



# CENÁRIOS PARA INTENSIFICAÇÃO DA BOVINOCULTURA DE CORTE BRASILEIRA



# Cenários para intensificação da bovinocultura de corte brasileira

## **Autores:**

Evandro Lima da Silveira Batista

Britaldo Silveira Soares Filho

Raoni Guerra Rajão

Fabiano Alvim Barbosa

Marcelo Azevedo Costa

Felipe Santos de Miranda Nunes

Juliana Leroy Davis

Amanda Ribeiro de Oliveira

Lilian Aline Machado

Hermann Oliveira Rodrigues

Rômulo Fernandes Machado Leitão

Danilo da Silveira Figueira

Francisco Dias

Felipe Ribeiro

Débora Couto de Assis

## **Realização:**

Centro de Sensoriamento Remoto (UFMG)

Escola de Veterinária (UFMG)

Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais (UFMG)

Centro de Inteligência Territorial

Belo Horizonte

Editora IGC/UFMG

2020

**Realização:**

Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG

<http://csr.ufmg.br/csr/> +55 31 3409-5449 / [csr@csr.ufmg.br](mailto:csr@csr.ufmg.br)

Escola de Veterinária

<https://vet.ufmg.br/> +55 31 3409-2001

Laboratório de Gestão Ambiental

<https://lagesa.org/>

Cetro de Inteligência Territorial

<http://inteligenciateritorial.org/home-pt/> +55 31 3526-8857

**Página do WebSite:**

[www.csr.ufmg.br/brasilpec](http://www.csr.ufmg.br/brasilpec)

Batista, Evandro Lima da Silveira.

Cenários para a intensificação da bovinocultura de corte brasileira / Evandro Lima da Silveira Batista, Britaldo Silveira Soares Filho, Raoni Guerra Rajão, Fabiano Alvim Barbosa, Felipe Santos de Miranda Nunes, Juliana Leroy Davis, William Leles Souza Costa, Amanda Ribeiro de Oliveira, Lilian Aline Machado, Hermann Oliveira Rodrigues, Rômulo Fernandes Machado Leitão, Danilo da Silveira Figueira, Francisco Dias, Felipe Ribeiro, Débora Couto de Assis. 1 ed. – Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2020. 65 p.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-61968-25-0

1. Pecuária de corte, 2. Intensificação, 3. Cenários.

**Editora IGC/UFMG**

Av. Antônio Carlos, 6.627 – Instituto de Geociências – Pampulha – CEP: 31270-901,  
Belo Horizonte – MG.

## ÍNDICE

### PARTE I: Cenários para a intensificação da pecuária de corte

1.	Introdução .....	1
2.	Objetivos.....	3
2.1.	Objetivo geral .....	3
2.2.	Objetivos específicos.....	3
3.	Metodologia .....	4
3.1	SIMPEC: ferramenta para simulação de sistemas de produção da bovinocultura de corte. ....	4
3.2	Abordagem geral.....	5
3.3.	Pastagens .....	6
3.3.1	Área de pasto .....	6
3.3.2	Áreas prováveis para a intensificação.....	6
3.3.3	Capacidade suporte das pastagens.....	7
3.3.4	Reforma das pastagens .....	9
3.4.	Rebanho .....	9
3.4.1.	Evolução do rebanho .....	9
3.4.2	Indicadores zootécnicos.....	9
3.4.3	Manejo nutricional nas fases de cria, recria e engorda.....	10
3.5.	Economia.....	12
3.6.	Emissões de GEE.....	13
3.7.	Cenários de intensificação .....	15
4.	RESULTADOS.....	17
4.1.	Resultados das pastagens .....	17
4.1.1	Áreas prováveis para intensificação.....	18
4.1.2	Projeções futuras da área de pasto .....	19
4.1.3	Área de pasto reformado .....	20
4.1.4	Taxa de lotação suporte das pastagens .....	22
4.2	Resultados produtivos.....	25
4.2.1	Evolução do rebanho .....	25
4.2.2	Confinamento.....	27
4.2.3	Produtividade dos sistemas .....	28
4.2.4	Produção de carne .....	29
4.3	Resultados econômicos.....	31
4.4	Dinâmica das emissões de GEE .....	34
5.	CONCLUSÕES .....	36
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

### PARTE II: Análise da correlação entre a intensificação da agropecuária e o desmatamento ocorrido nos municípios do Mato Grosso no período de 2013 a 2017

1.	Introdução .....	57
2.	Resultados .....	57
2.1.	Ajustes de Modelos de Regressão Lineares.....	57
2.2.	Ajustes de Modelos de Regressão Logística .....	59

**PARTE I**  
**Cenários para a intensificação da  
pecuária de corte**



## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a bovinocultura de corte brasileira passou por importantes transformações que a colocaram em destaque no cenário nacional e internacional da carne bovina. O rebanho, que no início da década de 90 não passava de 150 milhões de cabeças, cresceu a uma taxa média anual de 1,7% e hoje soma 215 milhões de cabeças – o maior rebanho bovino comercial do mundo. A produção de carne cresceu a taxas ainda maiores nesse período (6,5% ao ano) (IBGE 2019), indicando assim que também houveram ganhos de produtividade. Tudo isso contribuiu para tornar o produto brasileiro mais competitivo, qualificando-o para os mercados nacional e internacional. Em 2018 o país já ocupava a segunda posição no ranking dos países produtores, atrás apenas dos EUA. Neste ano, foram produzidos 9,9 milhões de toneladas de equivalente carcaça (Mton Eq. Carc), dos quais 21% foram destinados ao mercado externo. Essa marca consolidou o Brasil na liderança dos países exportadores de carne bovina em termos de volume (USDA 2019).

Mesmo diante desses números, há que se considerar que a pecuária de corte brasileira ainda tem muito a melhorar. Apesar dos recentes ganhos de produtividade, o crescimento da produção se deu, em boa medida, pela expansão das áreas de pastagens sobre a vegetação natural em regiões desprovidas de infraestrutura. Entre os anos de 1990 e 2017, por exemplo, o rebanho bovino dos estados da Amazônia cresceu cinco vezes mais que a média brasileira (**Tabela 1**) (IBGE 2019).

Mesmo reunindo condições ímpares de terreno, solo e clima, a pecuária bovina de corte no Brasil ainda é pouco produtiva e lucrativa, pois os sistemas de produção são predominantemente extensivos. Nestes, normalmente a única fonte mineral, proteica e energética para o rebanho é o pasto. Isso expõe os animais a deficiências nutricionais que comprometem a eficiência produtiva e econômica desses sistemas. Essa baixa produtividade fica mais evidente quando comparada à pecuária dos Estados Unidos, por exemplo, que em 2018 produziram mais carne que o Brasil (12,3 Mton Eq. Carc.) com menos da metade do rebanho (103 milhões de cabeças).

**Tabela 1.** Efetivo bovino nos estados da Amazônia Legal e no Brasil (1991-2017).

Estados	Efetivo bovino (cab)		Taxa de crescimento (%)
	1991	2017	
Mato Grosso	9,9	29,7	200,5
Pará	6,6	20,6	210,7
Rondônia	2,8	14,1	398,6
Tocantins	4,4	8,7	96,8
Maranhão	3,9	7,7	94,7
Acre	0,4	2,9	606,8
Amazonas	0,6	1,3	107,4
Roraima	0,3	0,8	127,8
Amapá	0,1	0,1	-5,6
<b>Brasil</b>	<b>152,1</b>	<b>214,9</b>	<b>41,3</b>



Além de não explorar a atividade no seu potencial econômico e produtivo (Barbosa et al. 2014), o desenvolvimento da atividade em regime extensivo ao longo do tempo é responsável por diversos impactos ambientais negativos, dentre os quais destaca-se a elevada intensidade de emissões de GEE (gases de efeito estufa) (SEEG 2019).

Esse contexto é preocupante mas também traz boas perspectivas na medida que revela o grande potencial da pecuária bovina de corte brasileira para o crescimento da eficiência produtiva e, por consequência, redução dos impactos ambientais negativos associados à atividade. Explorar esse potencial por meio da intensificação da produção poderá elevar a pecuária brasileira a um novo patamar e tornar o setor agropecuário brasileiro mais sustentável. Além de atender à crescente demanda nacional e internacional pela carne bovina (Tilman et al. 2011), aumentar a rentabilidade e reduzir a intensidade de emissão de GEE (Cardoso et al. 2016), se bem conduzida, poderá liberar áreas para a expansão da produção agrícola (Bustamante et al. 2012; Strassburg et al. 2014).

Todavia essa não deverá ser uma tarefa trivial haja vista a heterogeneidade desta cadeia em termos de escala de produção, níveis de tecnificação e padrões de distribuição e da variabilidade edafoclimática e cultural de um país com dimensões continentais como o Brasil. Assim, a formulação de possíveis caminhos para o futuro, que visem tornar a pecuária de corte mais sustentável, passa pelo entendimento dos fatores que afetam a rentabilidade e a produtividade dos sistemas e como estes se apresentam no espaço.

Para que este processo seja bem sucedido, antes de qualquer coisa, é preciso que se viabilize economicamente. Nem todas as alternativas serão viáveis para todos os lugares ou escalas de produção. Detalhes como aptidão do clima e de terreno, tamanho de propriedade, infraestrutura local, distância a mercados, preços de insumos e da carne serão decisivos para a sucesso desse processo (Bowman et al. 2012; Gil, Siebold, and Berger 2015). Tal condição reforça a importância da análise do problema sob uma perspectiva espacial.

O Brasil possui características edafoclimáticas e territoriais que lhe conferem um grande potencial para a criação de bovinos à pasto – o que também é uma grande vantagem competitiva em relação aos demais países produtores. Todavia, estimativas demonstram que ao menos 70% das pastagens brasileiras encontram-se em algum nível de degradação (Dias-Filho 2014). Reformar essas pastagens tem sido considerada pelos formuladores de políticas públicas a principal estratégia para intensificar a produção pecuária<sup>1</sup>. Além de aumentar a produtividade e a rentabilidade, espera-se mitigar as emissões de GEE pelo sequestro de carbono nas pastagens recuperadas (Maia et al. 2009; Braz et al. 2013; Herrero et al. 2016).

No entanto é preciso considerar que a criação de bovinos a pasto está sujeita a limitações naturais. Frequentemente há um desequilíbrio entre oferta e demanda de alimentos por conta da sazonalidade da produção da forragem, fortemente influenciada por fatores abióticos (e.g. precipitação, temperatura e radiação solar), o que deixa explícito a necessidade de fontes externas de nutrientes. Além disso, a reforma do pasto

---

<sup>1</sup> O plano ABC (Plano ABC 2012) e a NDC brasileira (Brasil 2015) propõem a reforma de 30 Mha de pastagens degradadas até 2030.



é um processo relativamente caro, cuja viabilidade econômica é variável no espaço, dentre outros fatores, em função do nível de desenvolvimento regional.

A suplementação nutricional (energético-proteica-mineral), sobretudo durante o período seco, quando o alimento no pasto torna-se menos disponível quantitativa e qualitativamente, é uma medida essencial para assegurar a eficiência produtiva e, por conseguinte, tornar os sistemas de produção pecuária brasileiros mais sustentáveis. O nível de adoção da suplementação dependerá das metas definidas no planejamento de cada propriedade, podendo iniciar já na fase de aleitamento (*Creep-feeding*), passando pela recria até a terminação, incluindo a possibilidade do confinamento (Barbosa et al. 2015). Essas medidas possuem um grande potencial de redução da idade de abate, aumento da produtividade e da rentabilidade dos sistemas (Carvalho, Barbosa, and McDowell 2003; Barbosa et al. 2015) e de redução das emissões de GEE por unidade de carne produzida (Cardoso et al. 2016).

Diante do exposto é preciso considerar que a intensificação da produção pode ser alcançada por medidas alternativas ou complementares à reforma das pastagens que podem surtir efeitos sinérgicos e potencializar a atratividade econômica e a redução dos impactos ambientais negativos. O grande desafio será definir o melhor arranjo que permita atender à demanda futura de carne, aumentar a rentabilidade da atividade e reduzir as emissões de GEE associadas.

Visando avançar neste entendimento, desenvolvemos uma ferramenta de simulação de sistemas de produção da bovinocultura de corte. Então, projetamos a evolução do rebanho bovino brasileiro até o ano de 2030 sob diferentes cenários de uso do solo e de manejo e analisamos os impactos da intensificação nos resultados produtivos, econômicos e nas emissões de GEE.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Projetar a evolução da pecuária de corte brasileira mediante diferentes cenários de uso do solo e de práticas de manejo.

### 2.2. Objetivos específicos

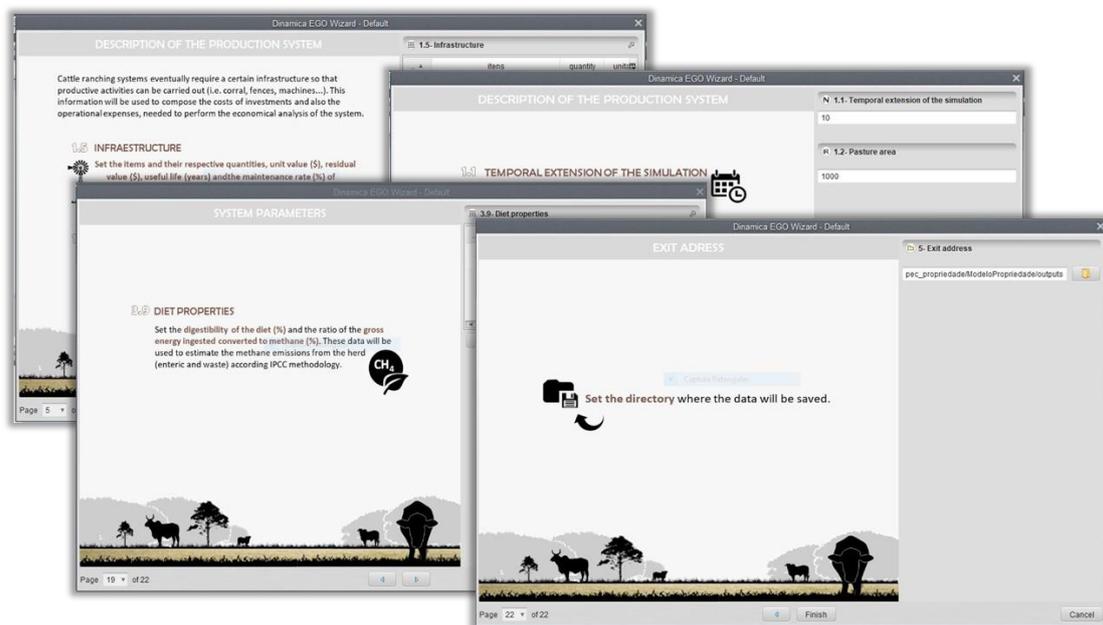
- I. Identificar a favorabilidade regional para intensificação da produção pecuária.
- II. Quantificar o esforço necessário para alcançar a meta de produção de carne projetada para o futuro através da adoção de diferentes arranjos de tecnologia.
- III. Analisar os impactos produtivos, econômicos e o saldo de emissões de GEE resultantes da adoção de diferentes arranjos de tecnologia.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 SIMPEC: ferramenta para simulação de sistemas de produção da bovinocultura de corte.

SIMPEC (Simulador de sistemas de produção da pecuária de corte bovina) é uma ferramenta de simulação de sistemas de produção dedicados à bovinocultura de corte desenvolvido por pesquisadores do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFMG) e da Escola de Veterinária (EV/UFMG) da Universidade Federal de Minas Gerais. A mesma foi elaborada sobre a plataforma do software Dinamica EGO<sup>2</sup> e simula, dinamicamente, ao longo do período projetado, a evolução mensal de sistemas de produção da bovinocultura de corte em ciclo completo<sup>3</sup> (cria, recria e engorda) em uma determinada unidade espacial, que pode ser desde uma propriedade até agrupamentos de propriedades no nível municipal ou regional. O modelo computa o esforço necessário para atender a uma série de metas pré-definidas (i.e. restauração das pastagens, melhoria dos indicadores zootécnicos, produção de carne...). Essas metas são então usadas para comparar e confrontar os cenários de intensificação propostos. O modelo computa os impactos da adoção das tecnologias propostas nos cenários no crescimento e distribuição das categorias de idade e sexo do rebanho, volume de carne, produtividade, lucratividade e rentabilidade e emissões de GEE resultantes. O Simpec possui ainda uma interface denominada Wizard que torna a ferramenta mais amigável ao usuário (**Figura 1**).



**Figura 1.** Interface gráfica Wizard do SIMPEC.

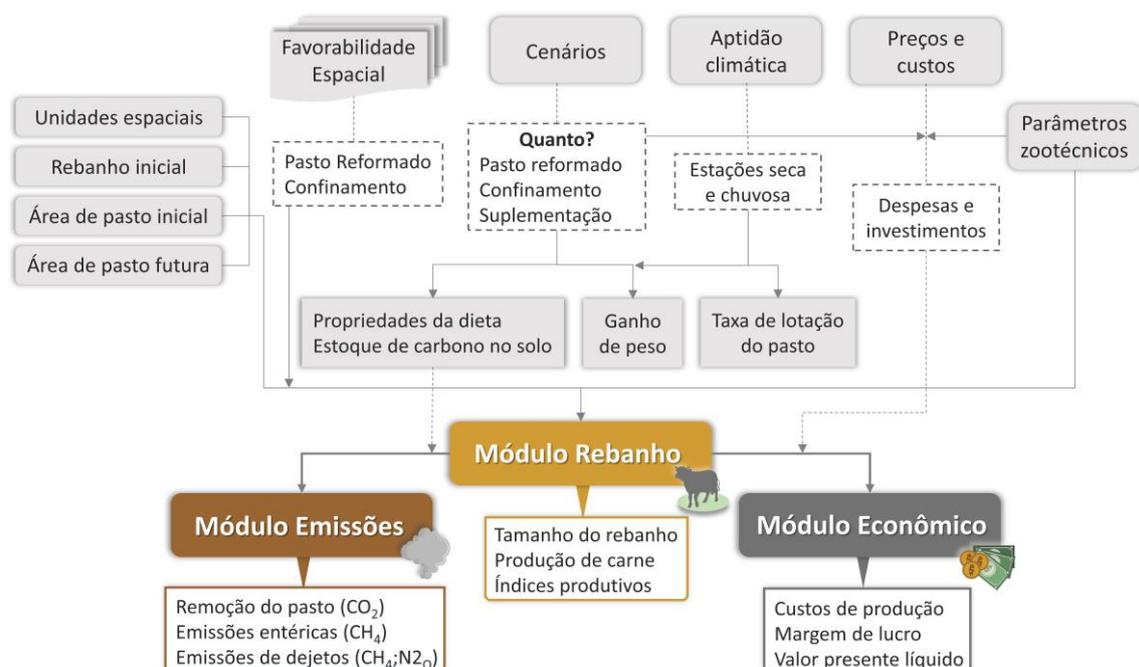
<sup>2</sup> <https://csr.ufmg.br/dinamica>

<sup>3</sup> Embora seja comum sistemas de produção de ciclo parcial, onde os produtores se especializam em uma das fases de criação (cria, recria ou engorda), a interação entre esses sistemas numa escala regional pode ser agregada em um sistema de ciclo completo.

### 3.2 Abordagem geral

Para cada uma das 557 microrregiões do Brasil<sup>4</sup>, o Simpec simula a dinâmica de um sistema de produção representativo da região no passo de tempo mensal de 2012 a 2030 (Equações S1-S7 – módulo da dinâmica de crescimento do rebanho do Simpec no material em anexo), levando-se em consideração: os dados de rebanho e da área de pasto inicial e futura; capacidade suporte das pastagens extensivas e melhoradas; terminação dos animais em confinamento; indicadores zootécnicos e estratégias de intensificação propostas nos diferentes cenários.

Para uma melhor representação do contexto econômico e de desenvolvimento são considerados os preços regionais de insumos (fertilizantes, corretivos e grãos) e da carne, a aptidão agrícola local, a logística regional atual e futura e cenários subjacentes de mudança no uso da terra (**Figura 2**). O modelo então computa as receitas, investimentos e os custos operacionais para calcular a lucratividade e rentabilidade dos sistemas (Equações S8-S11 – módulo econômico do Simpec em anexo). São considerados também os impactos da intensificação nas emissões de GEE, incluindo aquelas oriundas do rebanho, do uso de fertilizantes e da mudança de uso e manejo do solo (Equações S12-S44 – módulo de emissões de GEE do Simpec no material em anexo).



**Figura 2.** Fluxograma metodológico do SIMPEC.

<sup>4</sup> Divisão geográfica em microrregiões proposta pelo IBGE.



### 3.3. Pastagens

#### 3.3.1 Área de pasto

A área de pasto inicial, estimada em 223 milhões de hectares (Mha) para o ano de 2012, foi obtida de Soares-Filho et al. (2016). Para os anos subsequentes, a quantidade e a localização das áreas de pasto foi obtida a partir de dados previamente publicados com o auxílio do OTIMIZAGRO<sup>5</sup> (Rochedo et al. 2018). Foram considerados dois cenários de mudança de uso do solo, IEG (*Intermediate environmental governance*) e SEG (*Strong environmental governance*). O primeiro pressupõe a manutenção das atuais políticas de controle do desmatamento enquanto o segundo assume a expansão das atuais políticas de comando e controle do desmatamento e o apoio político completo à agenda ambiental do país, incluindo a implementação completa do Código Florestal, juntamente com incentivos econômicos para a conservação da floresta. Como a demanda por grãos difere entre os cenários simulados de acordo com a estratégia de manejo nutricional do rebanho (*creep-feeding* e confinamento), a área de cultivos agrícolas (milho e soja) expande diferentemente entre os cenários para acomodar a demanda alimentar do rebanho.

#### 3.3.2 Áreas prováveis para a intensificação

Barbosa et al. (2015) elaboraram um mapa<sup>6</sup> de áreas prioritárias para a intensificação que pode ser entendido como a propensão à adoção de determinada estratégia dadas as condições médias locais, traduzidas aqui em termos de redução de pastagens em decorrência da expansão agrícola, demografia do rebanho, logística aos principais frigoríficos e proximidade com áreas produtoras de grãos. Como resultado a favorabilidade é apresentada em valores contínuos de 0 a 1. Os autores categorizaram esse mapa em 5 níveis: mínima, baixa, média, alta e máxima prioridade (**Figura 3**).

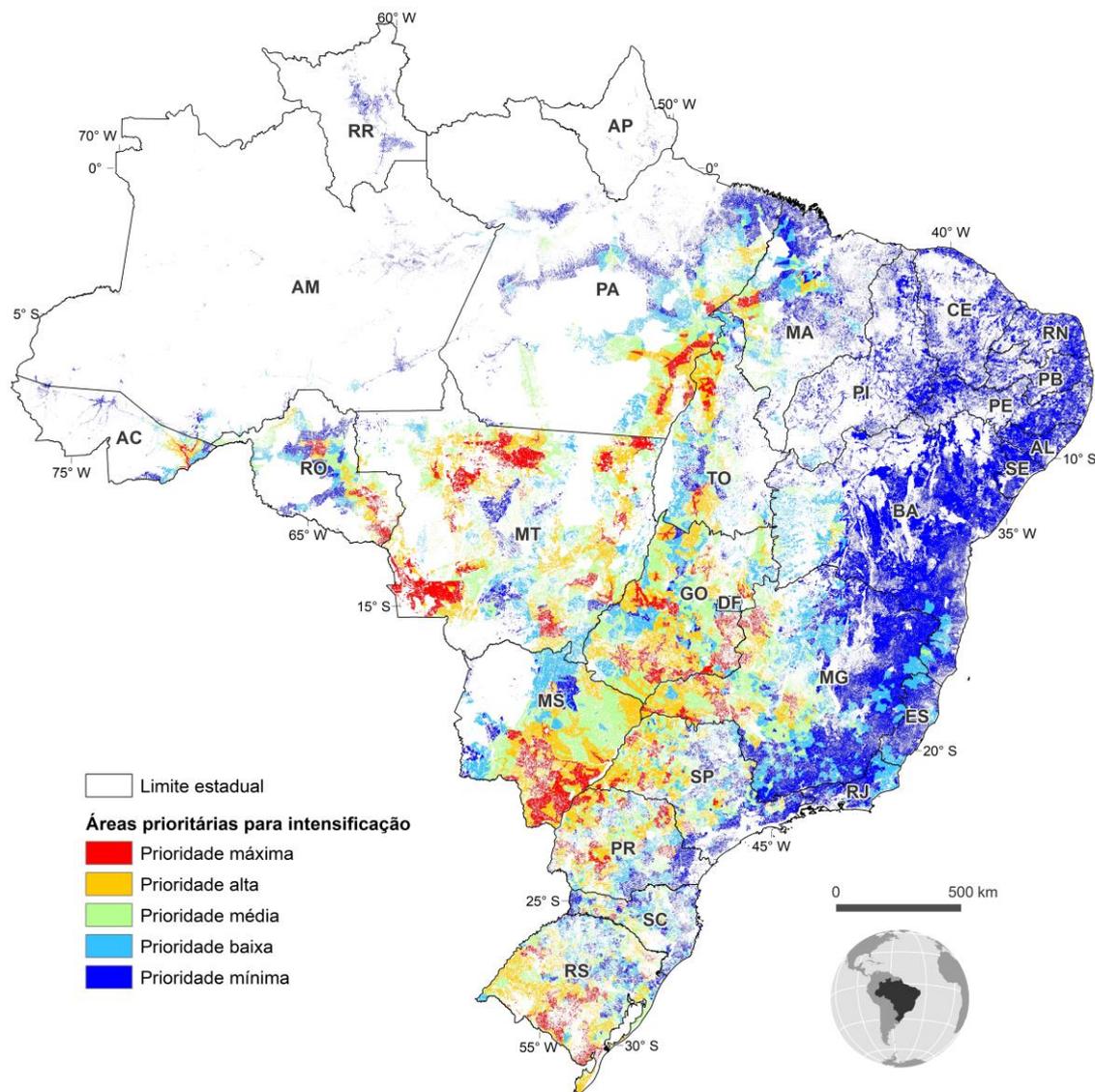
Neste estudo assumimos que as estratégias de intensificação (reforma das pastagens, confinamento e *creep-feeding* e conseqüentemente melhoria nos indicadores zootécnicos) seriam aplicadas apenas nas áreas de “alta” e “máxima” prioridade.

---

<sup>5</sup> O OTIMIZAGRO é um modelo espacialmente explícito de simulação de uso e mudança de uso do solo, desmatamento e regeneração florestal em vários cenários de demanda agrícola e políticas de desmatamento para o Brasil (Soares-Filho et al. 2013).

<sup>6</sup> <https://maps.csr.ufmg.br/>





**Figura 3.** Áreas prioritárias para intensificação da pecuária de corte no Brasil (Barbosa et al. 2015).

### 3.3.3 Capacidade suporte das pastagens

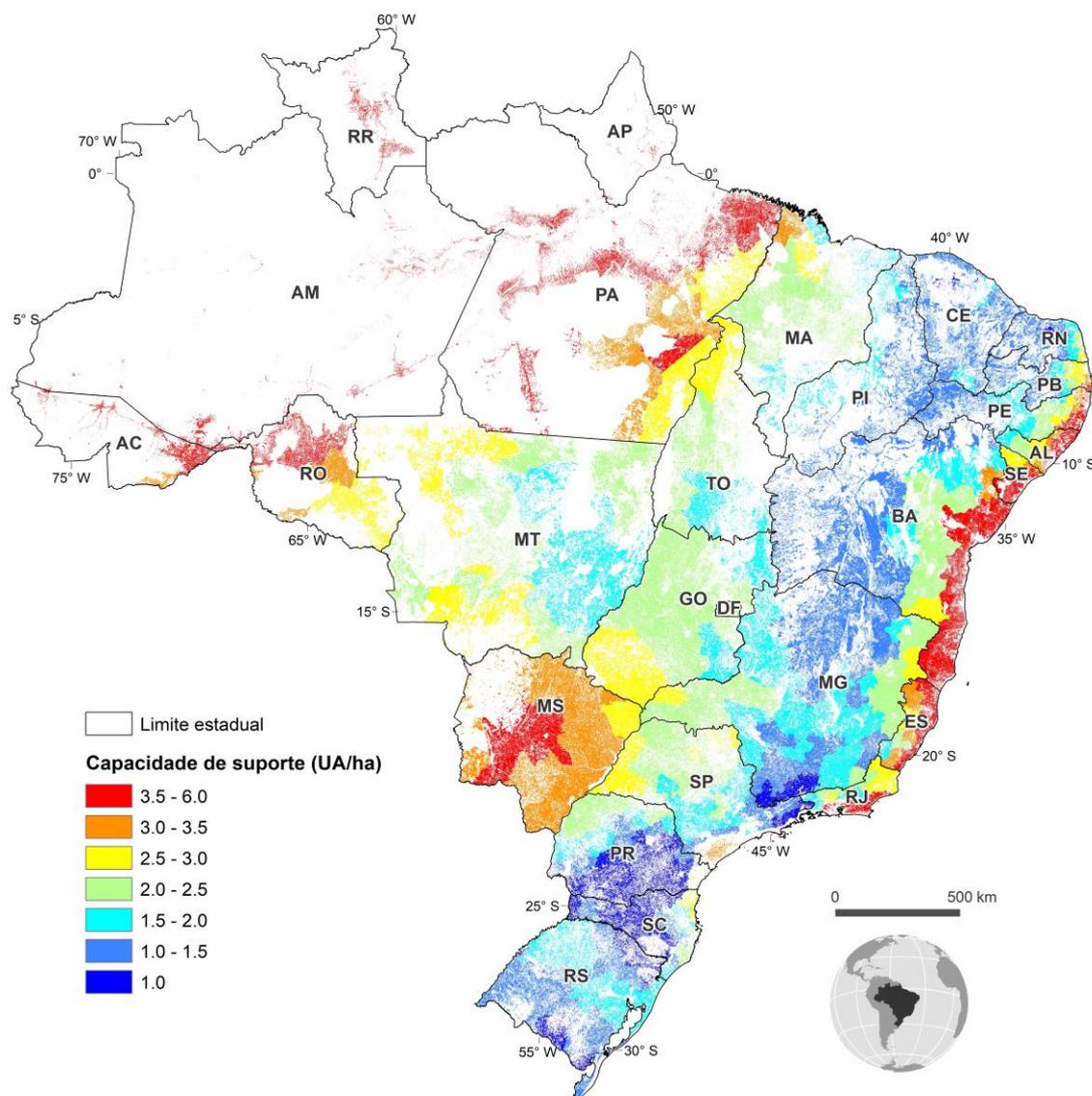
As pastagens foram classificadas em duas categorias: extensivas e melhoradas. Para o ano inicial, todo o pasto foi incluído na categoria extensiva, mas com diferentes valores de taxa de capacidade suporte<sup>7</sup>. Para os anos subsequentes, esses valores foram alterados de acordo com a área de pastagens reformadas.

Uma vez reformada, a pastagem é alterada da categoria “extensiva” para “melhorada”, assumindo assim um novo valor de capacidade suporte. Como esta variável é fortemente influenciada pelos fatores abióticos (e.g. precipitação, temperatura e radiação solar), que por sua vez são altamente variáveis no espaço, é de se esperar que algumas regiões – com temperaturas mais elevadas, fotoperíodo mais longo e maior concentração de chuvas – apresentem maior aptidão natural para

<sup>7</sup> A capacidade suporte das pastagens refere-se aqui à quantidade de animais em termos de unidade animal (UA) suportada por unidade de área (ha). 1 UA refere-se a um animal de 450 kg de peso vivo.



produção de forragem que outras. Visando contemplar esse aspecto, a capacidade suporte das pastagens melhoradas foi estimada com base em modelos preditores de acúmulo de forragem que utilizam como variável independente elementos climáticos (Tonato et al. 2010). Incorporamos também os impactos do estresse hídrico e do déficit sazonal de forragem conforme proposto em Strassburg et al. (2014). O estresse hídrico foi definido a partir do balanço de água no solo (Thornthwaite and Mather 1955 ) assumindo uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. A evapotranspiração do pasto foi estimada com base na temperatura média mensal (Camargo et al. 1999). Os dados espacializados de temperatura e precipitação foram obtidos da base de dados espacial WorldClim (Hijmans et al. 2005 ) e do Serviço Geológico Brasileiro (Pinto et al. 2011), respectivamente. O resultado dessa modelagem está ilustrado na **Figura 4**.



**Figura 4.** Distribuição espacial da capacidade suporte potencial das pastagens.



### 3.3.4 Reforma das pastagens

Com relação à reforma das pastagens, assumiu-se aqui o método convencional, que consiste no revolvimento da camada superficial do solo por meio da aração e gradagem, seguida pela incorporação de corretivos e fertilizantes e, por fim, pelo plantio das sementes.

O montante de pasto reformado aumenta de forma gradativa e linear ao longo do período simulado e varia de acordo com as estratégias de intensificação assumidas para cada cenário. Apenas foi realizada a reforma nas pastagens localizadas nas áreas prováveis para a intensificação, segundo as premissas desse estudo.

Para a espacialização do montante de pasto a ser reformada em cada cenário, assumiu-se que, dentro das áreas prováveis para intensificação, a probabilidade de ocorrer a reforma de pasto seria tanto maior quanto maior a prioridade para intensificação (**Figura 3**).

O custo da reforma é considerado como um investimento pelo modelo (**Tabela 4**), sendo definido com base na estrutura de custos proposta pelo ANUALPEC (2016) e variou espacialmente em função do gap de produtividade da pastagem e dos preços de calcário e fertilizantes. Assumimos aqui um nível de adubação das pastagens (**Tabela A1**) capaz de manter, ao longo do período simulado, a capacidade suporte das pastagens reformadas.

## 3.4. Rebanho

### 3.4.1. Evolução do rebanho

No SIMPEC, o rebanho cresce em equilíbrio com a capacidade suporte do sistema. Essa condição equivale a uma situação ideal de pressão de pastejo, ou seja, quando a quantidade de animais mantidos no pasto é mais próxima possível da quantidade de animais que o pasto de fato suporta. Para o ano inicial o rebanho de cada microrregião foi obtido nas bases do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE 2019). A partir de então, seu crescimento foi definido pela capacidade suporte total do sistema (Eq.S1 – Equações em anexo), que por sua vez é alterada em função da área de pasto total e da área de pasto reformada. A distribuição das categorias de idade e sexo do rebanho dentro do modelo é definida pela combinação dos indicadores zootécnicos (ganho de peso, taxa de natalidade, taxa de mortalidade, idade ao primeiro parto...) com as decisões de manejo (peso de abate de animais, quantidade de animais terminados em confinamento, melhoria das pastagens...).

### 3.4.2 Indicadores zootécnicos

Para o ano inicial, assumimos que todo o rebanho estaria condicionado aos indicadores zootécnicos característicos de sistemas extensivos de criação, haja vista a sua predominância no cenário atual da pecuária de corte (Tabela 2). Esses indicadores foram mantidos constantes ao longo do período simulado para o rebanho lotado nas



pastagens situadas em regiões assumidas como improváveis para intensificação, segundo as premissas deste estudo. Para o rebanho lotado nas pastagens situadas em regiões prováveis para a intensificação, assumimos uma transição gradativa de indicadores extensivos para melhorados. Assumimos que essa transição seria completa dentro de um período de 10 anos.

**Tabela 2.** Coeficientes zootécnicos para os sistemas simulados (Oliveira and Millen 2014; Corrêa et al. 2006) e consulta a especialistas.

<i>Por cenário</i>					
	<i>Inicial</i>	<i>BASE<sup>a</sup></i>	<i>MIX-PAST<sup>a</sup></i>	<i>MIX-SUP<sup>a</sup></i>	<i>MIX-SUP+<sup>a</sup></i>
Relação vaca/touro (adimensional)	1:25	1:35	1:35	1:35	1:35
Taxa de natalidade (%)	60	70	80	80	80
Taxa de mortalidade <12 meses (%)	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Taxa de mortalidade >12 meses (%)	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Peso ao desmame - machos (kg)	160	170	180	180	220 <sup>b</sup>
Peso ao desmame - fêmeas (kg)	145	160	170	170	210 <sup>b</sup>
<i>Para todos os cenários</i>					
	<i>Machos</i>		<i>Fêmeas</i>		
Peso ao nascimento (kg)	30		30		
Peso médio animal adulto (kg) (vacas e touros)	550		420		
Idade ao desmame (meses)	7		7		
GMD pasto extensivo estação - seca (kg/dia)	0,10		0,08		
GMD pasto extensivo - estação chuvosa (kg/dia)	0,50		0,38		
GMD pasto melhorado - estação seca (kg/dia)	0,20		0,11		
GMD pasto melhorado - estação chuvosa (kg/dia)	0,60		0,40		
GMD confinamento (kg/dia)	1,5				
Peso ao abate no pasto (kg peso vivo)	490		390		
Peso ao abate no semiconfinamento (kg PV)	510		-		
Peso ao abate no confinamento (kg PV)	540		-		
RC - pasto (kg carcaça/kg PV)	52		49		
RC - confinamento (kg carcaça/kg PV)	55		-		

GMD = ganho de peso médio diário; RC = rendimento de carcaça; PV = peso vivo.

<sup>a</sup> Esses valores foram aplicados apenas ao rebanho lotado nas áreas prováveis para intensificação. Para os demais animais, foi mantido os valores do ano inicial.

<sup>b</sup> Animais suplementados na fase de aleitamento.

### 3.4.3 Manejo nutricional nas fases de cria, recria e engorda

A depender do cenário, assumimos um nível de suplementação alimentar para os animais na fase de aleitamento – *creep-feeding*. Essa estratégia permite uma melhor expressão do potencial genético dos animais por meio do fornecimento de uma ração energética (**Tabela 3**), resultando assim em um acréscimo de 40 kg no peso vivo desses animais ao desmame (Carvalho, Barbosa, and McDowell 2003). Para os animais mantidos nas pastagens, tanto extensivas quanto melhoradas, assumimos um nível de suplementação proteica e mineral suficientes para manter o ganho de peso proposto nas fases de recria e engorda, ajustado especificamente para o período seco e chuvoso<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Assumimos o início da estação seca como sendo o período em que a demanda de água da planta forrageira não é adequadamente suprida pela água disponível no solo. Para definir a disponibilidade de água no solo ao longo do ano realizamos o balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite and Mather (1955 ). Nessa estimativa, assumimos uma CAD (capacidade de água disponível do solo)



(Tabela 2). Além da engorda a pasto, o modelo simula também a possibilidade de terminação dos animais em regime de confinamento. Para cada caso são computados as despesas operacionais e as receitas geradas na venda desses animais. No caso do confinamento, são computados ainda os investimentos necessários em infraestrutura para comportar os animais confinados (Tabela 4). Neste caso, o modelo considera uma liberação de pasto que eventualmente pode ser ocupada por outros animais, aumentando assim a quantidade de animais suportados pelo sistema. A entrada dos animais no confinamento ocorre quando atingem o peso corporal mínimo pré-estabelecido. O tempo de permanência nos referidos sistemas dependerá do ganho de peso dos animais e do peso definido para o abate (Tabela 2). No confinamento os animais recebem uma dieta baseada em grãos, silagem de milho e mistura mineral (Tabela 3).

A quantidade de animais terminados em confinamento no ano inicial da simulação foi obtida para os principais estados produtores (ANUALPEC 2016) e em seguida foi desagregada para as microrregiões. Dentro de cada estado procedemos o espalhamento do rebanho nas microrregiões com base no mapa de áreas prováveis para intensificação (Figura 3). Para os anos subsequentes a quantidade adicional de animais confinados variou entre os cenários de acordo com as respectivas premissas de intensificação. O espalhamento desses animais no espaço se deu nas áreas consideradas prováveis para intensificação, assumindo-se para tanto que a probabilidade de haver o confinamento seria tanto maior quanto maior a prioridade para intensificação.

**Tabela 3.** Composição da dieta (%), ingestão diária e custo do manejo nutricional dos animais.

Componente	Preço (R\$.kg <sup>-1</sup> )	Creep-feeding	Suplemento Mineral	Suplemento Proteico	Confinamento
Milho	0,45 (0,60) <sup>b</sup>	89,8	-	42	45,8
Silagem (milho)	0,11 <sup>c</sup>	-	-	-	49,5
Soja	1,04 (0,36)	6,1	-	7	3,09
Uréia	1,48 (0,55)	2,0	-	14	0,62
Calcário	0,16 (0,31)	-	-	-	0,30
Sal Mineral <sup>d</sup>	1,60	-	100	-	-
Sal Comum <sup>e</sup>	0,61	-	-	25	-
Sal Mineral 130g de P <sup>f</sup>	2,49	-	-	12	-
Núcleo Mineral <sup>g</sup>	3,20	2,0	-	-	0,74
Injeção diária (% PV)		1,00 <sup>h</sup>	0,018 <sup>h</sup>	0,10(EP); 0,30(IP) <sup>g</sup>	2,30 <sup>i</sup>
Custo (R\$,kg <sup>-1</sup> )		0,14	-	0,34	0,13

EP= pasto extensivo; IP= pasto melhorado; PV= peso vivo; <sup>a</sup> Composição da dieta baseada no RLM<sup>®</sup>/Esalq-USP; <sup>b</sup> Preço médio. Valores entre parênteses denotam a amplitude dos preços que variam espacialmente (Figura A1 – Anexo 1); <sup>c</sup> Custo da silagem de milho (ANUALPEC 2016) assumindo uma produtividade de 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de peso fresco; <sup>d</sup> Composição do sal mineral (Fosfato bicálcico – 33,30%; Calcário calcítico – 27,75%, Enxofre – 1,00%, Sulfato de zinco – 1,30%, Sulfato de cobre – 0,6%, Sulfato de manganês – 1,00%, Sulfato de cobalto – 0,030%, Iodato de cálcio – 0,010%, Selenito de sódio – 0,006%, Cloreto de sódio – 35,00%); <sup>e</sup> Sal comum: Cloreto de sódio; <sup>f</sup> Composição do Mineral 130g de P: Fosfato bicálcico – 72,00%, Calcário calcítico – 20,11%, Enxofre – 2,00%, Sulfato de zinco – 2,60%, Sulfato de cobre – 1,2%, Sulfato de manganês – 2,00%, Sulfato de cobalto – 0,060%, Iodato de cálcio – 0,020%, Selenito de sódio – 0,012%; <sup>g</sup> Mineral nucleus composition: Dicalcium phosphate – 30,00%, Calcário calcítico – 33,00%, Enxofre – 1,92%, Sulfato de zinco – 0,70%, Sulfato de cobre – 0,35%, Sulfato de manganês – 0,20%, Sulfato de cobalto

equivalente a 100 mm. Para estimar a evapotranspiração das pastagens consideramos o modelo proposto por Camargo et al. (1999).



– 0,023%, Iodato de cálcio – 0,0076%, Selenito de sódio – 0,003%, Cloreto de sódio – 30%, Phigrow (10%) – 1,70%, Rumensin – 2,1%; <sup>h</sup> Consultas a especialistas; <sup>i</sup> Barbosa et al. (2016); <sup>j</sup> Oliveira e Millen (2014).

### 3.5. Economia

O SIMPEC computa os investimentos, as despesas operacionais e as receitas resultantes dos sistemas em cada cenário simulado. Os investimentos incluem a restauração das pastagens e infraestrutura para o confinamento dos animais (Tabela 4). As despesas operacionais são compostas por gastos com o manejo das pastagens, a suplementação nutricional dos animais, o manejo sanitário, a gestão administrativa da propriedade e a mão-de-obra. As despesas nutricionais do rebanho e as despesas com manejo das pastagens variam espacialmente em função dos preços de grãos (Tabela 3) e dos fertilizantes (**Tabela A2**), respectivamente. Preços de soja e milho foram obtidos para os principais municípios produtores, enquanto os preços de fertilizantes e corretivos foram obtidos no nível estadual na base de dados da Companhia Nacional de Abastecimento para o ano de 2015 (CONAB 2018). Para os locais sem informações, assumiu-se o valor do vizinho mais próximo e posteriormente extraiu-se o valor médio para as microrregiões (**Figura A1 e A2**).

**Tabela 4.** Estrutura dos custos operacionais e de investimento utilizados no módulo econômico do SIMPEC-Brasil.

	Sistemas extensivos	Sistemas melhorados
<b>Despesas operacionais</b>		
Mão de obra (cabeça.funcionário <sup>-1</sup> ) <sup>a,b</sup>	201	401
<i>Creep-feeding</i>		Tabela 3
Suplementação mineral e proteica a pasto		Tabela 3
Dieta confinamento		Tabela 3
Manejo sanitário (R\$.UA <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	6,1	13,2
Manutenção do pasto extensivo (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	7,5	10,1
Manutenção do pasto melhorado		Tabela A1
Manutenção de infraestrutura (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	32,4	24,0
Manutenção de máquinas (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	45,6	20,9
Despesas administrativas (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	18,1	44,9
Outros custos (R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	14,8	14,6
<b>Investimentos</b>		
Reforma das pastagens (R\$.ha <sup>-1</sup> )		Tabela A3
Instalações de confinamento (R\$. cabeça adicional confinada <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>		400

<sup>a</sup>Para calcular a despesa com mão de obra consideramos a quantidade de funcionários definida pela razão cabeça/funcionário (ANUALPEC 2016) e um custo por trabalhador de R\$ 1450,00.mês<sup>-1</sup> (Salário mínimo e taxas); <sup>b</sup>(ANUALPEC 2016).

As receitas geradas em cada cenário foram computadas a partir da produção de carne – calculada em função da quantidade e peso dos animais abatidos – e do preço pago pela carne, obtido para as principais regiões produtoras (ANUALPEC 2016) para o ano de 2015. Para os locais sem dados, assumiu-se o valor do vizinho mais próximo e posteriormente extraiu-se o valor médio para as microrregiões (**Figura A3**).



### 3.6. Emissões de GEE

Para cada cenário foram computadas as emissões entéricas (CH<sub>4</sub>), de dejetos (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) e do uso de fertilizantes (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O), além do sequestro de carbono nas pastagens reformadas. As emissões do rebanho (entéricas e dejetos) foram calculadas com base na metodologia do IPCC *tier2* (IPCC 2006) que leva em consideração os impactos da melhoria da dieta dos animais nas referidas emissões (**Tabela 5**). Já as emissões de fertilizantes foram calculadas com base na metodologia do IPCC *tier1* (IPCC 2006).

**Tabela 5.** Propriedades da dieta para os diferentes regimes de alimentações.

	Pasto extensivo	Pasto melhorado	Confinamento
Proteína bruta (%)	7,6 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	13,9 <sup>d</sup>
Digestibilidade dieta (%)	50,0 <sup>f</sup>	55,3 <sup>b</sup>	71,4 <sup>g</sup>
Fator de conversão CH <sub>4</sub> (%)	6,5 <sup>e</sup>	6,0 <sup>f</sup>	3,0 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Paulino et al. (2005); <sup>b</sup> Euclides et al. (2009); <sup>c</sup> Barbosa et al. (2016); <sup>d</sup> Cota et al. (2014); <sup>e</sup> IPCC (2006); <sup>f</sup> Premissas do estudo; <sup>g</sup> Euclides, Euclides Filho, and Arruda (1998).

O sequestro de carbono nas pastagens reformadas foi estimado com base no método de comparação dos estoques de carbono no solo após o uso ou mudança de uso do solo relativo ao estoque de carbono em uma condição de referência (IPCC 2003), como se segue:

$$\Delta C = \frac{\{C_{ref} * [F_{ct_0} - F_{ct_1}]\}}{D}$$

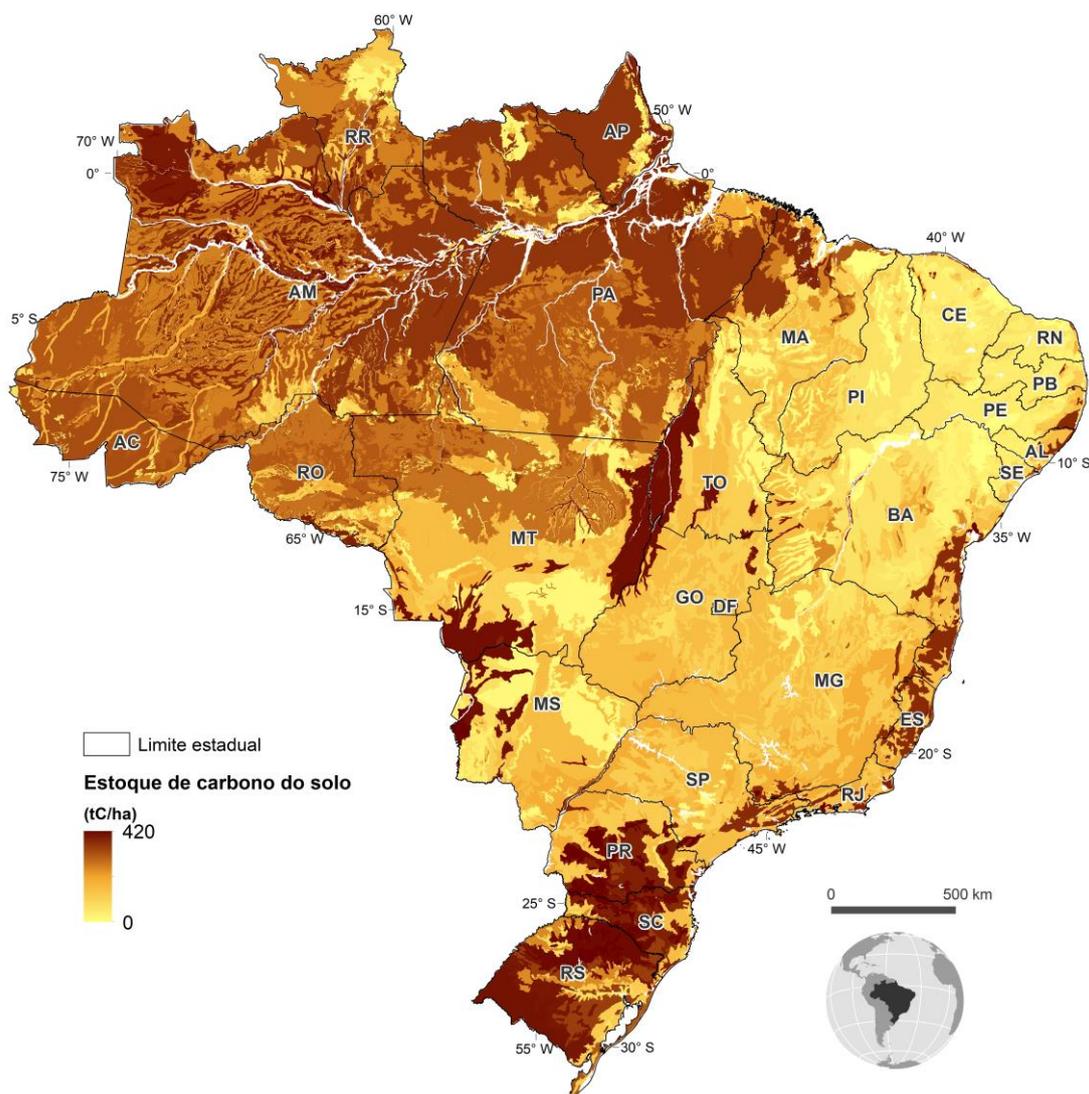
onde  $\Delta C$  é a variação anual do estoque de carbono no reservatório (MtonC/ano);  $C_{ref}$  é o estoque de carbono no solo da vegetação nativa (Mton C);  $F_{ct}$  é o fator de mudança de estoque no momento  $t$  (sem dimensão); e  $D$  é a dependência temporal dos fatores de mudança de estoque, que é o período de tempo padrão para a transição entre os valores de SOC de equilíbrio (anos) que assumimos ser de 20 anos de acordo com o proposto pelo IPCC (IPCC 2006).

O carbono de referência ( $C_{ref}$ ) foi obtido pela metodologia de Bernoux et al. (2002), ilustrado na **Figura 5**. O fator de mudança de estoque ( $F_{ct}$ ), que representa o ganho ou perda de carbono para o período  $D$  na camada superior (0-30 cm), é o resultado da multiplicação de um conjunto de fatores como: i) o fator de mudança no uso da terra ( $F_{lu}$ ), que significa a mudança de carbono de acordo com o sistema de uso do solo (cultivo agrícola ou pastagem, no caso particular deste estudo); ii) o fator de manejo ( $F_{mg}$ ) (plantio direto / plantio direto e pastagens degradadas / melhoradas); iii) o fator de insumos ( $F_i$ ), que reflete a adoção ou não de insumos como irrigação, fertilização, calagem e outros. A equação de mudança de estoque do solo acima foi aplicada de maneira espacialmente explícita, pixel por pixel, para o Brasil, colocando o mapa de referência do estoque de carbono do solo (**Figura 5**) sobre os mapas de uso e manejo do solo simulados pelo Otimizagro. Utilizamos fatores regionais *default* do IPCC (**Tabela 6**).

**Tabela 6.** Fatores de mudança no estoque de carbono no solo.

Uso do solo	Fator de mudança no estoque de C no solo (adimensional)
Pasto extensivo	0,97
Pasto reformado	1,17





**Figura 5.** Estoque de carbono no solo (tonC/ha) reproduzido a partir da Metodologia de Bernoux et al. (2002).

Não incluímos o sequestro de carbono na biomassa das pastagens melhoradas por considerar que o processo de reforma resulta também em perda de biomassa da vegetação invasora (ervas e arbustos) presente nas pastagens extensivas, que muitas vezes pode promover maior sequestro de carbono que o esperado nas pastagens (Wandelli and Fearnside 2015).

Para converter as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  em  $\text{CO}_2\text{e}$  ( $\text{CO}_2$  equivalente) nós usamos o fator de potencial de aquecimento global para  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  de 28 e 265, respectivamente (Myhre et al. 2013).



### 3.7. Cenários de intensificação

As trajetórias futuras da pecuária de corte no Brasil foram simuladas em um cenário “business-as-usual” (**BASE**) e outros três cenários de intensificação (**MIX-PAST**, **MIX-SUP**, **MIX-SUP+**). No cenário **BASE**, o incremento médio de produtividade do rebanho observado entre os anos e 1996 e 2012 foi projetado para o futuro, constituindo assim um cenário de linha de base. Neste, os parâmetros históricos são mantidos constantes para o crescimento do rebanho, o que exigirá a reforma de 15 Mha de pastagens degradadas, para a terminação em confinamento (taxa de crescimento de 4% ao ano) e para o peso ao desmame (160-170 kg). No cenário **BASE**, não se considera qualquer meta para a produção de carne a ser alcançada para o futuro. Os demais cenários (**MIX-PAST**, **MIX-SUP**, **MIX-SUP+**) projetam a evolução do rebanho bovino brasileiro submetido a um conjunto de estratégias que objetivam aumentar a produção de carne para um volume pré-estabelecido para 2030 (12,6 Mton Eq. Carc – **Tabela 7**).

**Tabela 7.** Projeções da demanda de carne bovina (Mton Eq. Carc) no Brasil (2018-2030).

Ano	Demanda por carne bovina (Mton Eq. Carc)
2018	9,69
2019	10,24
2020	10,52
2021	10,57
2022	10,80
2023	11,19
2024	11,20
2025	11,36
2026	11,60
2027	11,85
2028	12,10
2029	12,36
<b>2030</b>	<b>12,62*</b>

\*Originalmente, as projeções são para o período de 2018 a 2028 (MAPA 2018). Nós extendemos essa projeção para 2030 usando a taxa média de crescimento entre 2018 e 2028.

No cenário **MIX-PAST** é dado maior foco para a intensificação via reforma das pastagens degradadas. Os parâmetros de crescimento dos animais terminados em regime de confinamento (4% ao ano) foram mantidos constantes enquanto o modelo é rodado várias vezes com diferentes níveis de reforma das pastagens até atingir a produção de 12,6 Mton Eq. Carc em 2030. A mesma abordagem foi utilizada para os cenários **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, mas com diferentes ênfases para a terminação em confinamento e suplementação de bezerros (*Creep-feeding*). No cenário **MIX-SUP**, o parâmetro de terminação em confinamento (taxa anual de crescimento) foi de 14%. Esse mesmo valor foi mantido para a terminação em confinamento no cenário **MIX-SUP+**. Assumimos para o cenário **MIX-SUP+**, além de uma maior taxa de crescimento do rebanho confinado em relação ao **MIX-PAST**, o uso adicional de suplementação para bezerros, o que aumentou o peso ao desmame de 170-180 kg para 210-220 kg (**Tabela 2**). Nosso estudo não considera sistemas integrados onde a pastagem é rotacionada com cultivos, porque nesse caso a produção de carne é tipicamente um produto secundário das fazendas de cultivo intensivo de grãos. Enquanto no cenário linha de base (**BASE**) consideramos um cenário de mudança de uso do solo que pressupõe um nível



intermediário de governança (IEG), nos cenários de intensificação assumimos um cenário de mudança de uso do solo com maior governança (SEG) (Rochedo et al. 2018).

**Tabela 8.** Premissas assumidas para os cenários simulados.

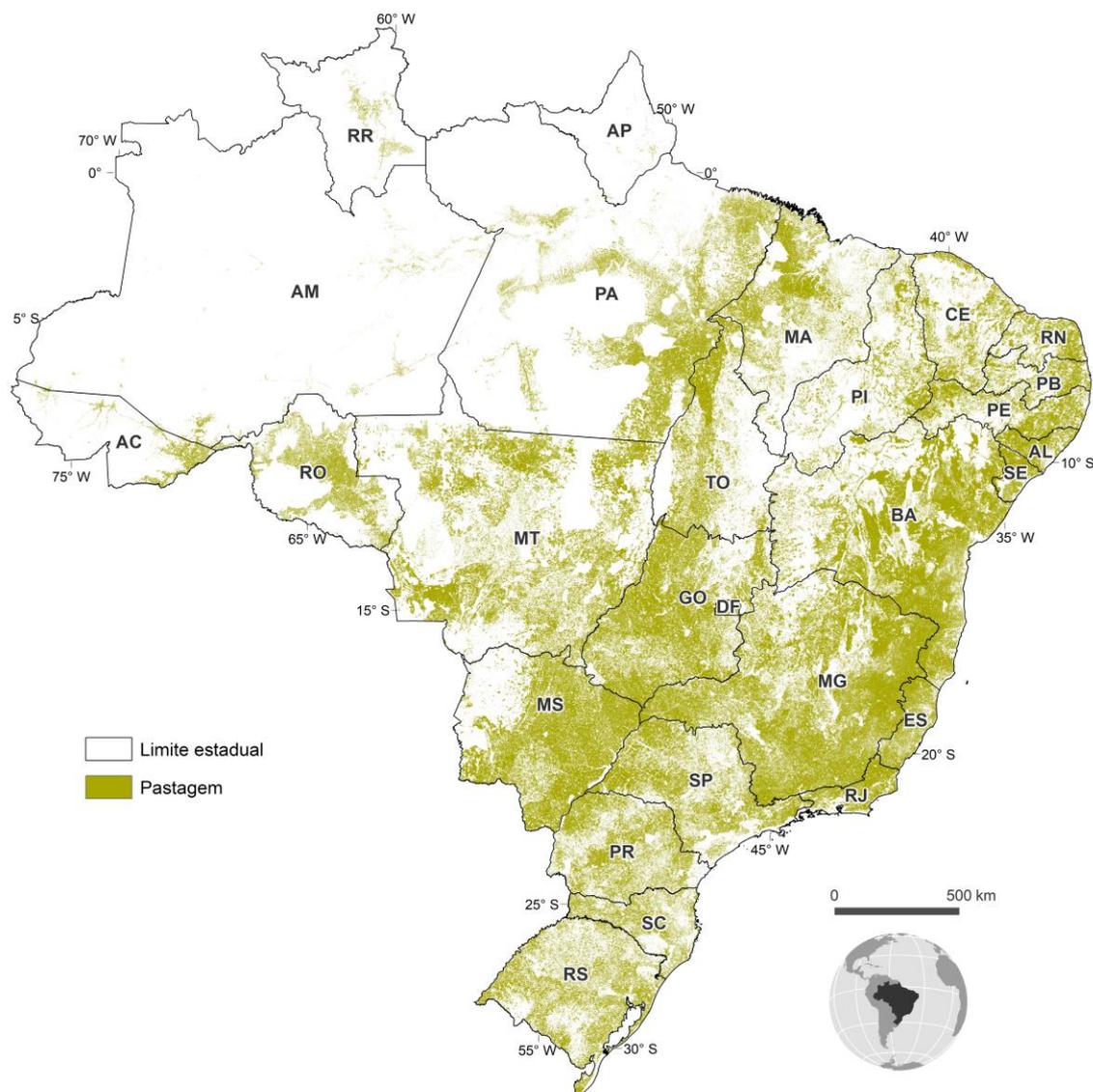
	<i>BASE</i>	<i>MIX-PAST</i>	<i>MIX-SUP</i>	<i>MIX-SUP+</i>
<b>Área de pastagens</b>	Assume a manutenção das atuais políticas de controle do desmatamento, logo haverá <b>maior expansão na área de pasto.</b>	Assume a a expansão das atuais políticas de comando e controle do desmatamento e o apoio político completo à agenda ambiental do país, logo haverá <b>menor expansão na área de pasto.</b>	Assume a a expansão das atuais políticas de comando e controle do desmatamento e o apoio político completo à agenda ambiental do país, logo haverá <b>menor expansão na área de pasto.</b>	Assume a a expansão das atuais políticas de comando e controle do desmatamento e o apoio político completo à agenda ambiental do país, logo haverá <b>menor expansão na área de pasto.</b>
<b>Meta de produção</b>	Não possui meta de produção.	Aumentar a produção de carne para <b>12.6 Mton</b> até 2030.	Aumentar a produção de carne para <b>12.6 Mton</b> até 2030.	Aumentar a produção de carne para <b>12.6 Mton</b> até 2030.
<b>Confinamento</b>	Cresce de acordo com as <b>taxas históricas.</b>	Cresce de acordo com as <b>taxas históricas.</b>	Cresce a <b>taxas maiores</b> que as observadas no passado.	Cresce a <b>taxas maiores</b> que as observadas no passado.
<b>Creep-feeding</b>	Animais <b>não</b> são suplementados na fase de aleitamento.	Animais <b>não</b> são suplementados na fase de aleitamento.	Animais <b>não</b> são suplementados na fase de aleitamento.	Animais <b>recebem</b> suplementação na fase de aleitamento.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados das pastagens

As pastagens constituem o principal uso do solo no setor agropecuário brasileiro. São aproximadamente 223 Mha distribuídos em todo o território nacional destinados à criação de bovinos (**Figura 6**).



**Figura 6.** Distribuição espacial das pastagens no ano inicial.

A maior parcela está situada na região centro-oeste (62 Mha), sendo o estado do Mato Grosso o principal representante (24 Mha). A região nordeste ocupa a segunda posição (56 Mha) seguida pela região sudeste (50 Mha), norte (32 Mha) e sul (22 Mha). Minas Gerais é o estado brasileiro com a maior área de pasto (34 Mha).



#### 4.1.1 Áreas prováveis para intensificação

Levando em consideração as premissas assumidas neste estudo para definição das áreas prováveis para intensificação, do total de pasto no início da simulação, apenas 27% (58 Mha) estariam passíveis de serem intensificados. O restante (165 Mha) continuaria sendo manejado extensivamente (**Tabela 9**).

**Tabela 9.** Área de pasto inicial classificada de acordo com o nível de prioridade para intensificação (Barbosa et al. 2015) e status para intensificação segundo a premissa do presente estudo.

Nível de prioridade	Área de pasto (Mha)	Status para intensificação
Mínima	85,8	Não provável
Pequena	36,6	Não provável
Intermediária	38,1	Não provável
Alta	38,2	Provável
Máxima	19,3	Provável

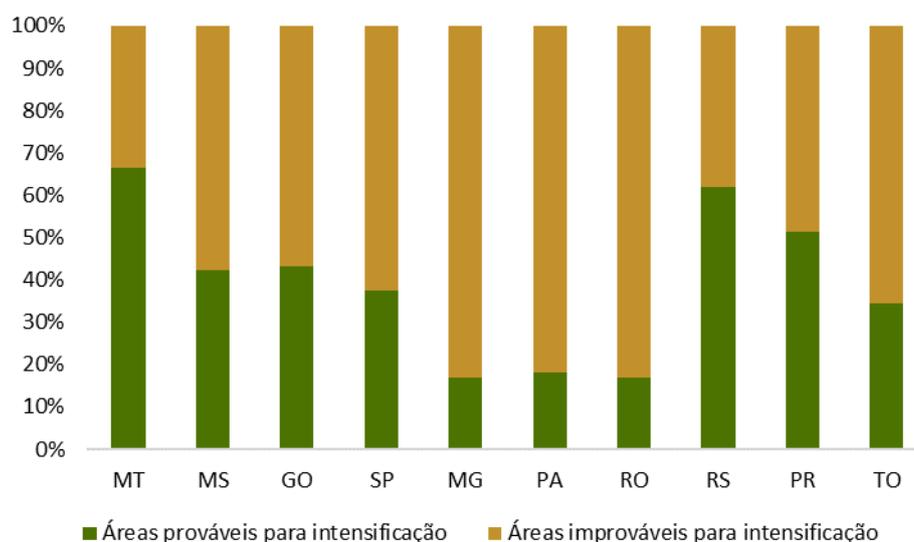
Em termos absolutos, a maior parte das áreas prováveis para intensificação segundo essas premissas estão situadas na região centro-oeste, sendo Mato Grosso o principal representante (16,4 Mha), seguido por Goiás (8,0 Mha) e Mato Grosso do Sul (7,9 Mha). Os referidos estados detêm 56% da área de pasto passível para intensificação onde está lotado 20% do rebanho brasileiro (**Tabela 10**).

**Tabela 10.** Área de pasto (Mha) e rebanho (milhões de cab.) provável para a intensificação nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil.

Estado	Área de pasto (Mha)	Rebanho (Milhões cab)
Mato Grosso	16,4	23,1
Mato Grosso do Sul	7,9	8,7
Goiás	8,0	10,4
São Paulo	4,0	5,0
Minas Gerais	5,8	6,2
Pará	2,8	3,6
Rondônia	0,9	1,8
Rio Grande do Sul	6,3	6,1
Paraná	4,3	5,0
Tocantins	2,8	2,8
<b>Brasil</b>	<b>58,0</b>	<b>74,3</b>

Em termos relativos, Mato Grosso também se destaca entre os demais estados em relação à disponibilidade de áreas prováveis para intensificação. Ao menos 66% das suas pastagens e 78% do seu rebanho seriam passíveis para a intensificação. Em seguida estão Goiás (8 Mha) e Mato Grosso do Sul (7,9 Mha) (**Figura 7**).





**Figura 7.** Participação percentual das áreas de pasto prováveis e improváveis para intensificação nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil.

#### 4.1.2 Projeções futuras da área de pasto

Quanto ao uso do solo futuro, projeta-se uma expansão da área ocupada com os principais cultivos agrícolas ao longo do período simulado (**Tabela 11**). As já extensas áreas de pasto são projetadas para aumentar gradativamente ao longo desse período, alcançando em 2030 aproximadamente 250 Mha no cenário linha de base (**BASE**) e 230 Mha nos cenários de intensificação (**MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**). Há entre os cenários uma pequena variação neste montante em função das diferentes demandas por expansão da área de cultivos agrícolas para suprir as exigências nutricionais do rebanho, que será tanto maior quanto maior a adoção de grãos na dieta dos animais.

**Tabela 11.** Área (Mha) ocupada pelos principais usos do solo no ano inicial e em 2030 nos diferentes cenários simulados.

Uso do solo	Inicial	Cenários projetados 2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Pastagens	223,1	250,9	231,2	230,7	230,3
Soja	23,4	48,1	48,1	48,1	48,2
Milho	13,4	24,0	24,2	24,7	25,1
Cana-de-açúcar	9,60	13,27	13,27	13,27	13,27
Floresta plantada	6,74	9,07	9,07	9,07	9,07

A maior expansão na área de pasto deverá ocorrer na região norte, principalmente no Pará, onde espera-se para 2030 um acréscimo de 44% no cenário **BASE** e 17% nos demais cenários. Para o Mato Grosso, principal produtor de carne bovina no Brasil, projeta-se uma expansão de quase 7 Mha no cenário **BASE** e  $\approx 0,5$  Mha nos demais cenários. Minas Gerais, mesmo com uma retração esperada para todos os cenários, deverá chegar em 2030 com a maior área de pasto do Brasil (**Tabela 12**).



**Tabela 12.** Área de pasto (Mha) inicial e em 2030 para os principais estados produtores de carne bovina no Brasil nos diferentes cenários simulados.

Estados	Inicial	Cenários projetados 2030			
		<i>BASE</i>	<i>MIX-PAST</i>	<i>MIX-SUP</i>	<i>MIX-SUP+</i>
Mato Grosso	24,8	31,2	25,3	25,2	25,0
Mato Grosso do Sul	18,6	16,9	16,2	16,1	16,1
Goiás	18,6	16,7	15,5	15,4	15,4
São Paulo	10,7	8,6	8,5	8,4	8,4
Minas Gerais	34,0	32,7	31,8	31,7	31,7
Pará	15,9	22,8	18,6	18,5	18,5
Rondônia	5,2	5,6	5,0	5,0	4,9
Rio Grande do Sul	10,1	13,4	13,4	13,4	13,3
Paraná	8,4	7,8	7,8	7,7	7,7
Tocantins	26,1	28,9	27,6	27,6	27,6
<b>Brasil<sup>a</sup></b>	<b>223,1</b>	<b>250,8</b>	<b>231,2</b>	<b>230,6</b>	<b>230,3</b>

<sup>a</sup> A diferença na área de pasto entre os cenários de intensificação (*MIX-PAST*, *MIX-SUP* e *MIX-SUP+*) se deve à expansão da área de milho sobre o pasto para atender a demanda adicional por grãos para alimentar o rebanho.

Em alguns estados, cujo uso agrícola já é bem consolidado e as possibilidades de utilização das áreas nativas para fins produtivos são restritas, a expansão dos principais cultivos agrícolas (grãos, cana-de-açúcar, florestas plantadas) deverá se dar nas áreas de pasto. Isso deverá acontecer, por exemplo, de forma mais efetiva, nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul, que deverão perder em média 20, 13 e 11% de suas pastagens, respectivamente.

#### 4.1.3 Área de pasto reformado

Quanto à reforma das pastagens, assumimos que aumentaria gradativamente ao longo do período projetado a partir do ano inicial (**Figura 8**).

Nos cenários de intensificação, como a meta de produção de carne para 2030 é a mesma, a área de pasto a ser reformado será tanto maior quanto menor a participação de grãos na dieta dos animais. Assim, é esperado para 2030 uma maior área de pasto reformado no cenário *MIX-PAST* (28,3 Mha), seguido pelo *MIX-SUP* (24,8 Mha) e *MIX-SUP+* (22,6 Mha). No cenário *BASE* seriam reformados apenas 15 Mha, metade da meta brasileira para reforma de pasto em 2030 (Plano ABC 2012; Brasil 2015) (**Figura 9**).



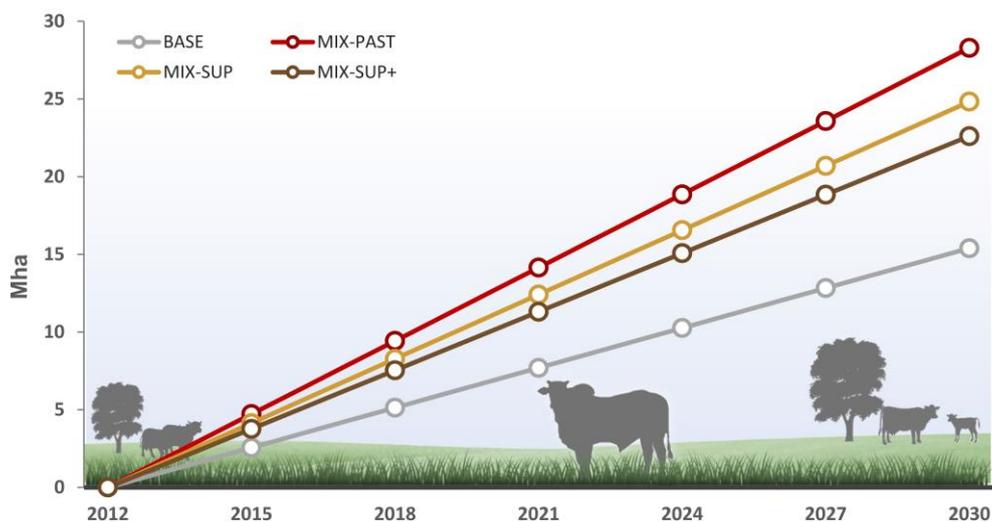


Figura 8. Evolução temporal da área de pasto reformado nos cenários simulados.

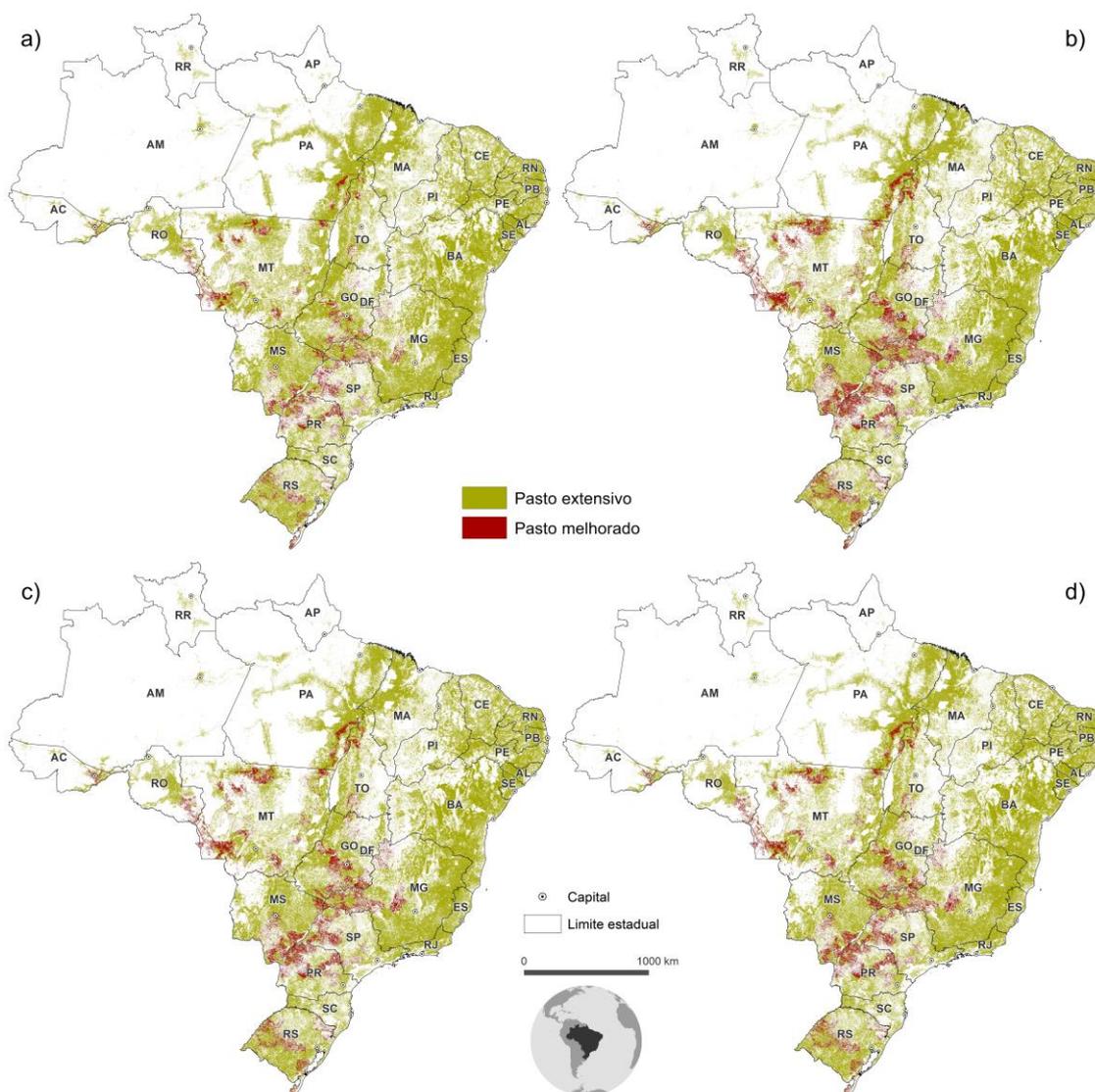


Figura 9. Espacialização da reforma de pasto nos cenários **BASE** (a), **MIX-PAST** (b), **MIX-SUP** (c) e **MIX-SUP+**(d) no ano de 2030.



Mato Grosso, dada a estrutura fundiária favorável à intensificação e às demais características que o definem como um estado de elevada prioridade para intensificação (**Figura 3**), seria o estado brasileiro com maior potencial para a reforma das pastagens. Do total de pasto a ser reformado em cada cenário, aproximadamente 22% seriam estabelecidas neste estado. Em termos absolutos, isso corresponderia a 3,1, 6,5, 5,5 e 4,9 Mha nos cenários **BASE**, **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente. Em segundo lugar estão os estados de Goiás ( $\approx 12\%$ ) e Mato Grosso do Sul ( $\approx 10\%$ ). Juntos, esses três estados situados na região centro-oeste, seriam responsáveis por quase metade da reforma de pasto esperada para o Brasil, apontando assim a aptidão desta região para a pecuária intensificada (**Tabela 13**).

**Tabela 13.** Área de pasto reformada (Mha) nos principais estados produtores de carne bovina e no Brasil nos diferentes cenários simulados.

Estados	BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Mato Grosso	3,1	6,5	5,5	4,9
Mato Grosso do Sul	1,3	3,0	2,5	2,2
Goiás	1,6	3,6	3,0	2,6
São Paulo	2,0	2,4	2,3	2,3
Minas Gerais	1,8	3,5	3,1	2,8
Pará	0,5	1,2	1,0	0,9
Rondônia	0,4	0,7	0,7	0,6
Rio Grande do Sul	1,8	3,1	2,8	2,6
Paraná	2,3	3,2	3,0	2,8
Tocantins	0,4	0,8	0,7	0,6
<b>Brasil</b>	<b>15,4</b>	<b>28,3</b>	<b>24,8</b>	<b>22,6</b>

#### 4.1.4 Taxa de lotação suporte das pastagens

Como já mencionado, no SIMPEC, a taxa de lotação suporte do pasto é alterada pela reforma das pastagens. Assim, é esperado para o futuro um aumento gradativo para todos os cenários simulados (**Figura 10**). Considerando apenas as áreas prováveis para intensificação (**Tabela 9**), em 2030, a taxa média de suporte do pasto deverá aumentar 47, 96, 85 e 77 % nos cenários **BASE**, **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+** (**Tabela 14**).

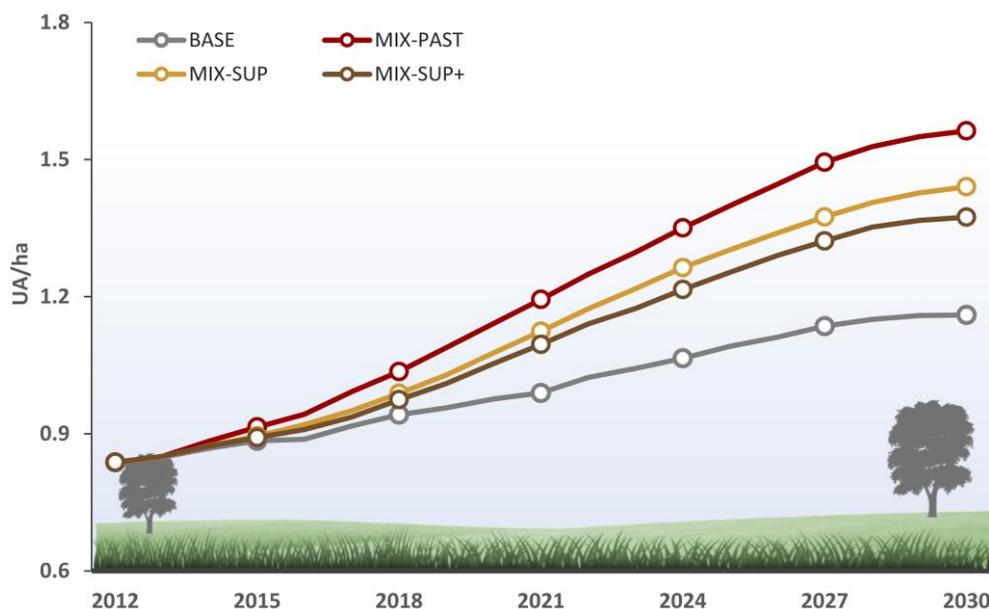
Regionalmente, o aumento dessa taxa será tanto maior quanto maior seu potencial para a produção de forragem e quanto maior a quantidade de pasto reformado.

Rondônia é o estado brasileiro onde as pastagens são mais produtivas. Tal condição é evidenciada pela taxa de lotação de suas pastagens, cuja média estimada para o ano inicial é de 1,41 UA/ha, um valor 63% maior que a média das regiões prováveis para intensificação e 120% maior que a média nacional (0,64 UA/ha) (**Tabela 14**). Se reformados os 650 mil hectares de pasto (valor médio dos cenários de intensificação), essa taxa deverá aumentar para 2,62 UA/ha.

Em termos de impacto da reforma na taxa de lotação das pastagens, Mato Grosso do Sul se destaca entre os demais estados. Em média, cada hectare de pasto reformado



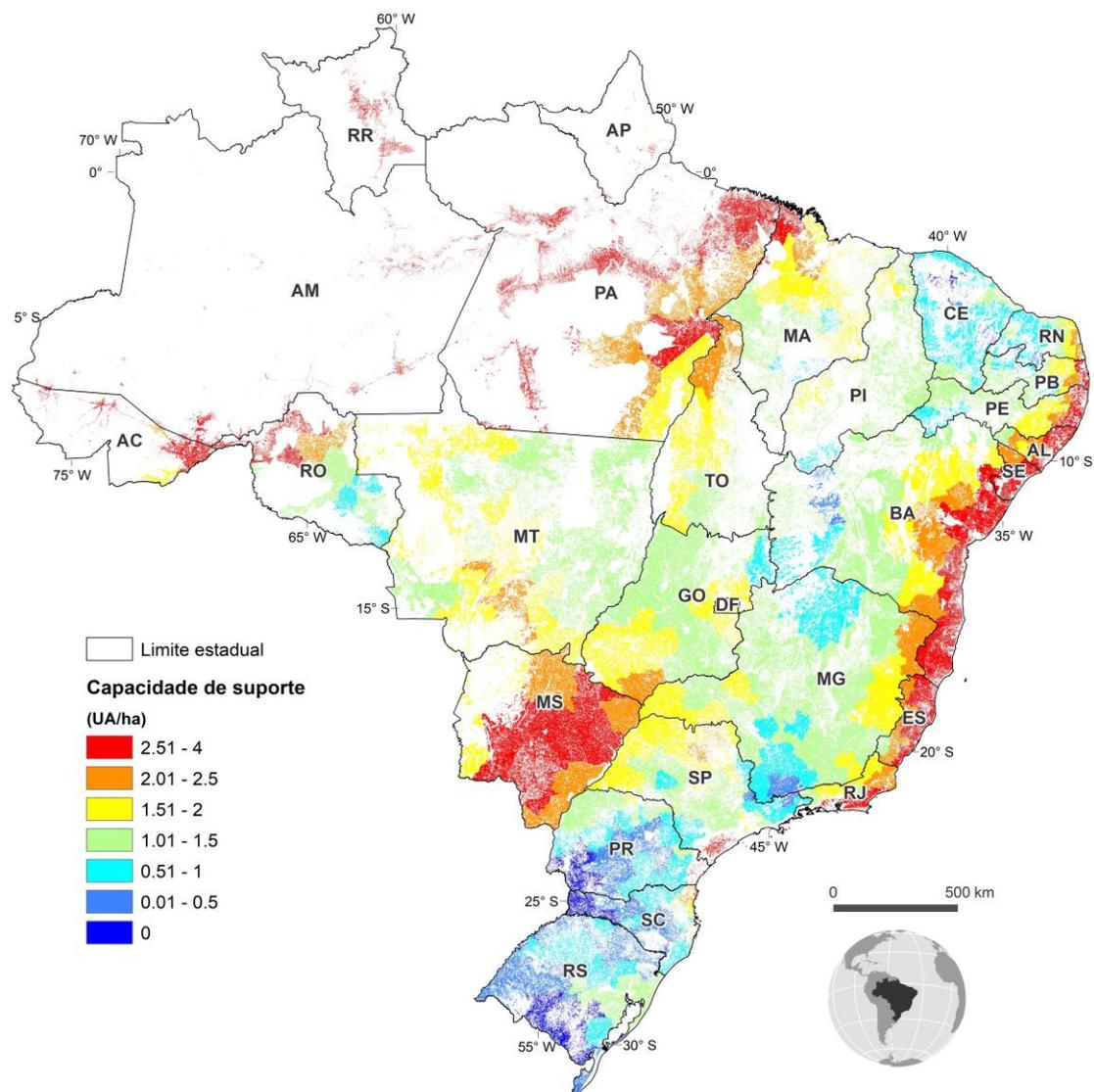
neste estado deverá aumentar a sua lotação em 2,4 UA, quase o dobro do esperado para o Mato Grosso, onde esse valor é de 1,3 UA.



**Figura 10.** Evolução temporal da taxa de lotação média das áreas prováveis para intensificação nos cenários modelados.

O menor impacto da reforma na taxa de lotação das pastagens é esperado para o estado do Rio Grande do Sul onde, segundo nossas estimativas, cada hectare de pasto reformado deveria aumentar sua lotação em apenas 0,6 UA. Neste estado, é esperado um incremento médio de 12% da taxa de lotação das pastagens, mesmo se reformados 770 mil hectares de pasto (média para os cenários de intensificação) (**Tabela 14**). Esse resultado indica que neste estado a produtividade atual das pastagens está bem próxima do seu potencial, o que pode ser visualizado na **Figura 11**.

Em geral, esses resultados apontam que nem sempre a reforma das pastagens se dará nas regiões onde é esperado maior impacto na taxa de lotação, ou seja, onde o *gap* de produtividade é maior. Provavelmente essas pastagens serão reformadas onde as condições de desenvolvimento, sobretudo logísticas, são mais favoráveis para intensificação (**Figura 3**). Isso explica porque a reforma de pasto projetada para o Mato Grosso é maior que aquela projetada para o Mato Grosso do Sul, por exemplo, mesmo não apresentando o maior *gap* de produtividade das pastagens.



**Figura 11.** Gap de produtividade das pastagens brasileiras.

**Tabela 14.** Taxa de lotação das pastagens (UA/ha) para o ano inicial e em 2030 nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil\*.

Estados	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Mato Grosso	0,95	1,18	1,54	1,45	1,40
Mato Grosso do Sul	0,76	1,30	2,02	1,80	1,67
Goiás	0,88	1,23	1,70	1,57	1,48
São Paulo	0,85	1,83	2,07	2,01	1,98
Minas Gerais	0,72	1,20	1,70	1,60	1,51
Pará	0,88	1,16	1,61	1,48	1,41
Rondônia	1,41	1,88	2,62	2,58	2,51
Rio Grande do Sul	0,69	0,73	0,79	0,77	0,77
Paraná	0,81	1,29	1,51	1,46	1,42
Tocantins	0,68	0,93	1,32	1,21	1,14
<b>Média</b>	<b>0,86</b>	<b>1,27</b>	<b>1,69</b>	<b>1,59</b>	<b>1,53</b>

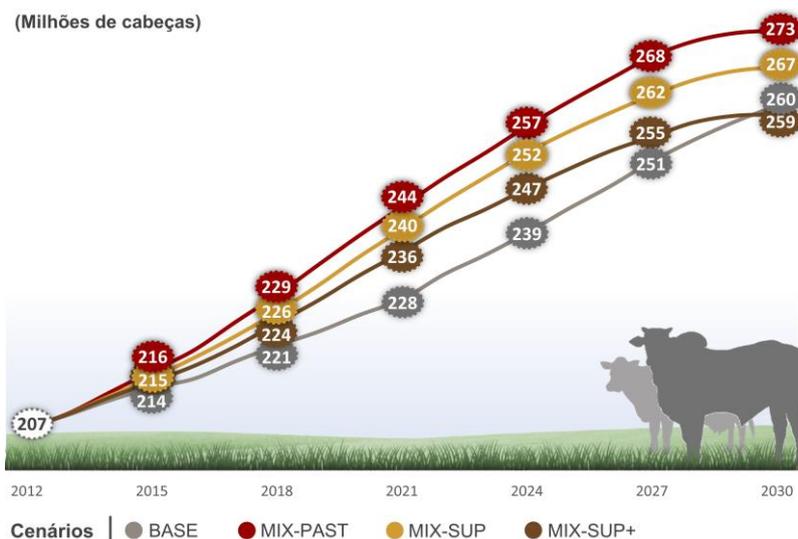
\* Médias das áreas prováveis para intensificação.



## 4.2 Resultados produtivos

### 4.2.1 Evolução do rebanho

A expansão da área destinada a pastagens combinada com o aumento da taxa de lotação das pastagens deverá promover um crescimento do rebanho em todos os cenários modelados (**Figura 12**).



**Figura 12.** Evolução do rebanho nos cenários modelados.

Dentre os cenários de intensificação (**MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**), como a área total de pasto é muito próxima, a diferença no tamanho do rebanho será definida pela quantidade de pasto reformado. Nesse sentido, o maior crescimento do rebanho deverá se dar no **MIX-PAST** (1,8% ao ano), totalizando em 273 milhões de cabeças em 2030. Em seguida está o cenário **MIX-SUP** cujo crescimento médio anual do rebanho de 1,6 % deverá aumentar o rebanho para 267 milhões de cabeças. Dentre os cenários de intensificação, o menor crescimento do rebanho deverá se dar no cenário **MIX-SUP+** (259 milhões de cabeças em 2030) (**Tabela 15**).

Sob um cenário linha de base (**BASE**) o crescimento do rebanho deverá ser bem próximo do projetado no cenário **MIX-SUP+**, todavia esse aumento ser mais influenciado pela expansão horizontal das pastagens.

Mato Grosso, principal produtor brasileiro de carne bovina, deverá apresentar um crescimento expressivo no seu rebanho até o final da simulação. É esperado para este estado um incremento médio de 47%, o que equivale a um aumento de 13,7, 15,7, 14,0 e 12,1 milhões de cabeças até 2030 nos cenários **BASE**, **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente (**Tabela 16**). Nessas condições, este estado deverá continuar a deter o maior rebanho bovino do Brasil.

Em termos absolutos, destaca-se também o crescimento do rebanho projetado para o estado do Pará, 6,2 milhões de cabeças a mais em 2030 (média para os cenários simulados). O montante inicial de 18,5 milhões de cabeças deverá aumentar para 26,5, 24,6, 24,1 e 23,6 milhões de cabeças nos cenários **BASE**, **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente. Neste estado, o principal responsável pelo crescimento do

rebanho deverá ser o aumento na área de pasto (**Tabela 12**) mais do que o aumento da capacidade produtiva pela reforma das pastagens já em uso indicando um aumento da importância da pecuária extensiva no estado.

**Tabela 15.** Resultados produtivos do rebanho para o ano inicial e para 2030 nos cenários modelados.

Resultados do rebanho <sup>a</sup>	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Rebanho (Milhões de cabeças)	207 (74)	260 (107)	273 (131)	267 (125)	259 (117)
Animais abatidos (Milhões de cabeças)	37 (14)	48 (22)	55 (30)	54 (29)	53 (28)
Animais confinados (Milhões de cabeças)	3,6	6,1	6,1	12,7	12,5
Idade media de abate (Meses)	40,8 (35,2)	37,5 (30,0)	35,9 (28,9)	35,4 (27,8)	37,5 (25,6)
Produtividade (arroba,cab <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	2,8 (3,0)	2,8 (3,2)	3,1 (3,5)	3,1 (3,7)	3,2 (3,8)
Produtividade (arroba,ha <sup>-1</sup> )	2,6 (3,7)	2,9 (5,5)	3,6 (8,1)	3,6 (8,1)	3,6 (8,1)
Produção de carne (Mton Eq, Carc)	8,6 (3,3)	11,1 (9,0)	12,6 (6,8)	12,6 (6,8)	12,6 (6,8)

<sup>a</sup> Valores fora de parênteses referem-se ao total para o Brasil e entre parênteses, às áreas prováveis para intensificação.

<sup>b</sup> 1 arroba = 15 kg de equivalente carcaça.

São Paulo, por outro lado, é o estado em que todo o crescimento projetado para o rebanho, independente do cenário, deverá se dar pela melhoria da produtividade das pastagens já existentes uma vez que é esperado um aumento do rebanho de 28% mesmo diante da retração na área de pasto de 21%.

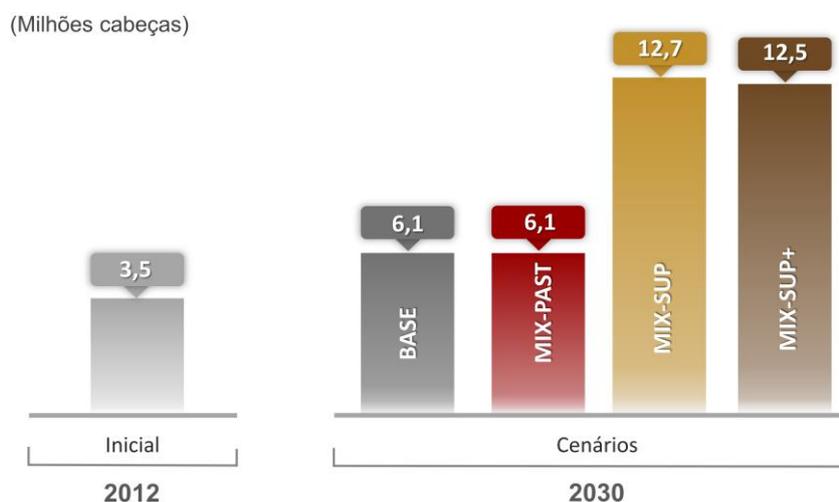
**Tabela 16.** Rebanho bovino (milhões de cab) nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil para o ano inicial e em 2030 nos cenários simulados.

Estados	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Mato Grosso	30	43	45	44	42
Mato Grosso do Sul	22	26	31	29	28
Goiás	23	24	28	26	25
São Paulo	11	13	14	14	14
Minas Gerais	24	27	30	30	29
Pará	18	26	25	24	24
Rondônia	12	14	13	13	13
Rio Grande do Sul	10	14	15	15	15
Paraná	8	10	11	12	11
Tocantins	8	12	11	11	10
Outros	41	50	49	49	48
<b>Brasil</b>	207	260	273	267	259



#### 4.2.2 Confinamento

O montante inicial de de animais terminados em confinamento (3,6 milhões de cabeças) é projetado aumentar gradativamente entre os cenários simulados com diferentes taxas a depender das respectivas premissas assumidas para intensificação da produção. No cenário **BASE**, assumimos uma taxa de crescimento tendencial segundo os dados históricos ( $\approx 4,0\%$  ao ano). Dessa forma, é esperado um crescimento de 72% no rebanho confinado até 2030, totalizando 6,1 milhões de cabeças. Esse mesmo crescimento é esperado para o cenário **MIX-PAST**. Já nos cenários **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, é projetado um crescimento mais substancial no montante de animais confinados (14% ao ano) haja vista as premissas de intensificação assumidas para estes cenários. Espera-se que em 2030 o rebanho confinado nestes cenários seja da ordem de 12,6 milhões de cabeças, o que seria equivalente a um crescimento de 250% em relação ao número inicial (**Figura 13**).



**Figura 13.** Tendência histórica e evolução do rebanho confinado nos cenários modelados.

Mato grosso, que já no início da simulação detinha o maior rebanho confinado do Brasil – em 2012 foi responsável por quase  $\frac{1}{4}$  do total de animais confinados no Brasil – deverá se consolidar-se também no futuro como o principal estado brasileiro em número de animais confinados. Projeta-se para esse estado um crescimento do rebanho confinado da ordem de 50% nos cenários **BASE** e **MIX-PAST** e 220% nos cenários **MIX-SUP** e **MIX-SUP+** (**Tabela 17**). Para os estados do Mato Grosso do sul e Goiás também espera-se um crescimento considerável no rebanho confinado haja vista a favorabilidade para intensificação da produção nos respectivos estados apontadas neste estudo.

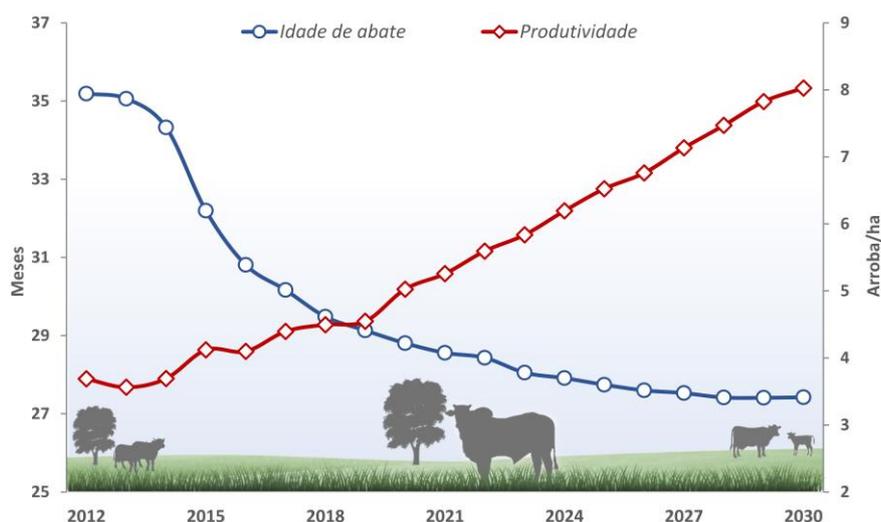


**Tabela 17.** Quantidade de animais confinados (milhões de cab) nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil para o ano inicial e em 2030 nos cenários modelados.

Estados	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Mato Grosso	0,93	1,42	1,42	2,94	2,96
Mato Grosso do Sul	0,55	0,76	0,76	1,46	1,46
Goiás	0,75	1,00	1,00	1,83	1,84
São Paulo	0,26	0,64	0,64	1,24	1,25
Minas Gerais	0,27	0,54	0,54	1,34	1,34
Pará	0,12	0,21	0,21	0,49	0,49
Rondônia	0,05	0,16	0,16	0,33	0,33
Rio Grande do Sul	0,09	0,37	0,37	1,11	1,07
Paraná	0,13	0,55	0,55	1,16	1,03
Tocantins	0,11	0,17	0,17	0,37	0,37
Outros	0,30	0,33	0,33	0,41	0,41
<b>Brasil</b>	<b>3,57</b>	<b>6,14</b>	<b>6,14</b>	<b>12,67</b>	<b>12,54</b>

#### 4.2.3 Produtividade dos sistemas

A melhoria na qualidade da dieta pela reforma das pastagens, pela suplementação concentrada (*Creep-feeding*) e pela terminação de animais em confinamento positivamente o ganho de peso individual do animal e conseqüentemente reduzir a idade média de abate. Essas medidas, quando combinadas com o aumento da lotação das pastagens pela reforma deverá aumentar gradativamente a produtividade dos sistemas pecuários (**Figura 14**).



**Figura 14.** Evolução temporal da idade média de abate dos animais (meses) e da produtividade (arroba/ha) nos cenários modelados. Média dos cenários.

Em média, nos cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, o aumento da produtividade nas áreas prováveis para intensificação ao longo do período simulado

deverá ser da ordem de 113%, aumentando de 3,7, em 2012, para 7,9 arrobas/ha, em 2030. Já sob o cenário **BASE**, projeta-se um aumento de apenas 50% no mesmo período. Já a produtividade por animal deverá ser tanto maior quanto maior a participação de grãos na dieta dos animais. Nesse sentido, dentre os cenários de intensificação, a maior produtividade por animal é esperada para o **MIX-SUP+** (Figura 15). Neste cenário, projeta-se para 2030 um aumento de 27% na quantidade de carne produzida por animal no rebanho (deverá aumentar de 3,0 para 3,8 arroba/cab) ao passo que no cenário **MIX-PAST** (maior foco na reforma de pasto), esse aumento deverá ser de apenas 17% (3,5 arroba/cab em 2030).

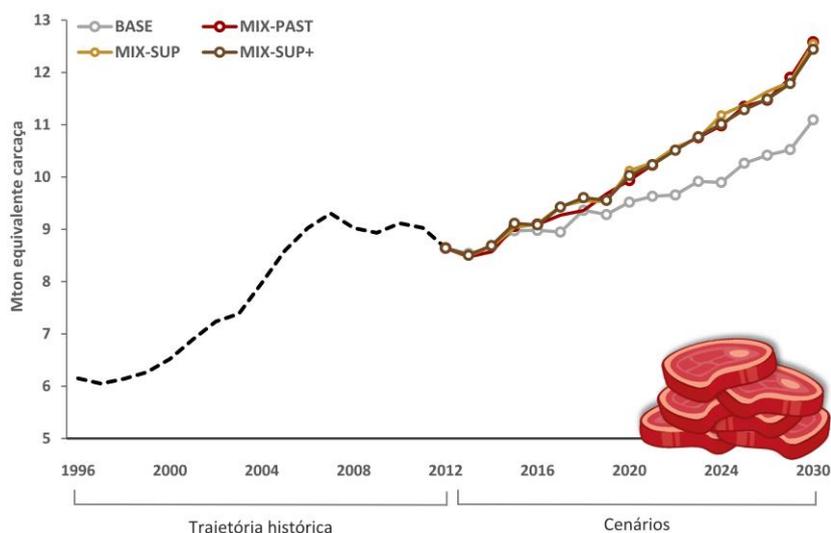


**Figura 15.** Evolução da produtividade (arroba/cab) nas áreas prováveis para intensificação nos cenários modelados.

#### 4.2.4 Produção de carne

Nos cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, para que a produção de carne alcance os níveis projetados será necessário um aumento gradativo de 2,5% ao ano no volume produzido (Figura 16). Como os referidos cenários partilham a mesma meta de produção e a produtividade dos animais aumenta na medida em que aumenta a participação de grãos na dieta, é de se esperar uma menor necessidade de crescimento do rebanho no cenário **MIX-SUP+** em relação aos demais (Figura 12). Sob um cenário linha de base (**BASE**), segundo nossas projeções, a produção de carne em 2030 deverá ser 12% menor que aquela projetada para atender as demandas internas e externas de carne.





**Figura 16.** Tendência histórica e evolução temporal da produção de carne nos cenários modelados.

Mato Grosso, dada sua favorabilidade para a intensificação da pecuária (**Figura 3**) – confirmada aqui pela participação no montante de animais confinados (**Tabela 17**) e pela área de pasto reformado (**Tabela 13**) – deverá apresentar o maior crescimento absoluto na produção de carne (0,91 Mton Eq. Carc). A sua participação no montante de carne produzida no Brasil deverá passar de 14 para 18% (Tabela 18).

Mato Grosso do Sul, segundo maior produtor de carne bovina no Brasil em 2012, deverá consolidar-se nesta posição para o futuro. Sua produção, inicialmente estimada em 0,99 Mton Eq. Carc, é projetada crescer gradativamente ao longo do período projetado até atingir 1,5 Mton Eq. Carc (média dos cenários de intensificação) em 2030.

**Tabela 18.** Produção de carne (Mton Eq. Carc) nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil para o ano inicial e em 2030 nos cenários simulados.

Estados	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Mato Grosso	1,2	1,8	2,2	2,1	2,1
Mato Grosso do Sul	1,0	1,1	1,5	1,5	1,4
Goiás	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3
São Paulo	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8
Minas Gerais	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3
Pará	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0
Rondônia	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Rio Grande do Sul	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8
Paraná	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7
Tocantins	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Outros	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
<b>Brasil</b>	<b>8,6</b>	<b>11,1</b>	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>	<b>12,4</b>



### 4.3 Resultados econômicos

A intensificação da produção, para que alcance os resultados projetados nos cenários simulados, demandará investimento de capital. Dentre as possibilidades de investimentos assumidos nesse trabalho (reforma de pasto e instalação para confinamento), a reforma do pasto é a mais cara e demandará maior desembolso de recurso. Isso implica que sob o cenário **MIX-PAST**, dada a maior área de pasto reformado (**Figura 8**), o montante a ser investido será maior que nos demais cenários. Nossas estimativas dão conta de que a intensificação da produção sob este cenário demandaria um investimento de R\$ 36 bilhões ao longo do período projetado (95% desse montante seria destinado à reforma das pastagens). No cenário **MIX-SUP** esses investimentos seriam da ordem de R\$ 35 bilhões, sendo R\$ 29 bilhões para a reforma das pastagens e o restante para o aumento da capacidade de confinamento. Já no cenário **MIX-SUP+**, a menor necessidade de reforma de pasto implicará em menor necessidade de investimento entre os cenários simulados. Estima-se para esse cenário um montante de R\$ 32 bilhões, 11 e 9 % a menos que nos cenários **MIX-PAST** e **MIX-SUP**. O menor investimento entre os cenários simulados deverá se dar no cenário **BASE** (R\$ 20 bilhões) (**Tabela 19**).

**Tabela 19.** Resultados econômicos dos sistemas de produção para o ano inicial e para o futuro nos cenários modelados.

Resultados econômicos*	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
Investimento acumulado (R\$ bilhões)	0	19,8	35,9	35,3	32,4
Custo operacional (R\$.ha <sup>-1</sup> )	278	466	737	713	692
Custo operacional (R\$.arroba <sup>-1</sup> )	75,4	83,9	91,1	88,5	87,3
Lucro operacional (R\$.ha <sup>-1</sup> )	214	275	343	364	368
Lucro operacional (R\$.arroba <sup>-1</sup> )	58,0	49,7	42,3	42,5	46,4
Valor anual equivalente (R\$.ha <sup>-1</sup> )		260	227	248	252

\* Valores referentes às áreas prováveis para intensificação.

O custo da reforma do pasto varia regionalmente em função dos preços de insumos (**Figura A2**) e do *gap* de produtividade (reformular 1 hectare de pasto será tanto mais caro quanto maior o *gap* de produtividade). Em média, o custo para reforma das pastagens nas áreas prováveis para intensificação gira em torno de de 1320 R\$/ha. Como era de se esperar, Mato Grosso do Sul, em vista do maior *gap* de produtividade de suas pastagens (**Figura 11**), é o estado onde é mais caro reformar 1 hectare de pasto (R\$ 1858). No outro extremo está o Rio Grande do Sul com o custo mais baixo de reforma, estimado em 739 R\$/ha.

De forma geral a intensificação da produção elevará os custos operacionais do sistema. Os gastos com a manutenção das pastagens reformadas e com a suplementação alimentar dos animais (a pasto e em confinamento) deverão crescer mais efetivamente que as demais despesas (mão-de-obra, sanidade, manutenção das instalações etc). Isso implica que quanto menos animais no rebanho e menos pasto reformado, menor deverão ser os custos operacionais. Nesse sentido, o custo operacional estimado em 209 R\$/ha nas áreas prováveis para intensificação, deverá

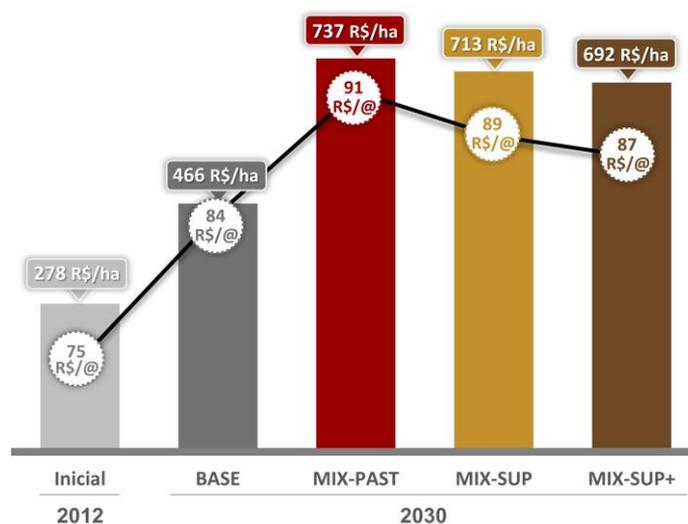


aumentar para 737, 713 e 692 R\$/ha sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente.

**Tabela 20.** Custo médio da reforma das pastagens (R\$/ha) nos principais estados produtores de carne bovina no Brasil.

Estados	Custo médio da reforma (R\$/ha)
Mato Grosso	1 305
Mato Grosso do Sul	1 858
Goiás	1 182
São Paulo	1 338
Minas Gerais	1 113
Pará	1 623
Rondônia	1 660
Rio Grande do Sul	739
Paraná	959
Tocantins	1 419
<b>Brasil</b>	<b>1 320</b>

Quando essas despesas são analisadas por animal, espera-se que sejam maiores na medida em que se aumenta a participação de grãos na dieta dos animais. Estas deverão aumentar de 259 R\$/cab no ano inicial para 318, 321 e 333 R\$/cab sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente (Tabela 19). A maior produtividade no cenário **MIX-SUP+**, porém, contribui para que o custo da arroba produzida neste cenário (87 R\$/arroba) seja menor que nos cenários **MIX-PAST** (91 R\$/arroba) e **MIX-SUP** (89 R\$/arroba) (Figura 17).

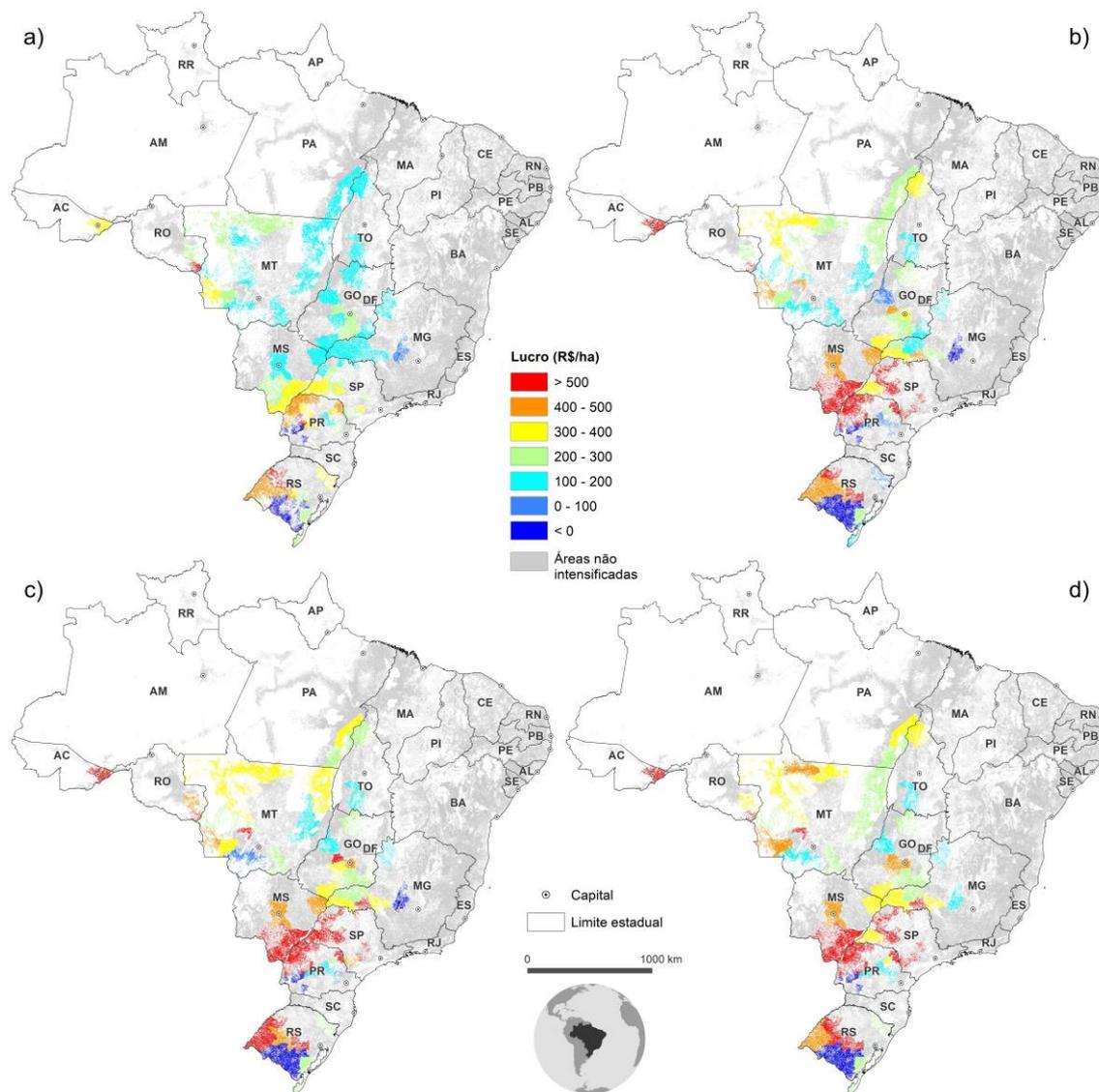


**Figura 17.** Custos operacionais por área e por unidade de carne produzida para o ano inicial e para o futuro nos cenários de intensificação. Valores médios para as áreas prováveis para intensificação.

O reflexo dessa maior eficiência econômica deverá ser notado pelo aumento da margem de lucro por unidade produzida. Inicialmente estimada em 33 R\$/arroba, deverá aumentar para 42, 45 e 46 R\$/arroba sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente. Esse crescimento na margem de lucro por unidade produzida



aliado ao aumento projetado na quantidade de carne produzida por unidade de área deverão resultar no aumento generalizado da lucratividade por hectare nos cenários de intensificação (**Figura 18**). A margem de lucro por hectare média nas áreas prováveis para intensificação (76 R\$/ha) deverá apresentar um crescimento médio nos cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+** da ordem 200% (**Tabela 19**).



**Figura 18.** Lucro operacional dos sistemas nas áreas prováveis para intensificação para o ano inicial (a) e para 2030 nos cenários de intensificação MIX-PAST (b), MIX-SUP (c) e MIX-SUP+ (d).

A viabilidade econômica da intensificação da produção também é corroborada pela análise do valor anual equivalente (VAE) que consiste em determinar uma série anual uniforme equivalente de um fluxo de caixa do investimento, considerando uma dada taxa mínima de atratividade (8,5%). Nas áreas prováveis para a intensificação, onde de fato ocorreram os investimentos em reforma de pasto e aumento da capacidade de instalação de confinamentos, o VAE médio foi de 227, 248 e 252 R\$/ha sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente.



#### 4.4 Dinâmica das emissões de GEE

A principal fonte de emissões de GEE na pecuária de corte é o metano oriundo da fermentação entérica. Segundo nossas estimativas, em 2012, 89% das emissões diretas da pecuária de corte (443 Mton CO<sub>2</sub>e) foram oriundas da fermentação entérica (**Figura 19**). Ao longo do período projetado, essas emissões são esperadas aumentar na medida em que cresce o rebanho. Sob o cenário **BASE**, projeta-se um crescimento anual de 1,0% nas emissões entéricas do rebanho, chegando ao final da simulação a 523 Mton de CO<sub>2</sub>e (86% das emissões diretas de GEE na pecuária). Entre os cenários que partilham a mesma meta de produção de carne, estas emissões deverão ser maiores no cenário **MIX-PAST** (523 Mton CO<sub>2</sub>e) seguidas pelo cenário **MIX-SUP** (512 Mton CO<sub>2</sub>e). No cenário **MIX-SUP+** a mesma produção de carne deverá ser alcançada com 19 e 7 Mton CO<sub>2</sub>e a menos de emissões entéricas que nos cenários **MIX-PAST** e **MIX-SUP**, respectivamente (**Tabela 21**).

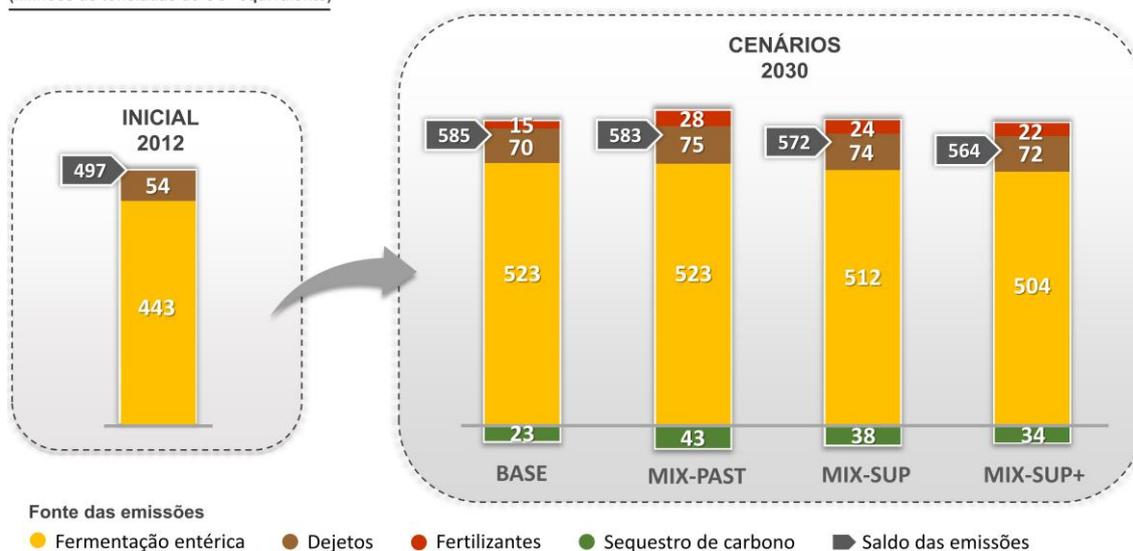
**Tabela 21.** Resultados de emissões de GEE para os sistemas de produção no ano inicial e para 2030 nos cenários modelados.

Resultados de emissões de GEE*	Inicial	2030			
		BASE	MIX-PAST	MIX-SUP	MIX-SUP+
CH <sub>4</sub> entérico	443	523	523	512	504
CH <sub>4</sub> dejetos	10,3	12,1	11,6	12,1	11,8
N <sub>2</sub> O dejetos	43,4	57,7	55,4	63,1	61,7
N <sub>2</sub> O & CO <sub>2</sub> fertilizantes e corretivos	-	15,1	27,7	24,4	22,2
Sequestro de CO <sub>2</sub>	-	22,9	42,6	37,7	34,4
Saldo de emissões	497	585	583	572	645
<b>Saldo (KgCO<sub>2</sub>e.cab<sup>-1</sup>)</b>	2 400 (2 410)	2 250 (2 048)	2 140 (1 864)	2 146 (1 863)	2 179 (1 918)
<b>Saldo (KgCO<sub>2</sub>e.kg carcaça<sup>-1</sup>)</b>	57,5 (53,8)	52,8 (42,5)	46,4 (35,5)	45,6 (34,0)	45,3 (33,3)

\*Valores fora de parênteses referem-se ao total para o Brasil e entre parênteses, às áreas prováveis para intensificação.

Como a intensidade de emissão deste gás em bovinos está diretamente relacionada à quantidade e qualidade do alimento consumido pelos animais, é esperado que a melhoria na dieta nos sistemas intensificados promova uma redução na emissão por unidade de matéria seca ingerida. Além disso, o aumento no ganho de peso dos animais em sistemas intensificados contribui para a redução na idade de abate e consequentemente no tempo em que o animal estará emitindo. Dessa forma, um animal que emite inicialmente 2146 kg CO<sub>2</sub>e, deverá emitir em 2030, 1680, 1672 e 1721 kg CO<sub>2</sub>e sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente (uma redução média de 21% em relação ao ano inicial). A emissão de metano por kg de carne produzida também deverá ser menor quanto maior a ingestão de grãos. No cenário **MIX-SUP+**, embora a emissão de CH<sub>4</sub> por cabeça seja em média 3% maior que a projetada para os demais cenários de intensificação (**MIX-PAST** e **MIX-SUP**), cada kg de carne produzido deverá emitir 1,07 kg de CH<sub>4</sub>, enquanto que nos cenários **MIX-PAST** e **MIX-SUP** essas emissões deverão ser da ordem de 1,14 e 1,09 kg de CH<sub>4</sub>, respectivamente (**Tabela 21**).



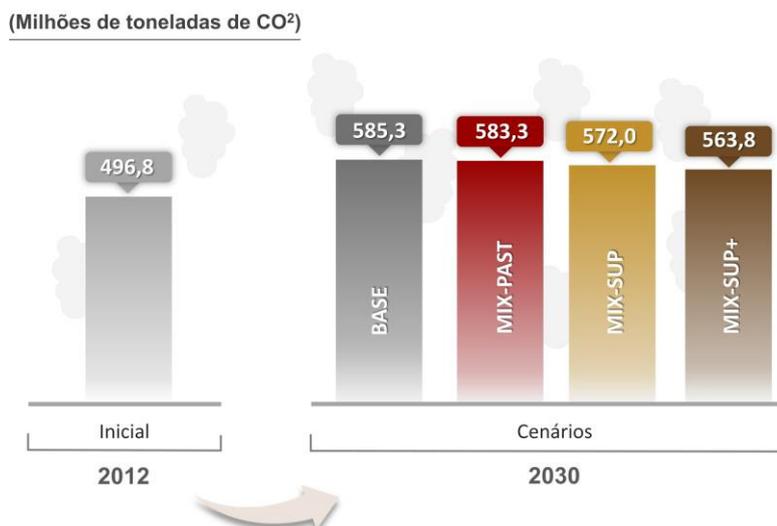
(Milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente)

**Figura 19.** Emissões de GEE por fonte no ano inicial e em 2030 nos cenários modelados.

Sistemas de produção intensificados reduzem a intensidade de emissão de CH<sub>4</sub> mas podem ser menos favoráveis quando se trata de outras fontes. O uso de fertilizantes nitrogenados no pasto reduz a intensidade de emissões entéricas de metano (pelo aumento da digestibilidade da forragem), mas aumenta substancialmente as emissões de N<sub>2</sub>O e serão proporcionais à área de pasto reformada. Para 2030, projeta-se emissões oriundas de fertilizantes da ordem de 28, 24 e 22 Mton CO<sub>2</sub>e sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente (em média 4% do total emitido) (Tabela 21).

Outro aspecto a ser considerado é que a melhoria na dieta do rebanho (pasto e suplementação concentrada) promove um aumento no teor de proteína na dieta (Tabela 5). Uma alimentação mais rica em proteína implica em maior excreção de N, que tem efeito direto nas emissões de N<sub>2</sub>O nos dejetos. O efeito disso deverá ser notado no aumento das emissões oriundas de dejetos que deverá passar de 214 kgCO<sub>2</sub>e/cab no ano inicial para 258, 260 e 262 kgCO<sub>2</sub>e/cab nos sistemas intensificados sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente – um aumento médio de 18% (Tabela 21).

Com a reforma das pastagens é projetado também um aumento considerável nos estoques de carbono do solo. A reforma de 28 Mha de pasto no cenário **MIX-PAST** deverá resultar no sequestro de 42,6 MtonCO<sub>2</sub>, 13% a mais que no cenário **MIX-SUP** (37,7 MtonCO<sub>2</sub>e) e 24% a mais que no cenário **MIX-SUP+** (34,4 MtonCO<sub>2</sub>e). Em termos marginais, para cada unidade de aumento nas emissões, apenas 33,0, 33,4 e 33,9% serão mitigados pelo sequestro de carbono nas pastagens sob os cenários **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente. A pior situação se daria sob o cenário **BASE** em que apenas 21% das emissões marginais do rebanho seriam mitigadas pelo sequestro de carbono nas pastagens. Dessa forma, independente do cenário modelado, o aumento da produção de carne deverá elevar as emissões líquidas de GEE (Figura 20), Este saldo, inicialmente estimado em 497 Mton CO<sub>2</sub>e, deverá ao final da simulação ser de 585, 583, 572 e 564 Mton CO<sub>2</sub>e sob os cenários **BASE**, **MIX-PAST**, **MIX-SUP** e **MIX-SUP+**, respectivamente.



**Figura 20.** Evolução temporal do saldo de emissões de GEE nos cenários modelados.

No geral, a intensificação deverá reduzir a intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>e tanto por unidade de carne produzida quanto por animal. Cada animal, que no ano inicial emitia 2410 kgCO<sub>2</sub>e deverá emitir, em média, 21% a menos nos cenários de intensificação e 15% a menos no cenário baseline em 2030. Entre os cenários de intensificação, a maior emissão por animal deverá se dar no cenário **MIX-SUP+** (1918 kgCO<sub>2</sub>e/cab), seguido pelos cenários **MIX-PAST** (1 864 kgCO<sub>2</sub>e/cab) e **MIX-SUP** (1863 kgCO<sub>2</sub>e). Já a intensidade de emissões por unidade produzida, porém, deverá ser menor sob o cenário **MIX-SUP+** (33,3 kgCO<sub>2</sub>e/kg carcaça), 2 e 6% menor que os cenários **MIX-SUP** e **MIX-PAST**, respectivamente. Já sob o cenário **BASE**, a redução da intensidade de emissões da carne produzida deverá ser a menor entre os cenários simulados. Espera-se que em 2030, cada kg de carne produzido sob o cenário **BASE** emitia 42,5 kgCO<sub>2</sub>e/kg carcaça, uma redução de apenas 21% em relação ao ano inicial (**Tabela 21**).

## 5. CONCLUSÕES

Aumentar a produção de carne levará a um aumento generalizado nas emissões de GEE no futuro. Mesmo se esse aumento da produção ocorrer sob cenários com maior foco na reforma das pastagens (**MIX-PAST**), o sequestro de carbono esperado não seria suficientemente grande para compensar as emissões marginais nem tampouco neutralizar as emissões totais, descartando assim a possibilidade de uma pecuária neutra em emissões de GEE.

Apenas um rebanho menor poderia reduzir o impacto do crescimento da pecuária de corte nas emissões de GEE. Mais do que aumentar a produtividade por área, seria interessante o aumento da produtividade por animal, o que reduziria a necessidade de crescimento do rebanho para produzir determinada quantidade de carne. Isso seria possível pela adoção de medidas complementares à reforma do pasto que potencializam o ganho de peso do animal, como a suplementação estratégica dos animais a pasto e o confinamento. Além de reduzir a intensidade de emissões da carne produzida, essas medidas podem levar a melhores resultados produtivos e econômicos para o setor.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUALPEC. 2016. 'Anuário da pecuária brasileira 2014', *São Paulo: MAXI Gráfica*.
- Barbosa, F. A., F. Bicalho, D. Graça, Geraldo Filho, Henrique Azevedo, Juliana Leão, and J. Júnior. 2016. 'Ganho compensatório no desempenho e eficiência econômica de novilhos Nelore submetidos a diferentes regimes alimentares [Compensatory gain in performance and economic efficiency of Nelore steers under different feeding regimes]', *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68: 182-90.
- Barbosa, F.A., B.S. Soares-Filho, F.D. Merry, H.O. Azevedo, W.L.S. Costa, M.T. Coe, E.L.S. Batista, T.G. Maciel, L.C. Sheepers, A.R. de Oliveira, and H.O. Rodrigues. 2015. "Cenários para a pecuária de corte amazônica. 2015. [http://csr.ufmg.br/pecuaria/wp-content/uploads/2015/03/relatorio\\_cenarios\\_para\\_pecuaria\\_corte\\_amazonica.pdf?2db211](http://csr.ufmg.br/pecuaria/wp-content/uploads/2015/03/relatorio_cenarios_para_pecuaria_corte_amazonica.pdf?2db211)." In.
- Barbosa, Fabiano A., Vando T. de Oliveira, Filipe L. Bicalho, Eduardo AS. Florence, Raphael A. Mandarino, and Henrique O. Azevedo. 2014. "Indicadores de sustentabilidade na pecuária bovina de corte - projeto pecuária integrada de baixo carbono." In *VI Simpósio nacional sobre produção e gerenciamento da pecuária de corte*, edited by Décio Souza Graça Fabiano Alvim Barbosa, Lívio Ribeiro Molina, Venício José de Andrade, Fabrício Teixeira da Rocha, Geraldo Helber Batista Maia Filho, Jiliana Mergh Leão, Patrícia Caires Molina, 225. Belo Horizonte - Minas Gerais.
- Bernoux, Martial, Maria Carvalho, Boris Volkoff, and C. C. Cerri. 2002. 'Brazil's Soil Carbon Stocks', *Soil Science Society of America Journal*, 66: 888-96.
- Bowman, Maria S., Britaldo S. Soares-Filho, Frank D. Merry, Daniel C. Nepstad, Hermann Rodrigues, and Oriana T. Almeida. 2012. 'Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: A spatial analysis of the rationale for beef production', *Land Use Policy*, 29: 558-68.
- Brasil. 2015. "Intended Nationally Determined Contribution (Brazil); <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>." In.
- Braz, Sérgio P, Segundo Urquiaga, Bruno JR Alves, Claudia P Jantalia, Ana PaulaP Guimarães, Camila A dos Santos, Sashia C dos Santos, Érika F Machado Pinheiro, and Robert M Boddey. 2013. 'Soil carbon stocks under productive and degraded pastures in the Brazilian Cerrado', *Soil Science Society of America Journal*, 77: 914-28.
- Bustamante, Mercedes M. C., Carlos A. Nobre, Roberto Smeraldi, Ana P. D. Aguiar, Luis G. Barioni, Laerte G. Ferreira, Karla Longo, Peter May, Alexandre S. Pinto, and Jean P. H. B. Ometto. 2012. 'Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil', *Climatic Change*, 115: 559-77.
- Camargo, A. P., Fábio Marin, Paulo Sentelhas, and A. G. Picini. 1999. 'Adjust of the Thornthwaite's method to estimate the potential evapotranspiration for arid and



- superhumid climates, based on daily temperature amplitude', *Rev. Bras. Agrometeorol*, 7: 251-57.
- Cardoso, Abmael S., Alexandre Berndt, April Leytem, Bruno J. R. Alves, Isabel das N. O. de Carvalho, Luis Henrique de Barros Soares, Segundo Urquiaga, and Robert M. Boddey. 2016. 'Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use', *Agricultural Systems*, 143: 86-96.
- Carvalho, F.A.N., F.A. Barbosa, and L.R. McDowell. 2003. 'Nutrição de bovinos a Pasto. 1.ed. Belo Horizonte: Papel Form Editora Ltda, 2003. 428p'.
- CONAB. 2018. 'Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso 13 ago 2018.'.
- Corrêa, E S, F P Costa, G A Melo Filho, and M A. Pereira. 2006. 'Sistemas de produção melhorados para gado de corte em Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte (Comunicado técnico, n. 102).'
- Cota, O L, D M de Figueiredo, R H Branco, E Magnani, C F do Nascimento, L F de Oliveira, and M E Z Mercadante. 2014 'Methane emission by Nellore cattle subjected to different nutritional plans. *Tropical animal health and production* 46, 1229-1234.'
- Dias-Filho, M B. 2014. 'Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA (36 pp).'
- Euclides, V P B, K Euclides Filho, and Z J Arruda. 1998. 'Desempenho de novilhos em pastagens de *Brachiaria decumbens* submetidos a diferentes regimes alimentares. *Revista Brasileira de Zootecnia* 27, 246-254.'
- Euclides, V P B, M C M Macedo, C VALLE, G S Difante, R A Barbosa, and E R Cacere. 2009 'Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44, 98-106.'
- Gil, Juliana, Matthias Siebold, and Thomas Berger. 2015. 'Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199: 394-406.
- Herrero, Mario, Benjamin Henderson, Petr Havlík, Philip K Thornton, Richard T Conant, Pete Smith, Stefan Wirsenius, Alexander N Hristov, Pierre Gerber, and Margaret Gill. 2016. 'Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector', *Nature Climate Change*.
- Hijmans, R J, S E Cameron, JL Parra, PG Jones, and A Jarvis. 2005 'Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965-1978.'
- IBGE. 2019. 'Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA'
- IPCC. 2003. 'Intergovernmental Panel on Climate Change. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, In: Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (Eds.), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.'



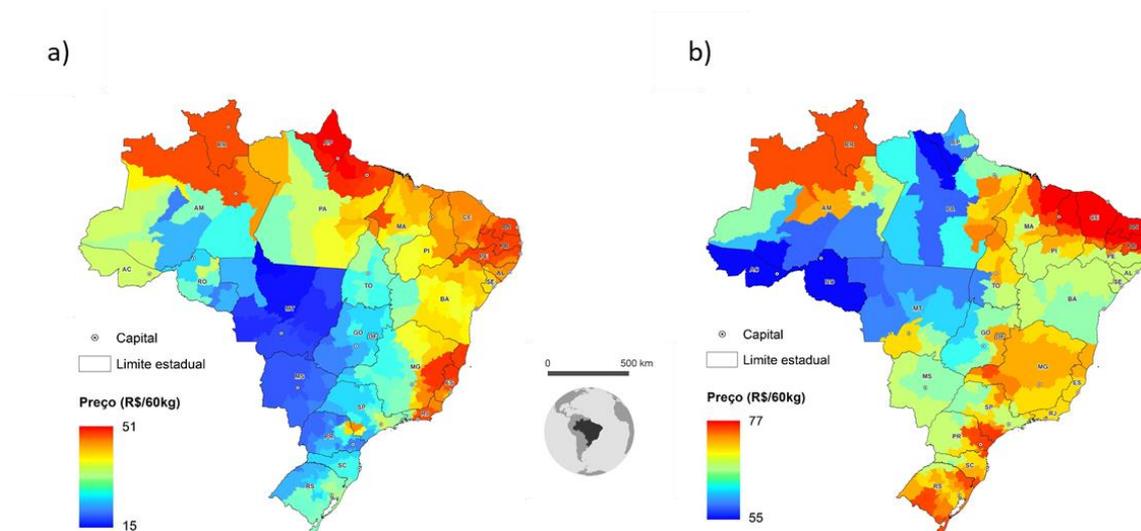
- — —. 2006. 'Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 4 (eds Eggleston, S. et al.) Ch. 10, 11 (Cambridge Univ. Press, 2006).'
- Lessa, Ana Carolina R, Beata E Madari, Debora S Paredes, Robert M Boddey, Segundo Urquiaga, Claudia P Jantalia, and Bruno JR Alves. 2014. 'Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190: 104-11.
- Maia, Stoécio M. F., Stephen M. Ogle, Carlos E. P. Cerri, and Carlos C. Cerri. 2009. 'Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil', *Geoderma*, 149: 84-91.
- MAPA. 2018. 'Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Projeções do agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 Projeções de longo prazo.'
- MCTI. 2014. 'Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e de Manejo de Dejetos. Relatórios de Referência: Agricultura. 3º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, DF.'
- Myhre, Gunnar, Drew Shindell, François-Marie Bréon, William Collins, Jan Fuglestedt, Jianping Huang, Dorothy Koch, Jean-François Lamarque, David Lee, and Blanca Mendoza. 2013. 'Anthropogenic and natural radiative forcing', *Climate change*, 423.
- Oliveira, C. A., and D. D. Millen. 2014. 'Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil', *Animal Feed Science and Technology*, 197: 64-75.
- Paulino, M F, B Zamperlini, D M Figueiredo, E H B K Moraes, M O Porto, M F L Sales, M L Paixão, and T S Acedo. 2005 'Bovinicultura de Corte de Ciclo Curto em Pastagens. In: Universidade Estadual de Montes Claros - DZO/Unimontes. (Org.). Anais da III Semana de Zootecnia (III Ciclo de Palestras) A Produção Animal no Norte de Minas Gerais. Salinas - MG: , 2005, v. , p. 105-142.'
- Pinto, E J A, A M S Azambuja, J A M Farias, J P B Salgueiro, and K Pickbrenner. 2011. 'Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000.'
- Plano ABC. 2012. "Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura." In.: Brasília.
- Rochedo, Pedro R. R., Britaldo Soares-Filho, Roberto Schaeffer, Eduardo Viola, Alexandre Szklo, André F. P. Lucena, Alexandre Koberle, Juliana Leroy Davis, Raoni Rajão, and Regis Rathmann. 2018. 'The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil', *Nature Climate Change*, 8: 695-98.
- SEEG. 2019. 'Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/sankey>. Acesso 1 maio 2019.'
- Soares-Filho, Britaldo, Raoni Rajão, Frank Merry, Hermann Rodrigues, Juliana Davis, Letícia Lima, Marcia Macedo, Michael Coe, Arnaldo Carneiro, and Leonardo



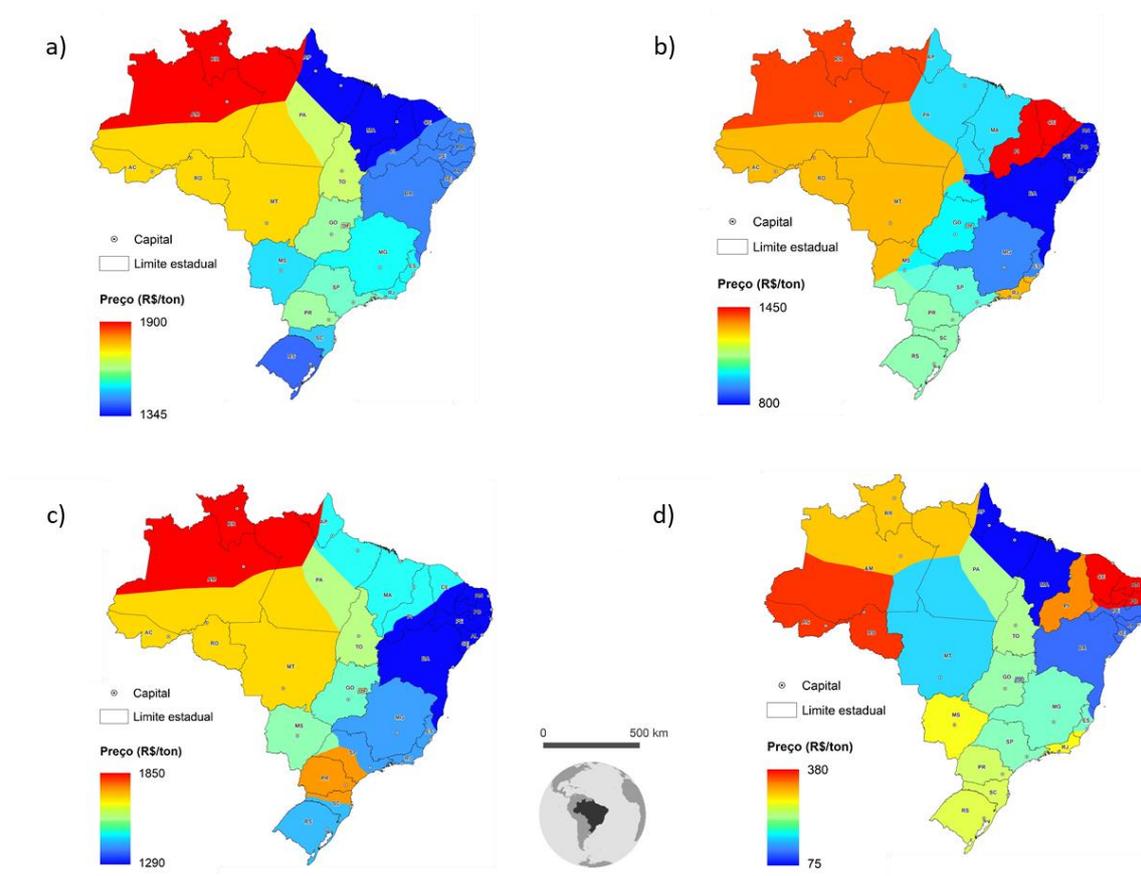
- Santiago. 2016. 'Brazil's Market for Trading Forest Certificates', *PLoS One*, 11: e0152311.
- Soares-Filho, Britaldo S., Letícia Lima, S., Letícia V. Hissa, William L. Costa, Hermann O. Rodrigues, and BM. Ferreira. 2013. 'Uma Plataforma Integrada de Modelagem de Uso e Mudanças no Uso da Terra para o Brasil. Final report. Belo Horizonte (MG): Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais; 2013 jun. Report No.: 978-85-61968-04-5. Sponsored by Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência do Brasil.'
- Strassburg, Bernardo B. N., Agnieszka E. Latawiec, Luis G. Barioni, Carlos A. Nobre, Vanderley P. da Silva, Judson F. Valentim, Murilo Vianna, and Eduardo D. Assad. 2014. 'When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil', *Global Environmental Change*, 28: 84-97.
- Thorntwaite, CW , and JR Mather. 1955 'The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p. Publications in Climatology, vol. VIII, n.1.'
- Tilman, David, Christian Balzer, Jason Hill, and Belinda L. Befort. 2011. 'Global food demand and the sustainable intensification of agriculture', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 20260-64.
- Tonato, Felipe, Luis Barioni, Carlos Pedreira, Ozanival Dantas, and Juaci Malaquias. 2010. 'Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais (Development of forage accumulation prediction models in tropical pastures)', *Pesquisa Agropecuária Brasileira - PAB*, 45.
- USDA. 2019. 'United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/topics/animal-products/cattle-beef/statistics-information>.'
- Wandelli, Elisa Vieira, and Philip Martin Fearnside. 2015. 'Secondary vegetation in central Amazonia: Land-use history effects on aboveground biomass', *Forest Ecology and Management*, 347: 140-48.



## ANEXO I - Figuras

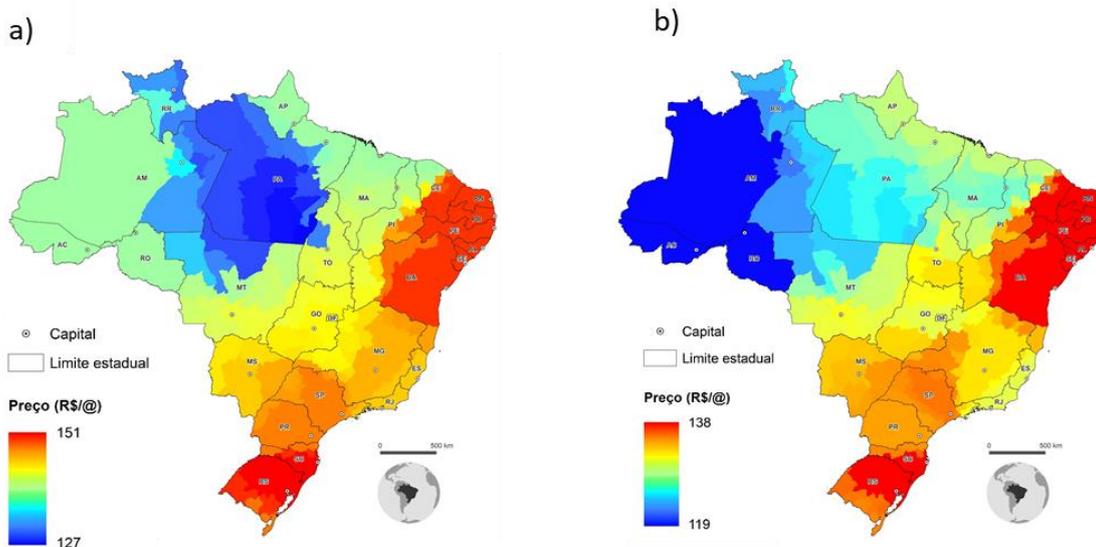


**Figura A 1.** Preços de soja (a) e milho (b) (R\$/saca 60kg) especializados para o Brasil.

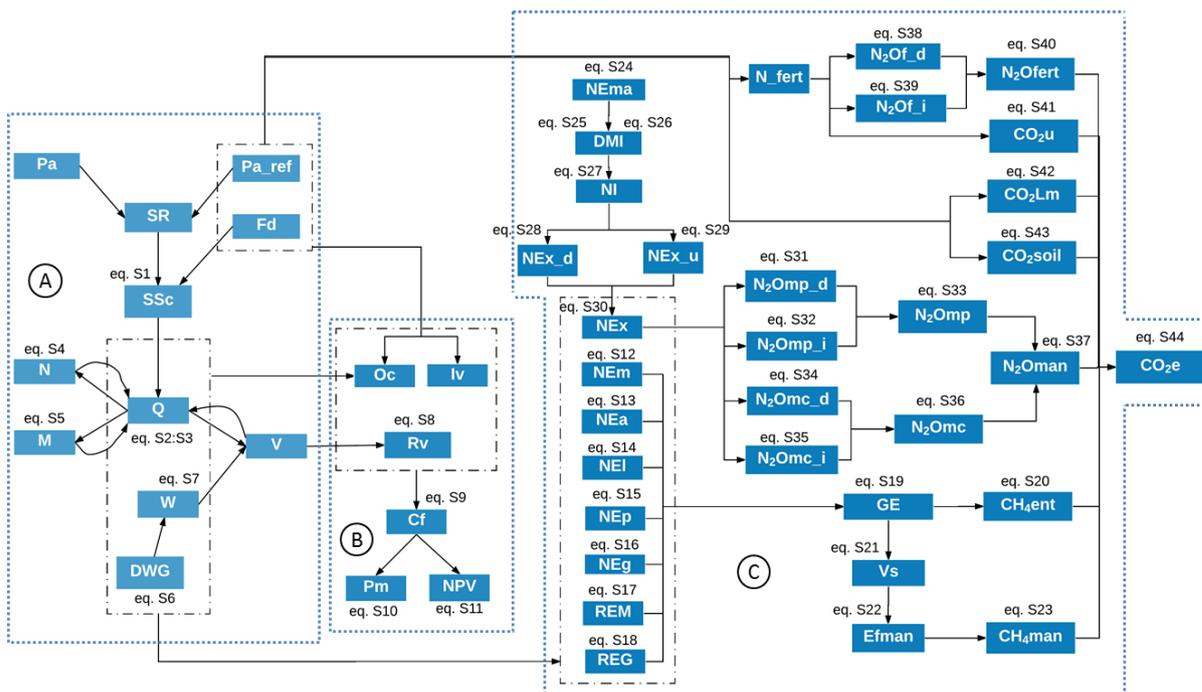


**Figura A 2.** Preços de uréia (a), superfosfato simples (b), cloreto de potássio (c) e calcário (d) (R\$/tonelada) especializados para o Brasil.





**Figura A 3.**Preços da carne (R\$/arroba) de vaca (a) e boi (b) espacializados para o Brasil (ANUALPEC 2016).



**Figura A 4.** Fluxograma de equações do SimPec. A – Módulo de rebanho, B – Módulo econômico e C – Módulo de emissões de GEE. Emissões de CO<sub>2</sub> da mudança de uso do solo e do sequestro de carbono nas pastagens recuperadas são calculadas fora do modelo.



**ANEXO II - Tabelas****Tabela A 1.** Custo de manutenção das pastagens.

Operações mecanizadas <sup>a</sup>	Quantidade (horas.ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo unitário (R\$.hora <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Calagem carregamento	0,07	123,49	8,23
Calagem distribuição	0,12	82,06	9,85
Fertilizante carregamento	0,07	123,49	8,23
Fertilizante distribuição	0,12	82,06	9,85
<b><i>Sub-total</i></b>			<b>36,16</b>
Operações manuais <sup>a</sup>	Quantidade (horas.ha <sup>-1</sup> )	Custo unitário (R\$.hora <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Calagem distribuição	0,12	9,08	1,10
Fertilizante distribuição	0,15	9,08	1,36
Transporte	0,06	9,08	1,25
<b><i>Subtotal</i></b>			<b>3,71</b>
Insumos <sup>b</sup>	Quantidade (kg.ha <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	Custo unitário (R\$.kg <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Calcário	400,00	0,16 (0,15)	62,56
Ureia	220,00	1,48 (0,28)	325,58
Supersimples	100,00	1,10 (0,33)	109,64
KCl	50,00	1,50 (0,28)	75,11
<b><i>Sub-total</i></b>			<b>572,89</b>
<b>Total (R\$.ha<sup>-1</sup>)</b>			<b>612,76</b>

<sup>a</sup> (ANUALPEC 2016); <sup>b</sup> Consulta a especialistas; <sup>c</sup> Média para o Brasil (CONAB 2018). Valores entre parênteses denotam a amplitude dos preços.

**Tabela A 2.** Preços (R\$/kg) de insumos para reforma e manutenção das pastagens (Conab, 2018).

Estado	Calcário	Uréia	SuperSimples	KCl
Rondônia	0,28	-	-	-
Roraima	0,25	1,90	1,40	1,85
Tocantins	0,11	1,52	-	1,47
Maranhão	0,07	1,35	0,91	1,46
Piauí	0,26	-	1,45	-
Ceará	0,38	-	-	-
Bahia	0,08	1,35	0,80	1,29
Minas Gerais	0,10	1,42	0,88	1,40
Rio de Janeiro	0,21	-	1,29	-
São Paulo	0,10	1,45	1,00	-
Paraná	0,12	1,45	1,05	1,60
Santa Catarina	0,13	1,39	-	-
Rio Grande do Sul	0,14	1,35	-	1,41
Mato Grosso do Sul	0,15	1,41	-	1,46
Mato Grosso	0,09	1,65	1,21	1,55
Goiás	0,10	1,45	0,98	1,46
Distrito Federal	0,09	1,56	-	1,58
<b>Média</b>	<b>0,16 (0,31)<sup>a</sup></b>	<b>1,48 (0,55)</b>	<b>1,10 (0,65)</b>	<b>1,50 (0,56)</b>



<sup>a</sup> Valores entre parênteses expressam a amplitude dos preços.

**Tabela A 3.** Custo de reforma das pastagens.

Operações mecanizadas <sup>a</sup>	Quantidade (horas.ha <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo unitário (R\$.hora <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Gradagem aradora	1,31	131,37	172,10
Gradagem intermediária	0,88	131,37	115,61
Gradagem niveladora	1,08	123,32	133,19
Calagem carregamento	0,07	123,49	8,23
Calagem formação	0,12	82,06	9,85
Fosfatagem carregamento	0,02	123,49	2,47
Fosfatagem formação	0,13	82,06	10,67
Semeadura a lanço	0,13	82,06	10,67
Compactação sementes	0,31	73,96	22,93
Cobertura carregamento	0,08	123,49	10,29
Adubação de cobertura	0,13	82,06	10,67
Transporte de insumos	0,06	75,16	10,33
<b><i>Sub-total</i></b>			<b>517,00</b>
Operações manuais <sup>a</sup>	Quantidade (horas.ha <sup>-1</sup> )	Custo unitário (R\$.hora <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Calagem formação	0,12	9,08	1,10
Fosfatagem formação	0,15	9,08	1,36
Semeadura	0,15	9,08	1,38
Transporte	0,06	9,08	1,25
Adubação de cobertura	0,15	9,08	1,36
<b><i>Subtotal</i></b>			<b>7,56</b>
Insumos <sup>b</sup>	Quantidade (kg.ha <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	Custo unitário (R\$.kg <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Sementes (VC 45%)	9,00	8,30	74,70
Calcário	2000,00	0,16 (0,31)	312,80
Ureia <sup>d</sup>	220,00	1,48 (0,55)	325,58
Supersimples <sup>d</sup>	150,00	1,10 (0,65)	164,46
KCl <sup>d</sup>	50,00	1,50 (0,56)	75,11
<b><i>Sub-total</i></b>			<b>952,65</b>
<b>Total (R\$.ha<sup>-1</sup>)</b>			<b>1477,21 <sup>f</sup></b>

<sup>a</sup> (ANUALPEC 2016); <sup>b</sup> Consulta a especialistas; <sup>c</sup> Média para o Brasil (CONAB 2018). Valores entre parênteses denotam a amplitude dos preços que variam espacialmente; <sup>d</sup> Custo por hectare para cada UA adicional. O custo total varia de acordo com o *gap* de produtividade do pasto (**Figura 11**).



**Tabela A 4.** Parâmetros para o cálculo das emissões de GEE.

Parâmetro	Valor
MK – produção de leite (kg.dia <sup>-1</sup> )	3,70 <sup>a</sup>
MF – Conteúdo de gordura no leite (%)	3,50 <sup>a</sup>
MP – Conteúdo de proteína no leite (%)	3,20 <sup>a</sup>
Nfert – Fertilizante nitrogenado (kg.ha <sup>-1</sup> )	Tabela A1 e A3
C_Im – Calcário adicionado no solo (kg ha <sup>-1</sup> )	Tabela A1 e A3
Bo – Capacidade máxima de produção de CH <sub>4</sub> <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> .kg de sólido volátil excretado <sup>-1</sup> )	0,10 <sup>b</sup>
MCF – Fator de conversão de metano do manejo de dejetos (%)	1,50 <sup>b</sup>
UE- Energia urinária (%GE)	0,04 <sup>b</sup>
ASH – Conteúdo de cinzas nos dejetos (% da matéria seca ingerida)	0,08 <sup>b</sup>
Fvol_o - N fertilizante (outras fontes) que volatilizam (kg N vol. kg N aplicado <sup>-1</sup> )	0,10 <sup>b</sup>
FPvol - N depositado nas pastagens que volatiliza (kg N vol. kg N excretado <sup>-1</sup> )	0,20 <sup>b</sup>
FFvol - N depositado no confinamento que volatiliza (kg N vol. kg N excretado <sup>-1</sup> )	0,30 <sup>b</sup>
FR_Ich – Fração do N adicionado ao solo que lixivia (kg N lixiviado. kg de N)	0,30 <sup>b</sup>
EF_Ich – Fator de emissão do N lixiviado (kg N <sub>2</sub> O_N .kg N lixiviado <sup>-1</sup> )	0,0075 <sup>b</sup>
EF_vol – Fator de emissão do N volatilizado (kg N <sub>2</sub> O_N kg N volatilizado <sup>-1</sup> )	0,01 <sup>b</sup>
EFDfert – Emissões diretas de fertilizantes (kg N <sub>2</sub> O_N. kg N aplicado <sup>-1</sup> )	0,10 <sup>b</sup>
EFd – Emissões diretas de fezes nas pastagens (kg N <sub>2</sub> O_N. kg N excretado <sup>-1</sup> )	0,014 (WS); 0 (DS) <sup>d</sup>
EFu – Fator de emissões diretas de urina depositada como urina nas pastagens (kg N <sub>2</sub> O_N. kg N excretado <sup>-1</sup> )	0,0193 (WS); 0,0001 (DS) <sup>d</sup>
EFm – Fator de emissão direta de N <sub>2</sub> O de manejo de dejetos (kg N <sub>2</sub> O-N. kg N <sup>-1</sup> )	0,02 <sup>b</sup>
EFCO <sub>2u</sub> – Emissão de carbono de uréia (kg C. kg uréia <sup>-1</sup> )	0,20 <sup>b</sup>
EF_Im – Emissões de carbono do calcário (kg C. kg calcário <sup>-1</sup> )	0,13 <sup>b</sup>
Fvol_u - N fertilizante (uréia) que volatiliza (kg N vol. kg N aplicado <sup>-1</sup> )	0,30 <sup>c</sup>

WS= estação chuvosa; DS = estação seca.

<sup>a</sup> Consulta a especialistas

<sup>b</sup> IPCC (2006)

<sup>c</sup> (MCTI 2014)

<sup>d</sup> Lessa et al. (2014)



### ANEXO III - Equações

As equações abaixo simulam o crescimento do rebanho, resultados econômicos e as emissões de GEE em sistemas de produção da pecuária de corte. A relação entre as equações está ilustrada na **Figura A 4**.

#### **Módulo I – Dinâmica de evolução do rebanho**

No Simpec a dinâmica do rebanho é simulada mensalmente ao longo do período simulado. É considerado todo o ciclo de vida do animal – desde o nascimento até a venda para o abate. O crescimento do rebanho se dá em uma condição de equilíbrio entre a lotação e a capacidade suporte das pastagens. Isso é feito no modelo pela alteração na quantidade de matrizes no rebanho. Como assumimos os sistemas fechados, ou seja, sem compra de animais, quando a capacidade suporte é maior que a lotação, o modelo separa novilhas do próprio rebanho para fins reprodutivos. A capacidade suporte das pastagens (**SCC**) é definida de acordo com a eq. S1.

$$SCC_{s,m,t} = [SR_{s,m,t} \times (Pa_{s,m,t} - Pa_{ref_{s,m,t}})] + [SR_{imp} \times Pa_{ref_{s,m,t}}] \quad (\text{eq. S1})$$

onde **SCC** é a capacidade suporte do sistema (UA – unidade animal); **SR** é a taxa de lotação suporte das pastagens extensivas (UA ha<sup>-1</sup>); **Pa** é a área de pasto total (ha); **Pa\_ref** é a área de pasto reformada (ha); **SR\_imp** é a taxa de lotação suporte das pastagens reformadas (UA ha<sup>-1</sup>). **SCC** é atualizada anualmente. Quando **SCC** é maior que a lotação das pastagens, o modelo separa novilhas para fins reprodutivos e quando é menor, descarta matrizes. O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião e **t** o tempo (meses).

A quantidade de animais no rebanho é atualizada a cada 12 meses de acordo com a eq. S2.

$$Q_{s,m,t} = \sum_c (Q_{c,s,m,t-1} + N_{s,m,t} - M_{s,m,t} - V_{c,s,m,t}) \quad (\text{eq. S2})$$

onde **Q** é a quantidade de animais no rebanho (cabeças); **N** é a quantidade de animais nascidos (cabeças); **M** é a quantidade de animais mortos e **V** é a quantidade de animais vendidos para o abate. O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** as categorias de animais (**c=1**: vacas, **c=2**: touros, **c=3**: bezerras, **c=4**: bezerras, **c=5**: garrotes em pasto extensivo, **c=6**: novilhas em pasto extensivo, **c=7**: garrotes em pasto melhorado, **c=8**: novilhas em pasto melhorado, **c=9**: garrotes em semiconfinamento e **c=10**: garrotes confinados)

A cada 12 meses o tamanho do rebanho pode eventualmente ser ajustado em função da SSc pela alteração na quantidade de matrizes.

$$Q_{c=1,s,m,t} = Q_{c=1,s,m,t} + \left[ \left( \frac{Cw}{100} \times SCC_{s,m,t} \times \frac{450}{Wu} - Q_{c=1,s,m,t} \right) \times \theta a_t \right] \quad (\text{eq. S3})$$



onde  $Q_{c=1}$  é a quantidade de vacas no rebanho (cabeças);  $Cw$  denota a porcentagem de matrizes no rebanho (isso é definido iterativamente dentro do modelo para que a lotação do sistema esteja em equilíbrio com a  $SCC$ );  $SCC$  é a capacidade suporte do sistema (UA) (eq. S1);  $Wu$  é o peso médio das matrizes (kg) (Tabela 2);  $\theta a$  é a constante de ajuste de matrizes no rebanho ( $\theta a = 1$  para o mês definido para o ajuste de matrizes e  $\theta a = 0$  para os demais meses). O subscrito  $s$  denota o cenário de manejo,  $m$  a microrregião e  $t$  o tempo (meses). Para aumentar a quantidade de matrizes no rebanho o modelo aloca novilhas aptas para a reprodução de acordo com uma idade pre-definida. A cada 12 meses é possível descartar as matrizes mais velhas de acordo com uma taxa de reposição pré-definida. Os animais descartados são computados como venda para abate. A quantidade de touros no rebanho é definida pela relação vaca/touro (Tabela 2).

A cada 12 meses, novos animais são inseridos no rebanho como se segue:

$$N_{s,m,t} = Q_{c=1,s,m,t} \times \frac{\tau n_s}{100} \times \theta b_t \quad (\text{eq. S4})$$

onde  $N$  é a quantidade de animais nascidos (cabeças);  $Q_{c=1}$  é a quantidade de matrizes no rebanho (cabeças);  $\tau n$  denota a taxa de natalidade (%) (Tabela 2) e  $\theta b$  é a constante de nascimento de animais ( $\theta b = 1$  para os meses pré-definidos para o nascimento e  $\theta b = 0$  para os demais meses). Nós assumimos o mês de Agosto para o nascimento dos animais, sendo 50% machos e 50% fêmeas. O subscrito  $s$  denota o cenário de manejo,  $m$  a microrregião;  $t$  o tempo (meses).

O modelo também contabiliza a mortalidade dos animais como se segue:

$$M_{s,m,t} = Q_{s,m,t-1} \times \frac{\tau m}{100} / 12 \quad (\text{eq. S5})$$

onde  $M$  é a quantidade de animais mortos (cabeças);  $Q$  denota a quantidade de animais no rebanho (cabeças) (eq. S2) e  $\tau m$  denota a taxa de mortalidade (%) (Tabela 2). O subscrito  $s$  denota o cenário de manejo,  $m$  a microrregião;  $t$  o tempo (meses).

O peso individual dos animais é atualizado mensalmente de acordo com a eq. S6.

$$W_{c,s,m,t} = W_{c,s,m,t-1} + 30 \times ADG_{c,s,t} \quad (\text{eq. S6})$$

onde  $W$  se refere ao peso dos animais (kg);  $ADG$  denota o ganho de peso diário ( $\text{kg} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ). O subscrito  $s$  denota o cenário de manejo,  $m$  a microrregião;  $t$  o tempo (meses) e  $c$  é a categoria animal. Para  $c = 1$  (matrizes) e  $c = 2$  (touros), quando  $W$  é igual ao peso do animal adulto (Tabela 2),  $ADG$  é 0. Para  $c = 3$  e  $c = 4$  (bezerros e bezerras) na fase de aleitamento,  $ADG$  é calculado de acordo com a eq. S7 e para as demais categorias,  $ADG$  é pré-definido na Tabela 2.

$$ADG_{c,s} = \left( \frac{Ww_{c,s} - Wb}{Aw \times 30} \right) \quad (\text{eq. S7})$$



onde **ADG** denota o ganho de peso diário ( $\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ); **Wb** e **Ww** denota o peso médio dos animais ao nascimento e ao desmame, respectivamente (kg); **Aw** refere-se à idade de desmame (meses) (**Tabela 2**). O subscrito **c** denota a categoria animal e **s** o cenário de manejo. Assumimos **Wb**= 30 kg e **Aw**= 7 meses.

## Módulo II – Dinâmica econômica dos sistemas

Para estimar o desempenho econômico dos sistemas simulados, o modelo computa os investimentos, despesas operacionais e as receitas resultantes. As receitas são calculadas como se segue:

$$Rv_{s,m,t} = \sum_c (V_{c,s,m,t} \times W_{c,s,m,t} \times CDP_c \times P_{c,m,t}) \quad (\text{eq. S8})$$

onde **Rv** refere-se à receita pela venda de animais (R\$); **V** é a quantidade de animais vendidos (cabeças); **W** é o peso dos animais (kg) (eq. S6); **CDP** é o rendimento de carcaça (kg de carcaça.kg peso vivo<sup>-1</sup>) (**Tabela 2**) e **P**, o preço da carne (R\$.arroba<sup>-1</sup>) (**Figura A 3**). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.

O fluxo de caixa dos sistemas é atualizado mensalmente de acordo com a eq. S9.

$$Cf_{s,m,t} = Rv_{s,t} - Oc_{s,m,t} - Iv_{s,t} \quad (\text{eq. S9})$$

onde **Cf** é o fluxo de caixa (R\$); **Rv** refere-se à receita pela venda de animais (R\$) (eq. S8); **Oc** são as despesas operacionais (R\$) e **Iv** é o custo de investimento (reforma de pasto e infraestrutura para o confinamento) (R\$). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião e **t** o tempo (meses).

A diferença entre as receitas e os custos operacionais definem a margem de lucro operacional, como se segue:

$$Pm_{s,m,t} = Rv_{s,m,t} - Oc_{s,m,t} \quad (\text{eq. S10})$$

onde **Pm** denota a margem de lucro operacional (R\$); **Rv** refere-se à receita pela venda de animais (R\$) (eq. S8) e **Oc** são as despesas operacionais (R\$). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião e **t** o tempo (meses).

Para definir a viabilidade econômica dos investimentos para intensificação, o modelo calcula o valor anual equivalente, de acordo com a eq. S11.

$$VAE_{s,m} = \frac{\left[ \sum_{t=1}^n \left( \frac{(Cf)_{s,m,t}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t} \right) * r \right]}{1 - (1 + r)^{-t}} \quad (\text{eq. S11})$$

onde **VAE** é o valor anual equivalente (R\$); **Cf** é o fluxo de caixa (R\$) (eq.S9); **r** é a taxa de retorno, que assumimos 8.5 % ao ano. O subscrito **s** denota o cenário de manejo,



$m$  a microrregião;  $t$  o tempo (meses) e  $n$  denota a extensão temporal da simulação (meses)

### Módulo III – Dinâmica das emissões e remoções de GEE

#### Emissões de CH<sub>4</sub> da fermentação entérica

As emissões de metano entérico são calculadas de acordo com o *tier 2* do IPCC (IPCC, 2006), como se segue:

$$NEm_{c,s,m,t} = Cfi \times W_{c,s,m,t}^{0.75} \times Q_{c,s,m,t} \quad (\text{eq. S12})$$

onde **NE $m$**  é a energia líquida para manutenção do animal (MJ dia<sup>-1</sup>); **CFi** é um coeficiente cujo valor é 0,386 para vacas lactantes e 0,322 para as outras categorias de animais; **W** denota o peso vivo do animal (kg) (eq. S6) e **Q** é a quantidade de animais no rebanho (cabeças) (eq. S2). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.

$$NEa_{c,s,m,t} = C_c \times W_{c,s,m,t} \times Q_{c,s,m,t} \quad (\text{eq. S13})$$

onde **NE $a$**  denota a energia líquida do animal para atividade (MJ dia<sup>-1</sup>). **C** corresponde ao coeficiente de alimentação do animal ( $C= 0,37$  para animais em pastagens extensivas,  $C= 0,17$  para animais em pastagens melhoradas e  $C= 0$  para animais em confinamento e semi-confinamento); **W** denota o peso vivo do animal (kg) (eq. S6) e **Q** é a quantidade de animais no rebanho (cabeças) (eq. S2). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.

$$NEl_{s,m,t} = MK \times (1.47 + 0.40 \times MF) \times Q_{c=1,s,m,t} \times \theta_l \quad (\text{eq. S14})$$

onde **NE $l$**  é a energia líquida para lactação (MJ dia<sup>-1</sup>); **MK** é a quantidade de leite produzida (kg.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) (**Tabela A4**) e **MF** denota o conteúdo de gordura no leite (%) (**Tabela A4**).  $Q_{c=1}$  é a quantidade de vacas no rebanho e  **$\theta_l$**  é a constante de lactação ( **$\theta_l= 1$**  para os meses que as vacas estão lactantes e  **$\theta_l= 0$**  para os demais). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.

$$NEp_{s,m,t} = Q_{c=1,s,m,t} \times 0,10 \times NEm_{c=1,s,m,t} \times \theta_p \quad (\text{eq. S15})$$

onde **Nep** é a energia líquida requerida para gestação (MJ dia<sup>-1</sup>).  $Q_{c=1}$  é a quantidade de vacas no rebanho; **NE $m$**  é a energia líquida para manutenção do animal (MJ dia<sup>-1</sup>) (eq. S12);  **$\theta_p$**  é a constante de gestação ( **$\theta_p= 1$**  para os meses que as vacas estão gestantes e  **$\theta_p= 0$**  para os demais). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.



$$NEg_{c,s,m,t} = 22,02 \times \left( \frac{W_{c,s,m,t}}{C \times W_u} \right)^{0.75} \times ADG_{c,s,t}^{1.097} \times Q_{c,s,m,t} \quad (\text{eq. S16})$$

onde **NEg** denota a energia líquida para o crescimento (MJ dia<sup>-1</sup>); **W** denota o peso vivo do animal (kg) (eq. S6); **Q** é a quantidade de animais no rebanho (cabeças) (eq. S2); **ADG** denota o ganho de peso diário (kg.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) (**Tabela 2**, eq. S7). O subscrito **s** denota o cenário de manejo, **m** a microrregião; **t** o tempo (meses) e **c** é a categoria animal.

$$REM_c = 0,298 + 0,00335 \times DE_c \quad (\text{eq. S17})$$

onde **REM** é a razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção do animal (adimensional); **DE** denota a digestibilidade da dieta expressa como percentual da energia bruta (GE) (%) (**Tabela 5**); **c** denota a categoria animal.

$$REG_c = -0,036 + 0,00535 \times DE_c \quad (\text{eq. S18})$$

onde **REG** é a razão de energia disponível na dieta para crescimento (adimensional); **DE** denota a digestibilidade da dieta expressa como percentual da energia bruta (GE) (%) (**Tabela 5**); **c** denota a categoria animal.

### Emissões de CH<sub>4</sub> de dejetos (IPCC, tier 2)

$$Vs_{c,s,m,t} = \left[ GE_{c,s,m,t} \times \left( 1 - \frac{DE_c}{100} \right) + (UE \times GE_{c,s,m,t}) \right] \times \left[ \frac{(1 - ASH)}{18,45} \right] \quad (\text{eq. S21})$$

onde **Vs** denota os sólidos solúveis voláteis excretados (kg matéria seca.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>); **GE** denota a energia bruta (MJ animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) (eq. S19); **DE** denota a digestibilidade da dieta expressa como percentual da energia bruta (GE) (%) (**Tabela 5**); **UE** é a energia bruta excretada na urina expressa como uma fração da GE (**Tabela A4**); **ASH** é o conteúdo de cinzas nos dejetos calculado como uma fração da matéria seca ingerida (**Tabela A4**).

$$Efman_{c,s,m,t} = Vs_{c,s,m,t} \times Bmax \times 0,67 \times \frac{MCF}{100} \times 30 \quad (\text{eq. S22})$$

onde **Efman** é o fator de emissão de metano nos dejetos (kg CH<sub>4</sub>.animal<sup>-1</sup>); **Vs** denota os sólidos solúveis voláteis excretados (kg matéria seca.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) (eq. S21); **Bmax** denota a capacidade máxima de produção de metano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> VS excretada) (**Tabela A4**). O fator 0,67 é usado para converter m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> para kg CH<sub>4</sub>; **MCF** é o fator de conversão de metano para o sistema de manejo (%) (**Tabela A4**).



$$CH_4man_{s,m,t} = \sum_c Efman_{c,s,m,t} \times Q_{c,s,m,t} \quad (\text{eq. S23})$$

onde **CH<sub>4</sub>man** denota as emissões de metano do manejo de dejetos (kg); **Efman** é o fator de emissão de metano nos dejetos (kg CH<sub>4</sub>.animal<sup>-1</sup>) (eq. S22); **Q** denota a quantidade de animais no rebanho (eq. S2).

### Emissões de N<sub>2</sub>O de dejetos (IPCC, tier 2)

$$NEma_c = REM_c \times 18,45 \times \frac{DE_c}{100} \quad (\text{eq. S24})$$

onde **NEma** é a energia líquida concentrada na dieta (Mj.kg<sup>-1</sup>). **REM** é a razão de energia líquida disponível na dieta para manutenção do animal (adimensional) (eq. S17); **DE** denota a digestibilidade da dieta(% GE) (**Tabela 5**); **c** denota a categoria animal.

Para os animais na fase de crescimento, **DMI** é calculado como se segue:

$$DMI_{c,s,m,t} = \left[ \frac{(0,2444 \times NEma_c - 0,0111 \times NEma_c^2 - 0,472)}{NEma_c} \right] \times W_{c,s,m,t}^{0,75} \quad (\text{eq. S25})$$

onde **DMI** é a ingestão de matéria seca (kg); **NEma** é a energia líquida concentrada na dieta (Mj.kg<sup>-1</sup>) (eq S.24); **W** refere-se ao peso vivo dos animais (kg) (eq. S6).

Para  $c=1$  (matrizes) e  $c=2$  (touro), **DMI** é calculado como se segue:

$$DMI_{c,s,m,t} = W_{c,s,m,t}^{0,75} \times \left[ \frac{(0,0119 \times NEma_c^2 + 0,1938)}{NEma_c} \right] \quad (\text{eq. S26})$$

onde **DMI** é a ingestão de matéria seca (kg); **NEma** é a energia líquida concentrada na dieta (Mj.kg<sup>-1</sup>) (eq S.24); **W** refere-se ao peso vivo dos animais (kg) (eq. S6).

$$NI_{c,s,m,t} = DMI_{c,s,m,t} \times \frac{CP_c}{100} \times \frac{1}{6,25} \times Q_{c,s,m,t} \times 30 \quad (\text{eq. S27})$$

onde **NI** denota a ingestão total de N (kg). **DMI** é a ingestão de matéria seca (kg) (eq. S25:S26); **CP** é o conteúdo de proteína na dieta dos animais (%)(**Tabela 5**); **Q** é a quantidade de animais no rebanho (eq. S2).

$$Nex_{c,s,m,t} = NI_{c,s,m,t} - \left( Q_{(c=1,s,m,t)} \times MK \times \frac{MP}{100} \right) - 0,025 \times ADG_{c,s,t} \quad (\text{eq. S28})$$

onde **Nex** é o total de N excretado nos dejetos (kg); **NI** denota a ingestão total de (kg) (eq. S27); **Q<sub>c=1</sub>** é a quantidade de matrizes no rebanho (eq. S3); **MK** é a quantidade



de leite produzida ( $\text{kg.animal}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ) (**Tabela A4**); **MP** é o conteúdo de proteína no leite (%) (**Tabela A4**); **ADG** denota ganho médio diário ( $\text{kg.animal}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ) (**Tabela 2**, eq. S7).

A razão de N excretado na urina e fezes são calculados pela eq. S29 de acordo com Scholefield et al. (1991).

$$\text{Nex}_d_{c,s,m,t} = \frac{\text{Nex}_{c,s,m,t}}{\left( (1+1,2725) \times \frac{\text{CP}_c}{6,25} \right) - 1,09} \quad (\text{eq. S29})$$

onde **Nex<sub>d</sub>** denota a excreção de N das fezes dos animais (kg); **Nex** é a excreção total de N dos dejetos (kg) (eq. S28); **CP** é o conteúdo de proteína na dieta (%) (**Tabela 3**). O fator 6,25 converte a quantidade de proteína para quantidade de N.

$$\text{Nex}_u_{c,s,m,t} = \text{Nex}_{c,s,m,t} - \text{Nex}_d_{c,s,m,t} \quad (\text{eq. S30})$$

onde **Nex<sub>u</sub>** é a excreção de N na urina dos animais (kg). **Nex** é o total de N excretado nos dejetos (kg) (eq. S28); **Nex<sub>d</sub>** refere-se ao N excretado nas fezes dos animais (kg) (eq. S29).

$$\text{N}_2\text{Omp}_d_{s,m,t} = \sum_c \left( \text{Nex}_d_{c,s,m,t} \times \text{EF}_d + \text{Nex}_u_{c,s,m,t} \times \text{EF}_u \times \frac{44}{28} \right) \quad (\text{eq. S31})$$

onde **N<sub>2</sub>Omp<sub>d</sub>** é a emissão direta de N<sub>2</sub>O dos dejetos nos animais a pasto (kg); **Nex<sub>d</sub>** refere-se ao N excretado nas fezes dos animais (kg) (eq. S29); **EF<sub>d</sub>** é o fator de emissão direta de N<sub>2</sub>O dos dejetos ( $\text{kg N}_2\text{O}_N.\text{kg N excretado}^{-1}$ ) (**Tabela A4**); **Nex<sub>u</sub>** é o N excretado na urina dos animais (kg) (eq. S30); **EF<sub>u</sub>** é o fator de emissões diretas de N<sub>2</sub>O da urina ( $\text{kg N}_2\text{O}_N.\text{kg N excretado}^{-1}$ ) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte N<sub>2</sub>O<sub>N</sub> para emissões de N<sub>2</sub>O.

$$\text{N}_2\text{Omp}_i_{s,m,t} = \sum_c \left[ \begin{aligned} & (\text{Nex}_{c,s,m,t} \times \text{FPvol} \times \text{EF}_{vol}) + \\ & (\text{Nex}_{c,s,m,t} \times \text{FR}_{lch} \times \text{EF}_{lch} \times 44/28) \end{aligned} \right] \quad (\text{eq. S32})$$

onde **N<sub>2</sub>Omp<sub>i</sub>** denota a emissão indireta de N<sub>2</sub>O dos dejetos dos animais no pasto (kg); **Nex** é o N total excretado dos dejetos (kg) (eq. S28); **FPvol** denota a fração do N excretado que volatiliza ( $\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}$ .  $\text{kg N Excretado}^{-1}$ ) (**Tabela A4**); **EF<sub>vol</sub>** é o fator de emissão de N<sub>2</sub>O do N volatilizado ( $\text{kg N}_2\text{O-N}$  ( $\text{kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N volatilizado}$ )<sup>-1</sup>) (**Tabela A4**); **FR<sub>lch</sub>** é a fração do N excretado que lixivia ( $\text{kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}$ .  $\text{kg N Excretado}^{-1}$ ); **EF<sub>lch</sub>** é o fator de emissão de N<sub>2</sub>O do N lixiviado e runoff,  $\text{kg N}_2\text{O-N}$  ( $\text{kg N lixiviado e runoff}$ )<sup>-1</sup>) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte N<sub>2</sub>O<sub>N</sub> para emissões de N<sub>2</sub>O.

$$\text{N}_2\text{Omp}_{s,m,t} = \text{N}_2\text{Omp}_d_{s,m,t} + \text{N}_2\text{Omp}_i_{s,m,t} \quad (\text{eq. S33})$$

onde **N<sub>2</sub>Omp** denota a emissão de N<sub>2</sub>O dos dejetos dos animais no pasto (kg); **N<sub>2</sub>Omp<sub>d</sub>** denota as emissões diretas de N<sub>2</sub>O de dejetos dos animais a pasto (kg) (eq



S.31);  **$N_2Omp_i$**  refere-se às emissões indiretas de  $N_2O$  de dejetos de animais no pasto (kg) (eq. S32).

$$N_2Omc_{d,s,m,t} = Nex_{c=10,s,m,t} \times Q_{c=10,s,m,t} \times EFm \times \frac{44}{28} \quad (\text{eq. S34})$$

onde  **$N_2Omc_d$**  denota as emissões diretas de  $N_2O$  do dejetos dos animais em confinamento (kg);  **$Nex_{c=10}$**  é a excreção total de N de dejetos de animais em confinamento (kg) (eq. S28);  **$Q_{c=10}$**  é a quantidade de animais terminados em confinamento (cabeças);  **$EFm$**  é o fator de emissões diretas de  $N_2O$  do manejo de dejetos (Kg  $N_2O-N$  kg  $N^{-1}$ ) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte  $N_2O-N$  para emissões de  $N_2O$ .

$$N_2Omc_{i,s,m,t} = \left[ \frac{Nex_{c=10,s,m,t} \times Q_{c=10,s,m,t} \times (FFvol \times EF_{vol} + FR_{lch} \times EF_{lch}) \times 44/28}{1} \right] \quad (\text{eq. S35})$$

onde  **$N_2Omc_i$**  denota as emissões indiretas de  $N_2O$  do dejetos dos animais em confinamento (kg);  **$Nex_{c=10}$**  refere-se ao total de N excretado nos dejetos dos animais confinados (eq. S28).  **$Q_{c=10}$**  é a quantidade de animais terminados em confinamento (cabeças);  **$FFvol$**  denota a fração de N dos dejetos que volatilizam como  $NH_3$  e  $NO_x$  (kg  $NH_3-N + NO_x-N$  kg N Excretado $^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EF_{vol}$**  é o fator de emissão de  $N_2O$  do N que volatiliza (kg  $N_2O-N$  (kg  $NH_3-N + NO_x-N$  volatilizado) $^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$FR_{lch}$**  denota a fração de N dos dejetos que lixivia (kg  $N_2O-N$  kg N excretado $^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EF_{lch}$**  é o fator de emissão de  $N_2O$  do N que lixivia (kg  $N_2O-N$  (kg N lixiviado/runoff) $^{-1}$ ) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte  $N_2O-N$  para emissões de  $N_2O$ .

$$N_2Omc_{s,m,t} = N_2Omc_{d,s,m,t} + N_2Omc_{i,s,m,t} \quad (\text{eq. S36})$$

onde  **$N_2Omc$**  denota as emissões totais de  $N_2O$  do dejetos dos animais em confinamento (kg);  **$N_2Omc_d$**  denota as emissões diretas de  $N_2O$  do dejetos dos animais em confinamento (kg) (eq. S34);  **$N_2Omc_i$**  denota as emissões indiretas de  $N_2O$  do dejetos dos animais em confinamento (kg) (eq. S35).

$$N_2Oman_{s,m,t} = N_2Omp_{s,m,t} + N_2Omc_{s,m,t} \quad (\text{eq. S37})$$

onde  **$N_2Oman$**  são as emissões totais de  $N_2O$  de dejetos de animais no rebanho (kg);  **$N_2Omp$**  são as emissões de  $N_2O$  de dejetos de animais no pasto (kg) (eq. S33) e  **$N_2Omc$**  são as emissões de  $N_2O$  de dejetos de animais no confinamento (kg) (eq. S36).

### Emissões de $N_2O$ de fertilizantes

As emissões de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos são calculadas como proposto pelo IPCC, tier 2 (IPCC, 2006). No Brasil a uréia é a principal fonte de fertilizante nitrogenado. Nós consideramos a adaptação proposta pelo MCTI (2014), em que o fator de emissões de  $N_2O$  do fertilizante nitrogenado aplicado como ureia é 0,30, enquanto que o fator de emissões de  $N_2O$  do fertilizante nitrogenado aplicado no solo como outras é 0.1 (IPCC, 2006). Aqui nós assumimos 100% do fertilizante nitrogenado é ureia.



$$N_2Of\_d_{s,m,t} = Pa\_ref_{s,m,t} \times Nfert_{s,m,t} \times EFDfert \times \frac{44}{28} \quad (\text{eq. S38})$$

onde  **$N_2Of\_d$**  é a emissão direta de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos aplicados no solo (kg);  **$Pa\_ref$**  é a área de pasto reformado (ha);  **$Nfert$**  é a quantidade de N aplicado no solo ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EFDfert$**  denota o fator de emissão direta de  $N_2O$  de N sintético aplicado no solo ( $kg \ N_2O\_N \ kg \ N^{-1}$ ) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte as emissões de  $N_2O\_N$  para  $N_2O$ .

$$N_2Of\_i_{s,m,t} = \left\{ Pa\_ref_{s,m,t} \times Nfert_{s,m,t} \times \left[ \frac{(Fvol\_u + Fvol\_o)}{2} \times EF_{vol} \right] + FR\_lch \times EF\_lch \right\} \times \frac{44}{28} \quad (\text{eq. S39})$$

onde  **$N_2Of\_i$**  é a emissão indireta de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos aplicados no solo (kg);  **$Pa\_ref$**  denota a área de pasto reformado (ha);  **$Nfert$**  é a quantidade de N sintético aplicado como fertilizante no solo ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) (**Tabela A1 A3**);  **$Fvol\_u$**  denota a fração de N sintético aplicado no solo como uréia que volatiliza ( $kg \ NH_3-N + NO_x-N \ kg \ N \ aplicado^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$Fvol\_o$**  denota a fração de N sintético de outras fontes aplicado no solo que volatiliza ( $kg \ NH_3-N + NO_x-N \ kg \ N \ aplicado^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EF\_vol$**  é o fator de emissão de  $N_2O$  do N volatilizado ( $kg \ N_2O-N \ (kg \ NH_3-N + NO_x-N \ volatilizado)^{-1}$ ).  **$FR\_lch$**  denota a fração do N sintético aplicado no solo como fertilizante que lixivia ( $kg \ N_2O\_N \ kg \ N \ aplicado^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EF\_lch$**  denota o fator de emissão de  $N_2O$  do N que lixivia ( $kg \ N_2O-N \ (kg \ N \ lixiviado/runoff)^{-1}$ ) (**Tabela A4**). O fator 44/28 converte  $N_2O\_N$  para emissões de  $N_2O$ .

$$N_2Ofert_{s,m,t} = (N_2Of\_d_{s,m,t} + N_2Of\_i_{s,m,t}) \times \theta f_t \quad (\text{eq. S40})$$

onde  **$N_2Ofert$**  refere-se à emissão total de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos (kg);  **$N_2Of\_d$**  é a emissão direta de  $N_2O$  dos fertilizantes sintéticos aplicados no solo (kg) (eq S.38);  **$N_2Of\_i$**  é a emissão indireta de  $N_2O$  de fertilizantes sintéticos aplicados no solo (kg) (eq. S39);  **$\theta f$**  é a constante de adubação ( **$\theta f = 1$**  para os meses que o fertilizante é aplicado — isso acontece uma vez a cada 12 meses— e  **$\theta f = 0$**  para os demais meses).

### Emissões de $CO_2$ de fertilizantes

As emissões de  $CO_2$  de calcário e uréia aplicados no solo são calculadas como proposto pelo *tier 1* do IPCC (IPCC, 2006) como se segue:

$$CO_2u_{s,m,t} = Pa\_ref_{s,m,t} \times \frac{Nfert_{s,m,t}}{2} \times EFCO_2u \times \frac{44}{12} \quad (\text{eq. S41})$$

onde  **$CO_2u$**  denota as emissões de  $CO_2$  do N aplicado no solo como ureia (kg);  **$Pa\_ref$**  denota a área de pasto reformado (ha);  **$Nfert$**  é a quantidade de N sintético aplicado no solo como ureia ( $kg \cdot ha^{-1}$ ) (**Tabela A4**);  **$EFCO_2u$**  é o fator de emissão de  $CO_2$  da ureia



aplicada no solo (kgC.kg uréia<sup>-1</sup>) (**Tabela A4**). O fator 44/12 converte emissões de CO<sub>2</sub>\_C para CO<sub>2</sub>.

$$CO_2Lm_{s,m,t} = \left[ \frac{C_{Lm_{s,m,t}} \times (Pa_{ref_{s,m,t}} - Pa_{ref_{s,m,t-1}}) \times EF_{Lm}}{44/12 \times \theta_{ct}} \right] \quad (\text{eq. S42})$$

onde  $CO_2Lm$  refere-se à emissão de CO<sub>2</sub> de calcário aplicado no solo (kg);  $C_{Lm}$  é a quantidade de calcário aplicado no solo (kg ha<sup>-1</sup>) (**Tabela A1 e A3**);  $Pa_{ref}$  é a área de pasto reformada (ha);  $EF_{Lm}$  denota o fator de emissão do calcário (kg C.kg de calcário<sup>-1</sup>) (**Tabela A1 e A3**). O fator 44/12 converte emissões de CO<sub>2</sub>\_C para CO<sub>2</sub>.  $\theta_{ct}$  é a constant de calcário ( $\theta_{ct} = 1$  para o mês quando o calcário é aplicado— isso acontece uma vez a cada 12 meses— e  $\theta_{ct} = 0$  para os demais meses).

### Sequestro de CO<sub>2</sub>

Descrito na metodologia.

### Saldo de GEE

O cálculo do saldo de emissões de GEE levou em consideração as emissões de: metano entérico; metano dos dejetos; óxido nitroso dos dejetos; óxido nitroso do uso de fertilizantes; CO<sub>2</sub> da aplicação de calcário no solo; CO<sub>2</sub> da aplicação da uréia no solo; CO<sub>2</sub> da mudança de uso do solo e sequestro de carbono nas pastagens melhoradas. O potencial de aquecimento global para o metano e óxido nitroso adotado foi de 28 e 265 respectivamente (Myhre et al., 2013).



## **PARTE II**

**Análise da correlação entre a intensificação da agropecuária e o desmatamento ocorrido nos municípios do Mato Grosso no período de 2013 a 2017**



## 1. INTRODUÇÃO

Foi realizada a correlação entre a intensificação da agropecuária e o desmatamento nos municípios do Mato Grosso (MT). Destaca-se que dados de desmatamento não estão disponíveis para os anos de 2009 e 2011. Dessa forma, foi feita a imputação dos dados de desmatamento utilizando um modelo de regressão linear,  $y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t$ .

Para as propriedades selecionadas, foi utilizada a área de vegetação nativa (2008) e a área de desmatamento (2008 a 2017) para estimar a área de vegetação nativa no período de 2013 a 2017. A área de vegetação nativa, para cada ano, foi calculada subtraindo a área de vegetação do ano anterior pelo desmatamento também do ano anterior. Dessa forma, entende-se por área de floresta como a área remanescente no início do ano em análise, e área de desmatamento como a área total desmatada no ano em análise.

Destaca-se que os dados de vegetação nativa e os dados de desmatamento provêm de bases de dados distintas. Para avaliar possíveis discrepâncias entre as bases de dados foi feita a comparação entre a área de vegetação nativa e a área do desmatamento acumulado, considerando o período 2008 a 2017 (com os dados imputados). Foram identificadas 58 propriedades nas quais a área de desmatamento foi maior que a área de vegetação nativa, essas propriedades representam 1,65% do banco de dados. Neste caso, optou-se pela exclusão desses dados. Além dos dados anuais de desmatamento, foram considerados os valores médios anuais dos preços de milho, soja, bezerro e boi gordo no período de 1 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2017.

## 2. RESULTADOS

### 2.1. Ajustes de Modelos de Regressão Lineares

A seguir, são apresentados os resultados do ajuste do modelo de regressão linear múltipla, onde a variável resposta é a intensificação. Diferentes modelos de regressão foram ajustados considerando diferentes subconjuntos dos dados.

A Tabela 1 apresenta o resultado do ajuste de modelos de regressão utilizando a intensificação como variável resposta e as variáveis tamanho de floresta, desmatamento, número de multas aplicadas no município, preço médio anual do boi gordo e preço médio anual do milho. Em cinza estão indicadas as variáveis não significativas (estatisticamente não significativas, utilizando um nível de significância de 5%). O modelo que utiliza os dados de todas as propriedades apresenta as variáveis floresta, multas e preço do boi gordo significativas.

Em geral, quanto maior a área de floresta menor a intensificação; quanto maior o número de multas do município menor a intensificação e quanto maior o preço do boi gordo maior a intensificação. Nas propriedades de até 4 módulos fiscais (MF), o mesmo comportamento se observa com relação ao ajuste do modelo linear. Nas propriedades de 5 a 14 MF, somente as variáveis floresta e preço do boi gordo se mostraram significativas. O resultado indica que, quanto maior a área de floresta, menor a



intensificação e quanto maior o preço do boi gordo, maior a intensificação. Finalmente, para as propriedades com área igual ou maior que 15 MF, além da variável área de floresta, o número anual de multas no município se mostrou estatisticamente significativo. O modelo indica que quanto maior o número multas menor a intensificação.

**Tabela 1.** Resultados referentes aos modelos de regressão linear utilizando a intensificação como variável resposta

Resultado do modelo de regressão linear onde a variável resposta é a intensificação								
Variáveis	Todos MF		Até 4 MF (<=4)		De 5 a 14 MF		Igual ou acima de 15 (>=15)	
	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor
Intercepto	18,9322	0,0000	17,4638	0,0000	22,9696	0,0000	21,5244	0,0000
Floresta	-0,0002	0,0000	-0,0160	0,0000	-0,0051	0,0002	-0,0003	0,0000
Desmatamento	-0,0044	0,6120	0,0600	0,4230	0,0026	0,9427	-0,0062	0,4729
Multas	-0,0382	0,0000	-0,0504	0,0000	0,0054	0,6466	-0,0208	0,0709
Preço do boi gordo	0,0560	0,0000	0,0735	0,0000	0,0351	0,1012	0,0280	0,1879
Preço do milho	-0,0112	0,6860	-0,0306	0,4100	-0,0023	0,9685	0,0280	0,6093
Tamanho da amostra	31.635		18.234		6.833		6.568	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,38		0,65		0,21		0,45	

Diferentes modelos foram ajustados a partir da estratificação do banco de dados para diferentes classes de tamanho (MF).

A tabela 2 a seguir apresenta análise similar à apresentada acima. Entretanto, considera somente os dados onde a classe prioritária da propriedade é o abate. Por esta razão, o tamanho amostral é menor quando comparado com o resultado anterior. Em geral, os resultados apresentados na Tabela 2 são similares aos resultados apresentados na Tabela 1, embora existam pequenas variações. Destaca-se que todos os modelos apresentados nas Tabelas 1 e 2 apresentam coeficientes de determinação ajustados (R<sup>2</sup>Ajustado) muito reduzidos, indicando que os modelos explicam uma pequena porção da variabilidade da variável resposta (intensificação).

**Tabela 2.** Resultados referentes aos modelos de regressão linear utilizando a intensificação como variável resposta e considerando somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate

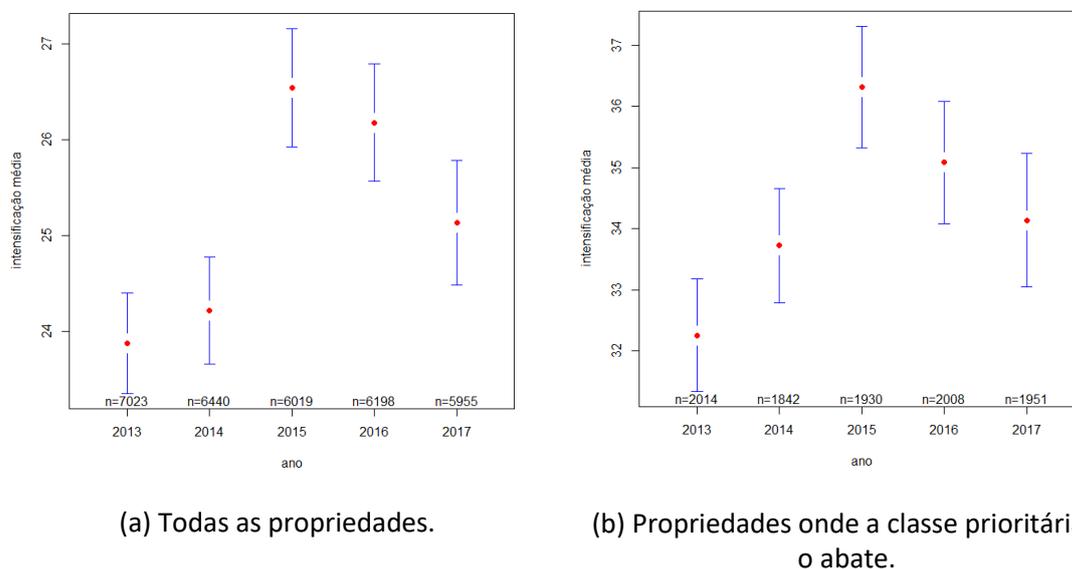
Resultado do modelo de regressão linear onde a variável resposta é a intensificação e considerando somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate								
Variáveis	Todos MF		Até 4 MF (<=4)		De 5 a 14 MF		Igual ou acima de 15 (>=15)	
	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor
Intercepto	25,9799	0,0000	25,7895	0,0000	28,8187	0,0000	25,1255	0,0000
Floresta	-0,0009	0,0000	-0,0152	0,0378	-0,0034	0,1360	-0,0004	0,0438
Desmatamento	0,0181	0,3517	0,0639	0,7050	-0,0031	0,9590	0,0263	0,2024
Multas	-0,0223	0,0153	-0,0251	0,0455	-0,0064	0,7530	-0,0330	0,0750
Preço do boi gordo	0,0871	0,0000	0,1048	0,0000	0,0421	0,2240	0,0887	0,0098
Preço do milho	-0,0779	0,0904	-0,1043	0,1002	0,0232	0,8060	-0,1250	0,1832
Tamanho da amostra	9.745		5.076		2.239		2.430	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,62		0,51		0,05		0,45	

Diferentes modelos foram ajustados a partir da estratificação do banco de dados para diferentes classes de tamanho (MF).

Finalmente, a Figura 1 apresenta o comportamento da média da intensificação para os diferentes anos com os seus respectivos intervalos de confiança (95%) considerando todas as propriedades (Figura 1 (a)) e somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate (Figura 1 (b)). Em ambos os casos, há evidência estatística que os



valores médios das intensificações são distintos (P-valor = 0.00000000000143 utilizando o método ANOVA para todas as propriedades e P-valor = 0.000000245 utilizando o método ANOVA para as propriedades onde a classe prioritária é o abate).



**Figura 1.** Gráfico de comparação das médias das intensificações para os diferentes anos.

## 2.2. Ajustes de Modelos de Regressão Logística

Foram ajustados modelos de regressão logística sendo a variável dependente a ocorrência ( $Y=1$ ) ou não ( $Y=0$ ) do desmatamento. Semelhante à análise com os modelos de regressão linear, foram utilizados modelos para os diferentes tamanhos de propriedade e considerando somente as propriedades com classe prioritária igual a **abate**.

Como medida da qualidade do ajuste dos modelos logísticos foi utilizada a estatística AUC (Area Under the Curve), que apresenta um comportamento semelhante ao coeficiente de determinação. O limite superior da AUC é a unidade (1). Um modelo logístico que se comporta segundo uma escolha aleatória apresenta uma AUC próxima de 0,50 (50%) .

A Tabela 3 apresenta os resultados dos modelos logísticos. Considerando todas as propriedades, sem distinção do tamanho, as variáveis área de floresta, intensificação e preço do boi gordo apresentaram significância estatística ao nível de significância de 5%. Em geral, quanto maior a área de floresta maior a chance de desmatamento, quanto maior a intensificação menor a chance de desmatamento e quanto maior o preço do boi gordo, menor a chance de desmatamento. Considerando as propriedades de até 4 MF, ocorreu uma inversão do sinal do coeficiente associado às multas, indicando que quanto maior o número de multas no município, maior a chance de desmatamento. Nas propriedades de 5 a 14 MF somente a variável floresta foi estatisticamente significativa. Para as propriedades com tamanho igual ou maior que 15 MF, além da variável área de floresta, as variáveis intensificação, multas e preço do boi gordo contribuem para a redução da ocorrência do desmatamento.



**Tabela 3.** Resultados referentes aos modelos de regressão logístico utilizando a presença (ou não) do desmatamento como variável resposta

Resultado do modelo de regressão logístico onde a variável resposta é a presença de desmatamento								
Variáveis	Todos MF		Até 4 MF (<=4)		De 5 a 14 MF		Igual ou acima de 15 (>=15)	
	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor
Intercepto	-2,6968	0,0000	-5,2948	0,0000	-2,8774	0,0000	-1,4534	0,0000
Floresta	0,0001	0,0000	0,0122	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000	0,0000
Desmatamento	-0,0029	0,0402	-0,0042	0,2295	-0,0019	0,4710	-0,0039	0,0610
Multas	-0,0022	0,1098	0,0061	0,0081	-0,0009	0,7310	-0,0070	0,0046
Preço do boi gordo	-0,0084	0,0005	-0,0063	0,3179	-0,0068	0,1360	-0,0100	0,0028
Preço do milho	0,0120	0,0855	0,0200	0,2340	0,0074	0,5730	0,0142	0,1447
Tamanho da amostra	31.635		18.234		6.833		6.568	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,63		0,82		0,61		0,59	

Diferentes modelos foram ajustados a partir da estratificação do banco de dados para diferentes classes de tamanho (MF).

Por fim, a tabela 4 abaixo apresenta os resultados dos modelos logísticos, considerando somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate. Diferente dos resultados apresentados na Tabela 3, para as propriedades com tamanho entre 5 a 14 MF as variáveis multas e preço do boi gordo apresentaram significância estatística. Para essas propriedades, quanto maior o número de multas, menor a chance de desmatamento e quanto maior o preço do boi gordo, maior a chance de desmatamento. Para os demais tamanhos de propriedades, somente a variável área de floresta se mostrou estatisticamente significativa indicando que quanto maior a área de floresta, maior a chance de desmatamento.

**Tabela 4.** Resultados referentes aos modelos de regressão logístico utilizando a presença (ou não) do desmatamento como variável resposta, considerando somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate

Resultado do modelo de regressão logístico onde a variável resposta é a presença de desmatamento e considerando somente as propriedades onde a classe prioritária é o abate								
Variáveis	Todos MF		Até 4 MF (<=4)		De 5 a 14 MF		Igual ou acima de 15 (>=15)	
	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor	Coefficiente	pvalor
Intercepto	-3,0119	0,0000	-7,3689	0,0000	25,1255	0,0000	-1,8711	0,0014
Floresta	0,0002	0,0000	0,0140	0,0000	-0,0004	0,0438	0,0001	0,0000
Desmatamento	-0,0028	0,3400	0,0026	0,7520	0,0263	0,2024	-0,0007	0,8472
Multas	-0,0050	0,1020	0,0021	0,7370	-0,0330	0,0750	-0,0068	0,1136
Preço do boi gordo	-0,0030	0,5170	0,0204	0,1930	0,0887	0,0098	-0,0084	0,1575
Preço do milho	-0,0066	0,6230	-0,0457	0,2460	-0,1250	0,1832	0,0077	0,6538
Tamanho da amostra	9.745		5.076		2.239		2.430	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,72		0,79		0,59		0,63	

Diferentes modelos foram ajustados a partir da estratificação do banco de dados para diferentes classes de tamanho (MF).

É importante destacar que em ambas as análises apresentadas, utilizando o modelo de regressão linear e utilizando o modelo de regressão logístico, foram mescladas diferentes bases de dados. Além disso, foram realizadas imputações para os dados das áreas de desmatamento para os anos de 2009 e 2011, e o cálculo da área de floresta remanescente no período 2009 a 2013. Soma-se a isso o fato de terem sido aplicados os dados médios anuais dos preços de soja, milho, bezerro e boi gordo. É evidente que há um impacto dessas operações no ajuste final dos modelos. Em geral, foram identificados modelos com um número reduzido de covariáveis. Entretanto, foram identificadas correlações estatisticamente significativas entre as variáveis resposta estudadas (intensificação e ocorrência de desmatamento) e as variáveis preditoras analisadas.



## Realização



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-61968-25-0

