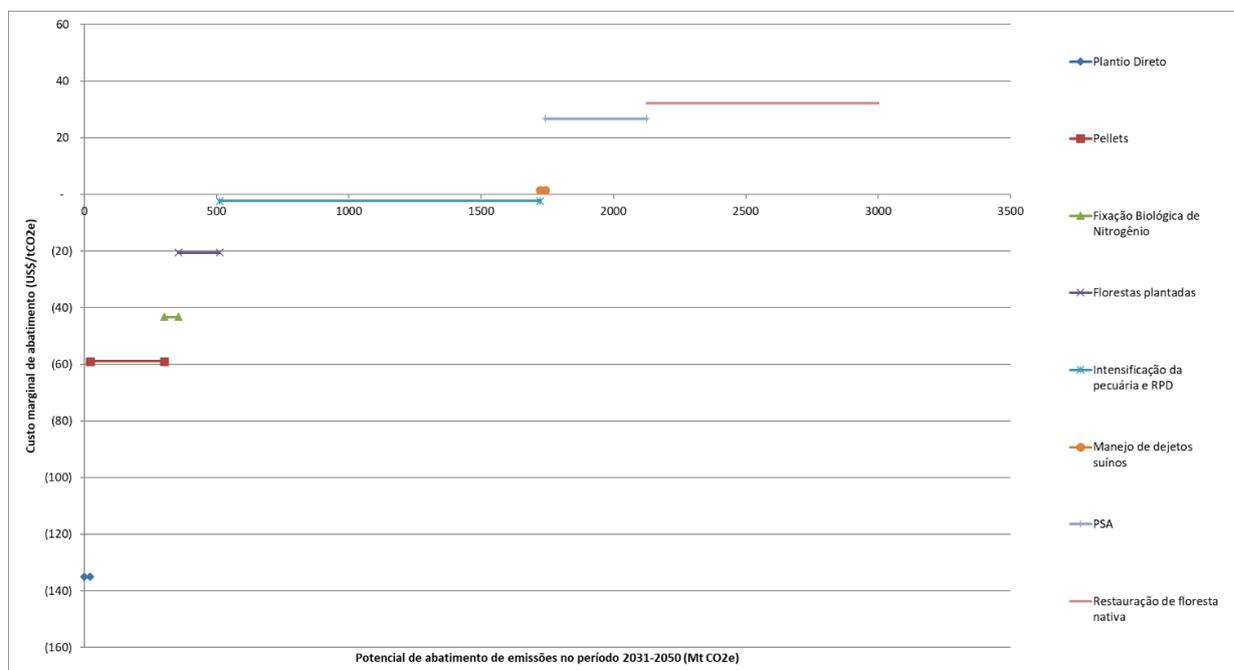
---

<sup>8</sup> Ver detalhes no relatório de microeconomia do projeto IES-Brasil 2050: Grottera, C. (2018). Custos de Mitigação até 2050 no Cenário de 1,5°C. Disponível em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

As figuras 5 e 6 abaixo ilustram as curvas de custo marginal de abatimento (CCMA) das medidas de mitigação consideradas para o setor de AFOLU.



**Figura 5.** Custo Marginal de Abatimento (CMA) de medidas de mitigação de AFOLU – Valor Presente de 2021 a taxa de desconto de 8% a.a. (US\$/tCO2e) – 2021-2030



**Figura 6.** Custo Marginal de Abatimento (CMA) de medidas de mitigação de AFOLU – Valor Presente de 2031 a taxa de desconto de 8% a.a. (US\$/tCO2e) – 2031-2050

## 7. Prospecção Tecnológica para a Construção de um Cenário Disruptivo

A prospecção tecnológica para construção de um Cenário Disruptivo foi realizada com base em tecnologias identificadas na literatura e em tendências mercadológicas, que visam maior eficiência do setor e uma produção com menores emissões de CO<sub>2</sub>.

Foram listadas e apresentadas aos membros do Comitê de Elaboração de Projetos, alternativas tecnológicas para o setor, e então essas foram avaliadas e selecionadas para comporem um cenário futuro de análise de redução das emissões em AFOLU. As tecnologias consideradas viáveis para serem implementadas em um Cenário Disruptivo são:

- Uso de biotecnologia: produção de “árvores sob medida” de acordo com a finalidade do plantio, como por exemplo, produção de espécies com maiores teores de celulose ou lignina e; desenvolvimento de espécies aptas para plantio em locais vulneráveis;
- Aprimoramentos tecnológicos das operações florestais (desenvolvimento de máquinas multitarefas), visando assim reduzir mão de obra, principalmente na etapa de plantio e aumentar a produtividade;
- Uso de veículos aéreos não tripuláveis (drones) com o objetivo de melhorar a gestão das florestas e consequentemente aumentar/garantir a produtividade;
- Redução de perdas na produção agrícola, principalmente nas etapas de colheita, transporte e armazenamento, e na pecuária.
- Produção de etanol de 2ª geração usando cana energia, objetivando maior produtividade da matéria-prima e maior rendimento do produto.

## 8. Referências Bibliográficas

- ABIOVE; APROBIO; UBRABIO (2016). Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo. <  
<http://ubrablo.com.br/sites/1800/1891/PDFs/20161006CenArioSetorialbiodiesel2030.pdf>>
- ABIOVE (2017). Planilhas de Estatísticas da ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais: Estatística Mensal do Complexo Soja; Biodiesel: Produção por tipo de matéria-prima. <  
<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>
- ABRAF (2013). Anuário Estatístico ABRAF 2013 ano base 2012. ABRAF – Brasília, 2013, 148p.
- BALBINO, L. C., et al. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 1- 12.
- Biomassa BR 32 (2017). Os desafios para exportação de Pelets no Brasil. Disponível em:  
[https://issuu.com/revistabiomassabr/docs/revista\\_biomassa\\_br\\_ed\\_32\\_-\\_low](https://issuu.com/revistabiomassabr/docs/revista_biomassa_br_ed_32_-_low)
- BNDES (2015) – De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. BNDES Setorial 41.
- BRASIL (2014). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico da agroenergia 2014: Statistical year book of agrienergy. 2014 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilíngue. Brasília: MAPA/ACS, 2015. 205p.
- BRASIL (2012). Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. MAPA/ACS, 2012. 172 p.
- BRASIL (2012B). LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. Código Florestal. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>
- BRASIL (2010). DECRETO Nº 7.390, DE 9 DE DEZEMBRO DE 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm)>
- BRASIL. MAPA. (2015). Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2025 projeções de longo prazo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. 6ª Edição. Brasília: MAPA/ACS, 2015. 133 p.
- BRASIL. MAPA. (2016) Projeções do Agronegócio: Brasil 2015/2016 a 2025/2026 projeções de longo prazo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. 7ª Edição. Brasília: MAPA/ACS, 2016. 136 p.
- BRASIL (2015) – REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança

- do Clima. Brasília, 2015. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf) Acesso em: fev de 2016.
- BRASIL (2016). Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa do Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: MCTI.
- CAMPOS, R.J.; MENDES, L.C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. EMBRAPA SOJA. Londrina. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/459673/1/circTec35.pdf>
- CARVALHO, J. L., RAUCCI, G. S., CERRI, C. E., BERNOUX, M., FEIGL, B. J., WRUCK, F. J. & CERRI, C. C. (2010). Impact of Pasture, Agriculture and Crop-livestock Systems on Soil C Stocks in Brazil. Soil & Tillage Research, p. 175-186.
- CGEE – Second Generation Sugarcane Bioenergy & Biochemicals: Brazilian contribution to Global Public-Private Partnership on Advanced Low-Carbon Technologies. ClimateChange. Positive Agenda. Brasília: Center for Strategic Studies and Management, 2015, 83p.
- CGEE (2015). Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil – Subsídios para revisão do Plano Siderurgia. – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.
- CHAZDON, et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. Sci. Adv. 2016; 2 May (2016)
- De Gouvello, C.; Britaldo, S.S.F.; Nassar, A.; Schaeffer, R.; Alves, F.J.; Alves, J.W.S. (2010). Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Washington DC. Banco Mundial.
- Deloitte Sustainability. Circular economy potential for climate change mitigation November 2016. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/conten>
- Drones e Engenharia. Disponível em: < <http://droneng.com.br/> >
- EMBRAPA. Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF. Fonte: Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF – nota técnica: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>
- EMBRAPA (2012a). Árvore do conhecimento. Sistema de plantio direto. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. Disponível em:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/Abertura.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/Abertura.html)>
- EMBRAPA (2012b). Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Agrosustentável. Disponível em:<<http://agrosustentavel.com.br/downloads/fbn.pdf>>
- EMBRAPA (2011). Integração Lavoura Pecuária Floresta: Estruturação dos Sistemas de Integração Lavoura Pecuária. Dourados: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>.

- EPE (2014). NOTA TÉCNICA DEA 17/14 Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Rurais
- EPE (2015). NOTA TÉCNICA DEA XX/15. Cenário Econômico 2050 (Set. 2015).
- EPE (2016). NOTA TÉCNICA DEA 13/15. Demanda de Energia 2050 (Jan. 2016).
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016, 452p.
- Escobar e Coelho (2017). O potencial dos pellets de madeira como energia no Brasil. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/noticias/ARTIGO%20GERAL%20TEMA%20PELLETS%20-%20DRA.%20SUANI%20JORNAL%20BIOMASSA%20EDI%C3%87%C3%83O%20BR.pdf>
- FEBRAPDP, 2013. FEBRAPDP. Evolução da Área Cultivada no Sistema de Plantio Direto na Palha – Brasil. 2013. Disponível em: <[http://febrapdp.org.br/download/PD\\_Brasil\\_2013.I.pdf](http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2016.
- GVces (2015). Contribuições para análise da viabilidade econômica da implementação do Plano ABC e da INDC no Brasil. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, p. 63. 2015 HUNGRIA, M.;
- IBGE (2016) – SIDRA: Banco de dados agregados. Produção Agrícola Municipal. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>. Acesso em: jan de 2016.
- IBGE (2015). Produção da extração vegetal e silvicultura / IBGE. – v 29 (1986-2014). – Rio de Janeiro: IBGE, 2015, 54p.
- IBÁ (2016) – Relatório Anual 2016. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/iba\\_2016.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2016.pdf). Acesso: 15 mai 2016.
- iNDC Brasil (2015). Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC. Disponível em [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/Bases\\_elaboracao\\_iNDC.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/Bases_elaboracao_iNDC.pdf). Acesso em: 14mar. 2016.
- INSTITUTO ESCOLHAS. Quanto custa reflorestar 12 milhões de hectares na Amazônia e Mata Atlântica? Coordenação: Roberto Kishinami e Shiguo Watanabe Jr. Fevereiro de 2016.
- Instituto Sadia de Sustentabilidade. Disponível em: [http://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/poa\\_db/L8VJWHUO4F6CRPTNI2BAZ13QD95YGE/viewCPAs](http://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/poa_db/L8VJWHUO4F6CRPTNI2BAZ13QD95YGE/viewCPAs)
- IPCC (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A.

Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T.Zwickeland J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. SPM 4.1, pp. 10-12.

KIMURA, W. J.; SANTOS; E. F. (2016). Custo marginal de abatimento de emissões de gases de efeito estufa na recuperação da pastagem.

LA ROVERE, et al. (2016) – Projeto IES BRASIL: Relatório técnico AFOLU. Centroclima, UFRJ, 2016.

LA ROVERE, E.L. (Coord.); Dubeux, C.B.S. (Coord.); Junior, A.O.P.; Medeiros, A.; Carloni, F.B.; Turano, P.; Aragão, R.; Solari, R.; Wills, W.; Hashimura, L.; Burgi, A.S.; Fiorini, A.C. (2011). Estudo comparativo entre três cenários de emissão de gases de efeito estufa no Brasil e uma análise de custo-benefício. Projeto BRA/00/020 – Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental-SQA.

MCTI, GEF (2016) .Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU) . In: Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil. Organizador Régis Rathmann. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2016, 400p.

MOTA, F. C. M. (2013). Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de Eucalyptus sp. no Brasil. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.DM – 201/2013. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF. 2013. 169p.

MAIA, S.M.F; CARVALHO, J.L.N; CERRI, E.P.C.; LAL, R.; BERNOUX, M.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.C. (2013). Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado bioes. Soil and Tillage Research – Elsevier Vol. 133, Oct 2013, p 75–84

MAPA, 2017. Projeções do Agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/2017 Projeções de longo prazo (versão preliminar) Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf/view>>

MAPA, 2016. Integração Lavoura Pecuária Floresta ILPF. Disponível: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/integracao-lavoura-pecuaria-silvicultura>

De Wit Marc et al. The Circular Dairy Economy: Exploring the business case for a farmer led, ‘net-positive’ circular dairy sector. October 2016.

MOURO GOMES, E., (2015). Risco econômico em sistemas de produção com integração lavoura pecuária (iLP): um estudo de caso em Tangará da Serra – MT. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>

MARTHA Jr Geraldo B., ALVES Eliseu, Contini Elísio (2011) PECUÁRIA BRASILEIRA E A ECONOMIA DE RECURSOS NATURAIS. Perspectiva Pesquisa Agropecuária 1 EMBRAPA.

- NASSAR, A.; MOREIRA, M (2013). Evidences on Sugarcane Expansion and Agricultural Land Use Changes in Brazil. ICONE. Disponível em [http://sugarcane.org/resource-library/studies/evidences\\_on\\_sugarcane\\_expansion\\_and\\_agricultural\\_land\\_use\\_changes\\_in\\_brazil\\_1206.pdf](http://sugarcane.org/resource-library/studies/evidences_on_sugarcane_expansion_and_agricultural_land_use_changes_in_brazil_1206.pdf)
- NETO, S.N.O.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. (2010). Sistema Agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária, floresta – Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 190p.
- NOVA CANA (2015). Cana Energia. A revolução sucoenergética está começando. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucoenergética-201015/>. Acesso em 4 abr 2016.
- OECD STAT. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. Disponível em: [http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HIGH\\_AGLINK\\_2015&lang=en](http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2015&lang=en) Acesso em: 02 fev 2016.
- OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2015-en](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en)
- PLANO ABC, 2015. Observatório do Plano ABC. Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira. Uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023. RELATÓRIO 5 – ANO 2. JULHO 2015
- PÖYRY POINT OF VIEW . Reinventando a Produção Florestal (nov 2014).
- Peter Alexander et al. Losses, inefficiencies and waste in the global food system. *Agricultural Systems* 153 (2017) 190–200.
- Rajão, Raoni. Cotas de reserva ambiental (CRA): viabilidade econômica e potencial do mercado no Brasil/ Raoni Rajão, Britaldo Silveira Soares Filho, et al. 1. ed. – Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015. 72 p.
- SÃO PAULO, 2002. Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas.
- SNIF (2016) – Produção Florestal. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao>. Acesso em mar. 2016.
- Soares-Filho B, Rajão R, Merry F, Rodrigues H, Davis J, Lima L, et al. (2016) Brazil's Market for Trading Forest Certificates. *PLoS ONE* 11 (4): e0152311. doi:10.1371/journal.pone.0152311
- SOARES-FILHO, B. et. al., Cracking Brazil's Forest Code. *Science* 344, 363–364 (2014).
- SOARES FILHO B. Impacto da revisão do código florestal: como viabilizar o grande desafio adiante? Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais. Desenvolvimento Sustentável, subsecretaria SAE. 2013, 28p.
- TSUKAMOTO FILHO. Fixação de carbono em sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Tese de doutorado. Viçosa: UFV, 2003, 98p.
- UNICA, 2014. Protocolo Agroambiental do Setor Sucoenergético Paulista: Dados consolidados das safras 2007/08 a 2013/14. 2014. Disponível em: <http://unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=28826518>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

WILLS, W. Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de Emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil. 236p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.