

CIRCULAR TÉCNICA

287

Sete Lagoas, MG  
Outubro, 2023

# Eficiência da adubação em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) conforme níveis de investimento na fertilidade em solo de Cerrado da região Central Mineira

Álvaro Vilela de Resende  
Miguel Marques Gontijo Neto  
Sandro Manuel Carmelino Hurtado  
Samuel Campos Abreu  
Ramon Costa Alvarenga  
Márcia Cristina Teixeira da Silveira  
Eduardo de Paula Simão  
Jeferson Giehl



# Eficiência da adubação em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) conforme níveis de investimento na fertilidade em solo de Cerrado da região Central Mineira<sup>1</sup>

## Introdução

A adequação das condições químicas dos solos de Cerrado constitui o ponto de partida imprescindível ao estabelecimento de atividades agropecuárias que venham a ser técnica e economicamente viáveis. Contudo, dadas as fortes limitações da fertilidade natural desses solos, seu condicionamento inicial envolve investimentos financeiros elevados, com o uso de corretivos e fertilizantes, cuja amortização só ocorre em mais longo prazo (Gontijo Neto et al., 2020). Esse aspecto acaba constituindo fator de desestímulo, levando os produtores, especialmente pecuaristas, a trabalharem com baixo nível de tecnificação e, por consequência, não alcançando patamares de produtividade competitivos.

Nesse contexto, equilibrar os investimentos em fertilidade do solo com o potencial de resposta, de acordo com as características do sistema de produção implantado e a oferta ambiental da região, é um passo importante

---

<sup>1</sup> **Álvaro Vilela de Resende**, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Milho Sorgo, Sete Lagoas, MG, **Miguel Marques Gontijo Neto**, engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, **Sandro Manuel Carmelino Hurtado**, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, Professor da Universidade Federal de Uberlândia, MG, **Samuel Campos Abreu**, engenheiro-agrônomo, analista da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, **Ramon Costa Alvarenga**, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, **Márcia Cristina Teixeira da Silveira**, doutora em Zootecnia, Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS, **Eduardo de Paula Simão**, engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, Valoriza Agronegócios, Patos de Minas, MG, **Jeferson Giehl**, engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, KWS Sementes, Patos de Minas, MG.

quando se buscam saúde financeira, estabilidade produtiva e maior sustentabilidade da propriedade rural. Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) vêm sendo preconizados como alternativa funcional para a composição de diferentes fontes de renda e o uso mais eficiente dos recursos naturais e insumos aplicados nas fazendas. Normalmente, a introdução do componente lavoura na fase de implantação tem demonstrado ser a forma mais promissora para antecipar o retorno econômico e cobrir os custos dos investimentos necessários ao estabelecimento de sistemas de produção intensificados, verticalizando o uso da terra.

Todavia, aprimoramentos dessa estratégia de exploração já podem ser considerados indispensáveis, diante do custo cada vez mais alto da terra no Brasil. A calibração de modelos de investimento e produção agropecuária deve ser regionalizada e requer monitoramento e aferição de desempenho ao longo do tempo, para a obtenção de coeficientes técnicos e indicadores consistentes, que realmente validem a recomendação das tecnologias envolvidas, aumentando as chances de sucesso na adoção pelos produtores.

Esta publicação dá seguimento à série que relata uma experiência de intensificação do uso da terra por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) a partir de pastagem degradada no Cerrado da região central de Minas Gerais, aplicando-se tecnologias e manejos que contemplem preceitos de agricultura regenerativa e com potencial de promover a recarbonização do solo. O enfoque principal é no efeito de níveis de investimento em fertilidade do solo sobre o desempenho da produção de forragem e da pecuária de corte, bem como nos impactos na eficiência de uso de nutrientes e na melhoria do potencial agrícola da terra, em ambiente de Cerrado com forte restrição de disponibilidade hídrica ao longo do ano.

O trabalho, iniciado em 2017, visa a estabelecer e acompanhar a performance de um modelo de exploração agropecuária e florestal adaptado aos condicionantes edafoclimáticos e à conjuntura rural típica da região de transição Centro-Norte de Minas Gerais. O sistema ILPF foi estabelecido em quatro piquetes e teve como ponto de partida a comparação de quatro níveis de investimento em corretivos e fertilizantes na estratégia de construção inicial e de manutenção da fertilidade do solo, para aferições de desempenho e validação, considerando os reflexos nos indicadores técnicos, econômicos

e de sustentabilidade ambiental. As respostas de curto prazo são insuficientes para se alcançar tal propósito, uma vez que há uma evolução temporal desses indicadores. Assim, somente com o monitoramento de vários anos é possível obter resultados consistentes, conclusivos e acatados pela comunidade científica.

Dados levantados no período de 2017 a 2021, relacionados aos componentes forrageiro, animal e solo, foram processados de modo a refletir aspectos de eficiência das adubações, aproveitamento e ciclagem de nutrientes, num recorte de médio prazo de maturação do sistema ILPF. As informações apresentadas são relevantes na medida em que já comprovam tratar-se de uma estratégia factível em ambiente comercial, com impactos positivos em termos de conversão de nutrientes em biomassa de forragem e carne, efetividade de ciclagem e melhoria da fertilidade do solo, o que representa um enorme avanço em relação ao padrão de exploração agropecuária extensiva, que ainda predomina nessa região.

O condicionamento químico da fertilidade do solo no bioma Cerrado dá origem a ambientes de produção realmente aptos à exploração agropecuária, incrementando os níveis de produtividade vegetal e animal, permitindo intensificar a exploração da terra e o aproveitamento de fertilizantes e água, ao mesmo tempo em que confere resiliência ao estresse hídrico e promove maior captura de carbono atmosférico. Assim, o presente trabalho está relacionado ao alcance de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Dentre esses objetivos, há contribuição para o atendimento do ODS 2 – “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”, (Meta 2.4 – Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo); ODS 12 – “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”, (Meta 12.2 – Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais); ODS 13 – “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos”, (Meta 13.1 – Reforçar a resiliência e

a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países); e ODS 15 – “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”, (Meta 15.3 – Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo).

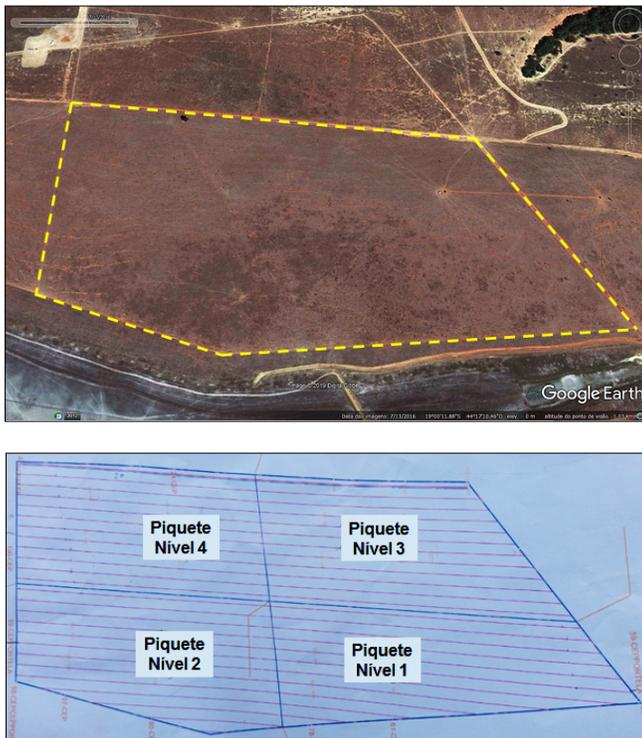
## **Base experimental e avaliações: case Fazenda Lagoa dos Currais**

Uma parceria firmada entre a Embrapa Milho e Sorgo e a Fazenda Lagoa dos Currais, com apoio da Associação Rede ILPF, permitiu estabelecer uma Unidade de Referência Tecnológica (URT) envolvendo a conversão de área de pastagem degradada em sistema ILPF, comparando-se quatro níveis de intensificação e investimento tecnológico. A Fazenda Lagoa dos Currais localiza-se na região Central de Minas Gerais, no município de Curvelo, onde predominam a bovinocultura e a produção de eucalipto. A vegetação natural é de Cerrado, com déficit hídrico acentuado pela escassez de chuvas em grande parte do ano, fator que limita inclusive o potencial produtivo de gramíneas forrageiras perenes, como a braquiária.

A implantação da URT teve início em setembro de 2017, numa área total de 44 hectares, dividida em quatro piquetes de 11 hectares (Figura 1) para renovação da pastagem com braquiária brizanta (*Urochloa brizantha* cv Marandu) e plantio de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* cv AEC 1144), com manejo variando de baixa a alta tecnologia em adubação, buscando correspondente melhoria do potencial de produção. Considerando-se a análise inicial do solo (Tabela 1), classificado como Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso, foram definidos quatro tratamentos com níveis crescentes de investimento na melhoria do solo e estabelecimento de sistemas mais intensivos (Tabelas 2 e 3).

O nível de investimento mínimo equivaliu ao padrão regional, no qual se aplicam somente calcário, gesso, fosfato e nitrogênio em baixas doses na

renovação de pastagens. Nos demais níveis, aumentaram-se as doses desses insumos, além de acrescentar potássio e micronutrientes, até alcançar condições que viabilizassem maior intensificação do sistema (Tabelas 2 e 3), com a introdução de sorgo (BRS 658 forrageiro) como componente agrícola no primeiro ano (safra 2017/2018). Para facilitar o reconhecimento/diferenciação dos tratamentos, eles serão assim designados ao longo desta publicação: Padrão Regional (ou Nível 1 – N1); Sistema Melhorado (ou Nível 2 – N2); Sistema Intensificado (ou Nível 3 – N3); e Produção Potencial (ou Nível 4 – N4). Os aspectos operacionais de construção da fertilidade química do perfil, nos respectivos tratamentos, encontram-se detalhados em Resende et al. (2020).



**Figura 1.** Acima: Imagem de satélite de 13/7/2016, com vista parcial da Fazenda Lagoa dos Currais, destacando a área com 44 hectares de pastagem degradada onde viria a ser implantada a Unidade de Referência Tecnológica (URT) em ILPF (polígono pontilhado amarelo). Abaixo: Croqui da URT com quatro níveis de investimento tecnológico em sistema ILPF e linhas vermelhas paralelas indicando a disposição dos renques de eucalipto. Fonte: Adaptado do Google Earth e de Gustavo de Salvo.

**Tabela 1.** Resultados e interpretação de análises da amostragem inicial do solo (setembro de 2017) na área da URT Lagoa dos Currais. Médias de 16 amostras.

Profundidade	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
cm	-	%	.. mg dm <sup>-3</sup> ..	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ..	..... mg dm <sup>-3</sup> ..	..... % .....										
0-20	5,3	3,2	1,3	63	0,7	0,2	0,6	6,7	2	0,2	1,1	58	9	1,6	16	36
20-40	5,2	2,3	0,7	24	0,4	<0,1	0,5	5,4	n.a.	n.a.	0,4	27	1	<0,1	9	53

**Interpretação:**

Muito baixo

Baixo

Médio

Adequado

Alto

Muito alto

Teor de argila = 68%. MOS = matéria orgânica do solo. n.a. = não analisado.

Interpretação de acordo com critérios para a profundidade de 0 cm–20 cm (Ca e m de 0 cm–20 cm e abaixo de 20 cm), propostos por Alvarez V. et al. (1999) e Sousa e Lobato (2004).

Análises: pH em água. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S por extração com Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Fe, Mn e Zn usando o extrator Mehlich 1.

**Tabela 2.** Quantidades de corretivos e fertilizantes aplicadas ao longo das etapas de estabelecimento e manutenção de sistema ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico, no período de setembro de 2017 a novembro de 2021 (50 meses), na URT Lagoa dos Currais.

Etapas	Corretivos, fertilizantes e operações	Níveis de investimento				Data
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
		Marandu/eucalipto	Marandu/eucalipto	Sorgo/Mar./euc.	Sorgo/Mar./euc.	
		Padrão Regional	Sistema Melhorado	Sistema Intensificado	Produção Potencial	
Construção de fertilidade	Calciário dolomítico PRNT 95% (t/ha)	1,1 (V=32%)	1,9 (V=43%)	2,6 (V=53%)	3,8 (V=70%)	Set./2017
	Gesso agrícola (t/ha)	1,1	1,1	1,1	2	Set./2017
	P a lanço (kg/ha de NPK 10-50-00 / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	81/40	170/85	170/85	170/85	Out./2017
	K a lanço (kg/ha de NPK 00-00-60 / K <sub>2</sub> O)	-	-	80/48	131/79	Out./2017
	Micronutrientes a lanço (kg/ha de FTE BR12)	-	-	-	51	Out./2017
Cultivo de sorgo	P sulco sorgo (kg/ha de NPK 10-50-00 / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-	-	112/56	138/69	Nov./2017
	N junto ao P lanço + sulco (kg/ha de N)	8	17	17+11	17+14	Nov./2017
	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	-	87/40	140/64	140/64	Dez./2017
Após corte silagem	P após silagem (kg/ha NPK 09-50-00 / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-	-	-	96/48	Abr./2018
	N junto ao P após silagem (kg/ha de N)	-	-	-	9	Abr./2018
	K após silagem (kg/ha NPK 00-00-60 / K <sub>2</sub> O)	-	-	-	50/30	Abr./2018
	N após silagem (kg/ha de ureia / N)	-	-	98/45	98/45	Abr./2018
Adubações de manutenção	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	95/43	95/43	-	-	Dez./2018
	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	-	-	113/51	113/51	Fev./2019
	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	-	-	-	113/51	Fev./2019
	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	-	100/45	100/45	100/45	Dez./2019
	NPK em cobertura (kg/ha de NPK 10-10-10)	-	-	95	164	Jan./2020
	N em cobertura (kg/ha de ureia / N)	-	-	-	100/45	Fev./2020
	N em cobertura (kg/ha ureia/N)	-	100/45	100/45	100/45	Dez./2020

**Tabela 3.** Quantidades totais de corretivos e nutrientes aplicadas conforme o nível de investimento tecnológico em sistema ILPF, no período de setembro de 2017 a novembro de 2021 (50 meses), na URT Lagoa dos Currais.

Corretivos e Nutrientes	Níveis de Investimento			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
	Marandu/eucalipto Padrão Regional	Marandu/eucalipto Sistema Melhorado	Sorgo/Mar./euc. Sistema Intensificado	Sorgo/Mar./euc. Produção Potencial
Calcário dolomítico PRNT 95% (t/ha)	1,1	1,9	2,6	3,8
Gesso agrícola (t/ha)	1,1	1,1	1,1	2
Nitrogênio (kg/ha de N)	51	190	287	402
Fósforo (kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	40	85	150	218
Potássio (kg/ha de K <sub>2</sub> O)	-	-	57	125
Micronutrientes (kg/ha de FTE BR12)	-	-	-	51

No mês de novembro de 2017, nos piquetes dos níveis N1 e N2, foi semeado o capim Marandu e, nos níveis N3 e N4, foi realizada a semeadura do consórcio entre o sorgo forrageiro e o Marandu. Os renques de eucalipto foram plantados em janeiro de 2018, com 20 m de distância entre linhas e 4 m entre plantas na linha, recebendo adubação específica, uniforme nos quatro piquetes. No mês de março de 2018, o pasto de braquiária formado nos piquetes N1 e N2 foi cortado para produção de feno, enquanto nos piquetes N3 e N4 o consórcio de sorgo com braquiária foi colhido para silagem (Figura 2).

Assim, no primeiro ciclo (2017/2018), as faixas entre os renques de eucalipto foram utilizadas para a formação do pasto. Os procedimentos utilizados e os resultados obtidos nesta etapa encontram-se apresentados em Borghi et al. (2020) e Gontijo Neto et al. (2020). A combinação braquiária-eucalipto, por se adequar ao perfil da propriedade e da região como opção para recuperação de pastagem degradada e aumento de receita por unidade de área, foi o sistema conduzido subsequentemente à etapa inicial de implantação da ILPF na URT, após a colheita de silagem ou feno.

O rendimento de massa seca (MS) de forragem no primeiro ciclo (2017/2018) foi estimado contabilizando-se as produções de feno de capim Marandu (N1 e N2) e de silagem de sorgo consorciado com Marandu (N3 e N4), colhidas na área útil das faixas entre os renques de eucalipto em março de 2018, somadas à quantidade de forragem disponível de braquiária nos respectivos piquetes em novembro de 2018, antes da primeira entrada de animais nas

áreas para pastejo. No caso da avaliação das produções de feno e de silagem, considerou-se que a área útil disponível para semeadura da lavoura e pasto foi reduzida em 10%. Ou seja, numa faixa de 20 m de largura entre renques, 2 m foram mantidos sem vegetação próximo às linhas de eucalipto (1 m de cada lado do renque), resultando em área útil de colheita de feno ou silagem correspondente a 0,9 ha para cada 1,0 ha implantado nesse sistema ILPF. As relações entre rendimento total de massa seca de forragem e as quantidades aplicadas de  $N+P_2O_5+K_2O$  no primeiro ciclo foram calculadas e tomadas como medida de eficiência produtiva (Martha Júnior et al., 2007), na resposta aos níveis de investimento em correção da acidez e adubação do sistema ILPF.

Os procedimentos de avaliação de forragem disponível de braquiária em novembro de 2018 foram repetidos em dezembro de 2019 e novembro de 2020. As amostragens foram realizadas estabelecendo-se uma grade (*grid*) amostral com tamanho de malha aproximado de 1,0 ha, cobrindo toda a área dos piquetes. As coletas de biomassa foram efetuadas ao longo de cinco pontos georreferenciados em caminhamento diagonal dentro de cada malha, cortando as plantas em 1 m<sup>2</sup> de área, a 10 cm de altura. No referido caminhamento, cuidou-se para que os pontos amostrais representassem locais com maior e menor influência das linhas de eucalipto, com coletas próximas às bordas e também mais ao centro das faixas entre renques. Com esses procedimentos, para cada piquete, foram obtidos doze registros de massa seca de forragem disponível, sendo que cada registro representou a média de cinco pontos avaliados por hectare.

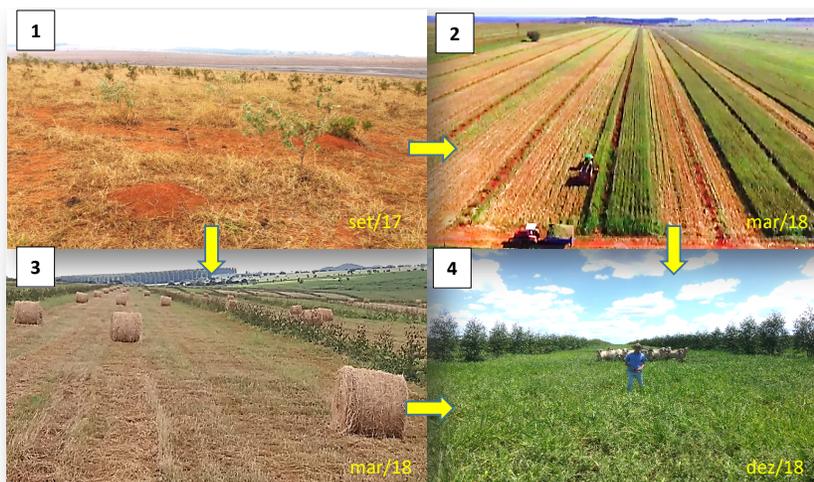
A partir das amostras de braquiária coletadas em cada malha da grade amostral, foi formada uma amostra composta, a qual foi submetida a análises para determinação dos teores e conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na forragem, conforme métodos analíticos descritos em Silva (2009). Foram calculados os índices de eficiência de utilização interna de N, P e K pela Equação 1:

$$\text{Eficiência de utilização (kg kg}^{-1}\text{)} = [\text{Massa seca de forragem, kg ha}^{-1}] / [\text{Conteúdo do nutriente na forragem, kg ha}^{-1}] \quad (1)$$

Do segundo ciclo em diante (2018/2019 e 2019/2020), introduziu-se o componente animal em pastejo no sistema (Figura 2). Em cada ciclo, no mês de dezembro, foi distribuído nos piquetes um lote de novilhas da raça Guzerá, com 7 meses a 9 meses de idade e peso médio em torno de 250 kg, com a taxa de lotação variando nos piquetes em função da disponibilidade de forragem no decorrer do ano. O primeiro lote foi distribuído em 11/12/2018, sendo as novilhas mantidas até o dia 10/10/2019. O ciclo seguinte iniciou-se em 20/12/2019, com novo lote de novilhas alocadas nos piquetes, realizando-se sua pesagem final em 26/5/2020 para apuração dos dados de produção animal. Os animais receberam suplementação mineral *ad libitum* no período das águas e suplementação proteico-energética balanceada para o consumo diário de 0,1% do peso vivo no período da seca (Gontijo Neto et al., 2020).

Os rendimentos em peso da produção animal nos ciclos de pastejo foram utilizados para estimativa da remoção dos nutrientes N, P e K do sistema, correspondente às quantidades exportadas na carcaça dos animais que se alimentaram em cada piquete/nível de investimento. No cálculo das exportações, foram considerados os dados de composição corporal da ordem de 12 kg, 4 kg e 1 kg de N, P e K, respectivamente, para cada 500 kg de peso vivo (Humphreys, 1991).

Para caracterizar a evolução de atributos da fertilidade do solo (pH, disponibilidade de P, K, Ca e Mg, saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MOS), e capacidade de troca de cátions (CTC)), sob efeito dos níveis de aplicação de corretivos da acidez e de fertilizantes nas adubações do sistema ILPF, foram realizadas amostragens em novembro de 2018, dezembro de 2019, novembro de 2020 e dezembro de 2021, utilizando-se a mesma grade amostral definida para a avaliação de forragem disponível. As coletas de solo foram executadas com trado tipo calador, nas profundidades de 0 cm–10 cm, 10 cm–20 cm e 20 cm–40 cm, em caminhamento diagonal dentro de cada malha da grade amostral, sendo obtidas amostras compostas a partir de nove amostras simples. Foram analisadas em laboratório doze amostras por piquete, para cada profundidade, de acordo com metodologias descritas em Teixeira et al. (2017).



**Figura 2.** Imagens das áreas dos piquetes da URT Lagoa dos Currais durante a fase de implantação do sistema ILPF: 1) Pastagem original (set./2017); 2) Piquete N4 na colheita do sorgo forrageiro consorciado com capim Marandu (mar./2018); 3) Piquete N2 na fenação do pasto de Marandu (mar./2018); 4) Pastagem formada e animais no piquete N3 (dez./2018). (Fotos: Álvaro Resende, Miguel Gontijo e Gustavo de Salvo).

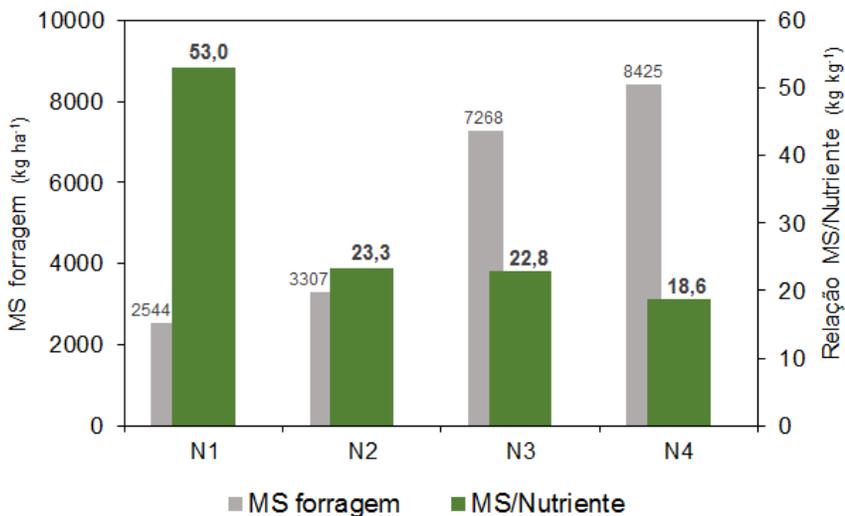
## Resultados

Dados da influência dos níveis crescentes de investimento tecnológico sobre aspectos produtivos do sistema ILPF no período 2017/2018 a 2019/2020 e uma análise financeira estão disponíveis em Gontijo Neto et al. (2020). Outras informações técnicas levantadas na base experimental estabelecida na URT estão apresentadas nas demais publicações que integram a série ILPF Lagoa dos Currais (Borghi et al., 2020; Campanha et al., 2020, 2021; Resende et al., 2020).

### **Eficiência de uso de nutrientes na produção de forragem (2017/2018)**

O rendimento em massa seca (MS) de forragem foi avaliado num primeiro momento em março de 2018, pela produção de feno, no caso dos piquetes com menor adubação (N1 e N2), e pela produção de silagem, naqueles mais

adubados (N3 e N4). Já o rendimento total de MS no ciclo 2017/2018 foi apurado posteriormente, acrescentando-se a disponibilidade de forragem de braquiária na pastagem formada nos respectivos piquetes, avaliada em novembro de 2018, precedendo a primeira entrada de animais para pastejo. Na Figura 3, são apresentados os resultados de resposta produtiva de forragem nesse ciclo inicial da implantação do sistema ILPF a partir da área de pastagem degradada. O desempenho ficou abaixo da expectativa para todos os níveis de investimento tecnológico, sobretudo porque as produtividades de feno e de silagem foram relativamente baixas, principalmente no caso do N3 e N4, para os quais se esperava rendimento mais elevado de silagem em resposta aos maiores aportes de corretivos e fertilizantes. Tal fato foi associado à má distribuição das chuvas até o pré-florescimento do sorgo, incluindo 21 dias de veranico (Gontijo Neto et al., 2020).



**Figura 3.** Rendimento de massa seca (MS) de forragem no primeiro ciclo de produção e relação de MS produzida por quilograma de nutriente ( $N+P_2O_5+K_2O$ ) aplicado em sistema ILPF sob níveis crescentes de investimento em fertilidade do solo (N1 a N4). Massa seca de forragem no primeiro ciclo: feno (N1 e N2) ou silagem (N3 e N4) colhidos em março de 2018, mais forragem de braquiária disponível em novembro de 2018.

Verifica-se que a eficiência de uso de nutrientes, indicada pela relação entre as quantidades de MS de forragem produzida e de nutrientes ( $N+P_2O_5+K_2O$ ) aplicados, decresceu com o aumento no nível de adubação (Figura 3). Tal

comportamento se deveu principalmente à grande diferença no fornecimento desses três nutrientes entre os quatro níveis de adubação no ciclo 2017/2018 (Tabela 2). Nos quatro níveis, a relação MS/nutriente superou o valor de 10 kg kg<sup>-1</sup>, coeficiente técnico de referência para a resposta à adubação em pastagens, reportado por Martha Junior et al. (2007). Porém, enquanto a relação MS/nutriente diminuiu 35% do N1 para o N4, o rendimento de MS de forragem foi incrementado por volta de 331% (Figura 3). Portanto, a maior eficiência de uso de nutrientes no manejo de menor investimento é ilusória e precisa ser interpretada com a ressalva de que, no caso em questão, o potencial produtivo de forragem continuou seriamente prejudicado pelo insuficiente condicionamento dos atributos da fertilidade do solo.

Os resultados expressos na Figura 3 demonstram que não é simples a definição de manejo da fertilidade mais apropriado a cada contexto de exploração agropecuária. Existe uma certa lógica de adoção de técnicas conjugadas de correção da acidez e de níveis de fornecimento de nutrientes nas adubações (Tabelas 2 e 3), baseadas em resultados de pesquisa científica, as quais normalmente apresentam efeitos/benefícios aditivos sobre a produtividade. Entretanto, a magnitude dessas respostas precisa ser aferida em cada ambiente de produção, no intuito de se identificar um ótimo de viabilidade técnico-econômica. Diversos fatores influenciam localmente o desempenho físico e o retorno financeiro dos investimentos nessas técnicas.

Na definição do melhor manejo, devem ser levados em conta critérios e indicadores que permitam ponderar a eficiência de conversão vegetal de nutrientes em biomassa pelo rendimento físico de produção de forragem, o qual precisa ser quantitativamente satisfatório. É fundamental ainda que se agreguem indicadores de viabilidade econômica. Uma situação de baixo investimento, como no N1, embora tenha apresentado alta eficiência de uso dos nutrientes fornecidos, permaneceu muito aquém do potencial de produção passível de ser alcançado naquela área (Figura 3). Noutro extremo, o N4 confirmou significativos ganhos de desempenho produtivo mediante maior investimento na conversão de pastagem degradada em sistema ILPF intensificado, porém com um custo também mais elevado.

De fato, na análise financeira dos resultados relatada em Gontijo Neto et al. (2020), contabilizando as estimativas de gastos e receitas envolvendo esse primeiro ciclo de produção de forragem (2017/2018) e mais dois ciclos

de pastejo com animais (2018/2019 e 2019/2020), verificou-se que o N3 se destacou dos demais níveis, com retorno financeiro quase equilibrando todo o investimento realizado até então. Todavia, os autores enfatizaram a necessidade de acompanhamento dos resultados em mais longo prazo, de forma a avaliar adequadamente o desempenho forrageiro/animal decorrente do efeito residual de nutrientes nos diferentes níveis de adubação. Há que se contabilizar, também, a resposta do componente florestal no ILPF, agregando as receitas da produção de madeira do eucalipto no corte aos 7 anos.

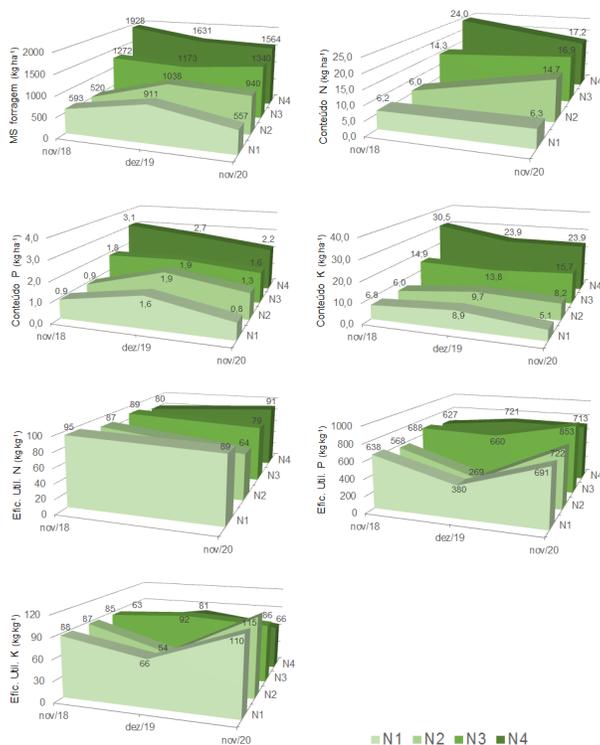
### **Eficiência de utilização interna e conteúdo de nutrientes no pasto**

Na Figura 4, estão apresentados os dados de forragem disponível e índices de aproveitamento de nutrientes pela braquiária, avaliados em pré-pastejo no início da estação chuvosa nos ciclos 2018/2019 a 2020/2021. A disponibilidade de MS de forragem e o seu conteúdo de N, P e K mantiveram-se diretamente proporcionais ao nível de investimento em construção e manutenção da fertilidade do solo, com evidente contraste de desempenho entre os extremos N1 e N4 ao longo do tempo.

Tal contraste não se refletiu da mesma maneira na eficiência de utilização interna de N, P e K, que expressa a quantidade de MS por unidade de nutriente acumulado na parte aérea. As variações de fornecimento nas adubações, de absorção pelas plantas e das respectivas respostas em desenvolvimento vegetativo influenciaram nessa eficiência, de modo que, em algumas situações, manejos diferentes com produtividades muito distintas da pastagem levaram a valores similares de eficiência de utilização interna de nutrientes. Portanto, conclusões consistentes acerca do aproveitamento da adubação dependem de uma interpretação conjunta das variáveis que compõem a Figura 4. Nesse sentido, verifica-se que os níveis de maior investimento em fertilidade (N3 e N4) resultaram em expressivos incrementos de potencial de produção de forragem e de acúmulo de nutrientes, embora com eficiência de utilização interna semelhante ou até menor que a constatada nos manejos menos adubados (N1 e N2). Cabe ressaltar que, para esse cálculo de eficiência de utilização dos nutrientes, as estimativas de produção de forragem nos

piquetes não levaram em consideração a forragem produzida e consumida pelos animais durante os ciclos de pastejo 2018/2019 e 2019/2020.

A responsividade da braquiária à adubação, com expressivos aumentos na produção de biomassa e na acumulação de nutrientes (Figura 4), confirma sua destacada habilidade em absorver os nutrientes disponíveis no solo (Resende et al., 2021). Essa característica torna oportuna a inclusão da braquiária para compor sistemas intensificados com lavoura, pecuária e/ou floresta, pois atua como agente para melhor aproveitamento e proteção dos nutrientes adicionados via adubações, ao promover sua estocagem e recirculação por ciclagem, prevenindo processos de perda e eventual contaminação ambiental.

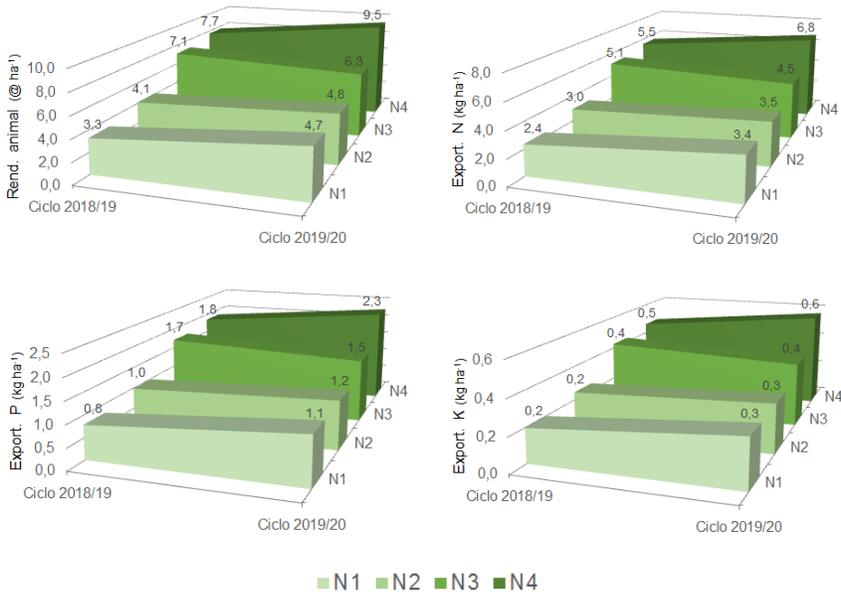


**Figura 4.** Disponibilidade de massa seca (MS) de braquiária no início da estação chuvosa dos ciclos 2018/2019 a 2020/2021, conteúdos de N, P e K na forragem e respectivos valores de eficiência de utilização interna, em sistema ILPF sob níveis crescentes de investimento em fertilidade do solo (N1 a N4).

## **Produção animal a pasto e seu impacto na exportação de nutrientes**

Os animais criados em pastejo na pecuária de corte contribuem para a ciclagem e conservação de nutrientes *in situ*, visto que são relativamente pequenas as quantidades efetivamente exportadas dos pastos nas carcaças, quando o gado é retirado. Os resultados do presente estudo confirmam esse fato, pois, embora sejam proporcionais ao rendimento animal por área, as estimativas da exportação de N, P e K (Figura 5) representaram apenas uma pequena fração do que foi fornecido nas adubações (Tabela 3). Uma vez que mais de 70% dos nutrientes contidos na forragem consumida pelo gado são devolvidos ao ecossistema da pastagem na forma de excretas e excrementos – urina e fezes (Vendramini et al., 2007), pode-se considerar que o componente animal constitui uma fonte de receita importante, mas com impacto relativamente baixo na demanda nutricional e na necessidade de novas adubações para a manutenção do sistema ILPF ao longo do tempo.

Um aspecto muito positivo emerge quando se nota o desempenho forrageiro incrementado em resposta aos níveis de investimento em fertilidade do solo e o seu reflexo direto no rendimento animal, num sistema que compatibiliza a captura e circularidade dos nutrientes oriundos das adubações, pela ação da braquiária, com baixas taxas de remoção nas carcaças animais. A conjunção desses fatos respalda a efetividade da tecnologia de construção da fertilidade do solo como alavanca para uma importante mudança: elevar a um novo patamar produtivo a pecuária a pasto no bioma Cerrado, proporcionando, concomitantemente, estabilidade e longevidade ao sistema assim estabelecido.



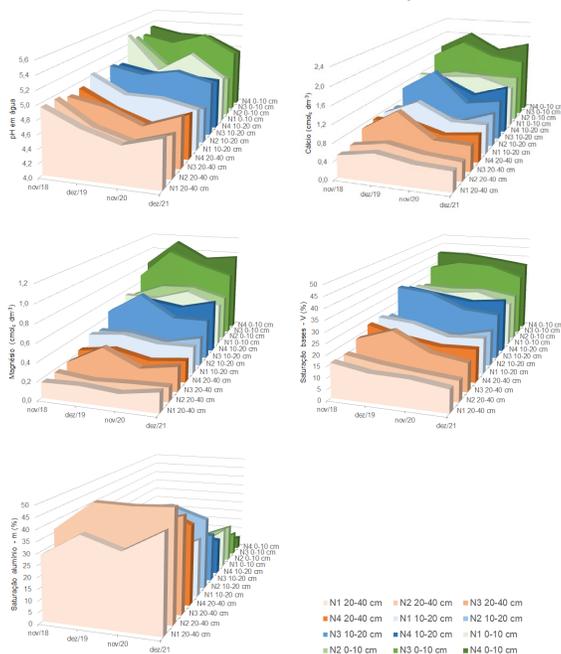
**Figura 5.** Rendimento de produção animal em dois ciclos de pastejo e correspondentes estimativas de exportação de N, P e K por esse componente do sistema ILPF, conforme níveis crescentes de investimento em fertilidade do solo (N1 a N4).

## Fertilidade no perfil do solo

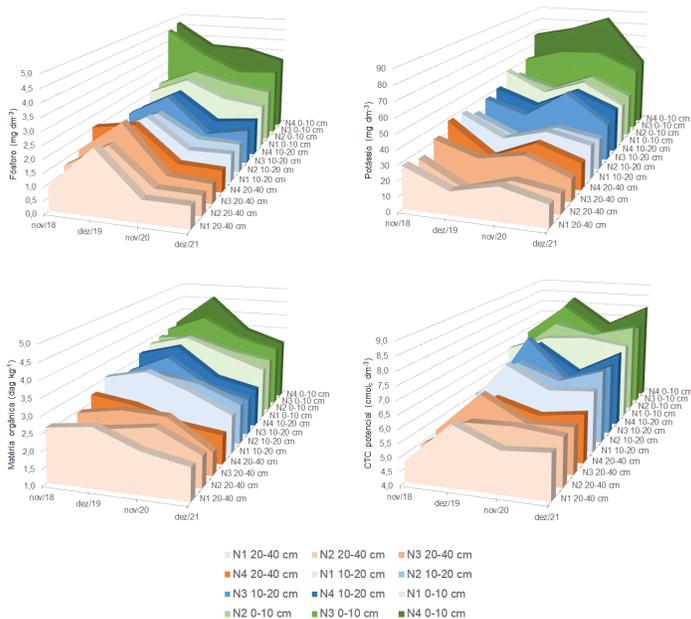
Mesmo os níveis mais elevados de investimento em adubação no presente caso não foram subaproveitados. Pelo contrário. Os nutrientes fornecidos, além de satisfazerem a demanda fisiológica da espécie forrageira e contribuírem direta ou indiretamente para a nutrição e o ganho de peso dos animais, formaram uma reserva de fertilidade no solo bastante melhorada em relação às condições iniciais (Tabela 1). Conforme se pode observar nas Figuras 6 e 7, o monitoramento temporal pela análise de solo evidenciou que os piquetes N3 e N4 mantiveram consistentemente melhores indicadores de fertilidade ao longo dos quatro anos do estudo. De modo geral, a utilização de maiores quantidades de corretivos e fertilizantes proporcionou controle mais satisfatório da acidez do solo, disponibilidade mais elevada de

nutrientes, notadamente P e K, além de favorecer atributos relacionados à sustentabilidade, como o teor de matéria orgânica e a CTC. Em parte, tais resultados também se deveram às características de alta absorção/ciclagem de nutrientes pela braquiária e à modalidade de utilização da forragem em pastejo direto, que contribuem para um ecossistema mais conservativo de nutrientes, o que é altamente desejável.

Embora a fertilidade alcançada (Figuras 6 e 7) atenda a um padrão tecnológico que pode ser considerado alto para sistemas silvipastoris no Cerrado, a maioria dos atributos ainda não estaria na condição ideal em relação às recomendações para culturas anuais, tais como milho, soja, algodão ou feijão. Por exemplo, a disponibilidade de P e de K requerida nesse caso seria, respectivamente, da ordem de  $6 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  na camada de 0 cm–20 cm de profundidade (Sousa; Lobato, 2004), acima, portanto, dos teores obtidos nos piquetes N3 e N4. De qualquer forma, uma eventual reorientação do uso dessas áreas, para acomodar culturas mais exigentes, já partiria de uma base de fertilidade bem mais favorável do que a existente inicialmente.



**Figura 6.** Condições de atributos relacionados à correção da acidez no perfil de solo (camadas de 0 cm–10 cm, 10 cm–20 cm e 20 cm–40 cm) ao longo de quatro anos, em sistema ILPF sob níveis crescentes de investimento em fertilidade do solo (N1 a N4).



**Figura 7.** Condições de atributos relacionados à disponibilidade de nutrientes no perfil de solo (camadas de 0 cm–10 cm, 10 cm–20 cm e 20 cm–40 cm) e à sustentabilidade (matéria orgânica e CTC), ao longo de quatro anos, em sistema ILPF sob níveis crescentes de investimento em fertilidade do solo (N1 a N4).

## Considerações finais

O monitoramento do sistema ILPF estabelecido na URT Lagoa dos Currais, ao longo de quatro anos, permitiu caracterizar as diferenças decorrentes dos níveis de investimento aplicados nas fases de implantação e manutenção, no tocante ao desempenho em produção de forragem, rendimento animal e eficiência de aproveitamento de nutrientes. Além dessas respostas, as avaliações realizadas permitiram detectar aspectos relacionados à influência dos níveis de investimento em adubação sobre o vigor e a longevidade do sistema silvipastoril estabelecido, bem como obter indicadores quantitativos da melhoria do potencial produtivo do solo e do legado de fertilidade dado pelo efeito residual dos corretivos e fertilizantes.

A interpretação conjunta dos resultados descritos nesta publicação evidencia a importância de adoção de tecnologias de construção da fertilidade que, devidamente dimensionadas com bases em recomendações geradas pela pesquisa agropecuária, se complementam, proporcionando benefícios aditivos. Em todos os quatro níveis de investimento, a relação de matéria seca de forragem produzida por nutriente aplicado ( $N+P_2O_5+K_2O$ ) no primeiro ciclo de avaliação (2017/2018) superou o valor de  $10 \text{ kg kg}^{-1}$ , referência para a resposta à adubação em pastagens no Cerrado. No entanto, o sistema ILPF estabelecido se mostrou responsivo a tais tecnologias ao longo do tempo, mudando para patamares produtivos mais elevados nos níveis de maior investimento. Observou-se ainda a interessante vantagem de expressão de certo grau de autossustentabilidade, pela circularidade dos nutrientes promovida graças à ciclagem no ecossistema da pastagem e à exportação relativamente baixa pelos animais em pastejo.

A expectativa é que a continuidade dos monitoramentos e das avaliações nos piquetes pelos próximos anos possibilite consolidar informações, confirmando tendências ou conferindo mais consistência aos resultados observados até o momento. Deverão ser agregadas também avaliações do componente florestal, preferencialmente ao final do ciclo de produção deste.

## Agradecimentos

Aos proprietários da Fazenda Lagoa dos Currais, pela parceria fundamental na realização do trabalho, com cessão de área para implantação da URT, disponibilização de animais para compor o sistema ILPF e apoio operacional às atividades realizadas. Aos funcionários da Fazenda Lagoa dos Currais, pelo auxílio dedicado na condução da URT. À Embrapa (projeto 20.18.03.015.00), à Fundação Agrisus (projeto 3136/21) e à Associação Rede ILPF (projeto 40.22.06.001.00), pelo suporte financeiro e operacional.

## Referências

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para**

**o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25- 32.

BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V. de; SIMÃO, E. de P.; ABREU, S. C.; GIEHL, J.; SANTANA, D. P.; ALVARENGA, R. C.; CAMPANHA, M. M.; RESENDE, R. M. S. **Intensificação agropecuária no cerrado: implantação de sistema ILPF com as culturas do sorgo forrageiro, capim Marandu e eucalipto na região central de Minas Gerais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 57 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 207).

CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e C. da; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V. de; BORGHI, E. **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta como estratégia para neutralização da emissão de metano entérico de bovinos na região do Cerrado de Minas Gerais.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 275).

CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e C. da; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V. de; SIMÃO, E. de P.; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A. C. de; KÁLITA, L. **Intensificação agropecuária no Cerrado: crescimento do eucalipto em ILPF sob diferentes níveis de investimento tecnológico.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 266).

GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V. de; BORGHI, E.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e C. da; SIMÃO, E. de P.; GIEHL, J.; ABREU, S. C.; ALVARENGA, R. C. **Intensificação agropecuária no Cerrado: coeficientes técnicos e análise financeira de Sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 36 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 268).

HUMPHREYS, L. R. **Tropical pastures utilization.** Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens.** Brasília, DF: Embrapa, 2007. 224 p.

RESENDE, A. V.; GIEHL, J.; SIMÃO, E. P.; ABREU, S. C.; FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; MARRIEL, I. E.; MELO, I. G.; MARQUES, L. S.; GONTIJO NETO, M. M. **Créditos de nutrientes e matéria orgânica no solo pela inserção do capim-braquiária em sistemas de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 277).

RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. P.; GIEHL, J.; ABREU, S. C.; HURTADO, S. M. C.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. C.; MARRIEL, I. E.; VASCONCELLOS, J. H.; SANTANA, D. P.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M. **Intensificação agropecuária no Cerrado: construção da fertilidade do solo como base para aumento do potencial produtivo e convivência com a seca**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 56 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 265).

SILVA, F. C. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

VENDRAMINI, J. M. B.; SILVEIRA, M. L. A.; DUBEUX JR., J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 139-149, 2007. Suplemento. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000015>.

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rod. MG 424 Km 45  
Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
Fone: (31) 3027-1100  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**1ª edição**  
Publicação digital (2023): PDF

**Embrapa**



Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Milho e Sorgo

Presidente

*Maria Marta Pastina*

Secretária-Executiva

*Elena Charlotte Landau*

Membros

Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso  
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e  
Maria Cristina Dias Paes

Revisão de texto

*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Projeto gráfico da coleção

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Arte da capa

*Daniel Bini*

Fotos da capa

*Álvaro Resende; Gustavo de Salvo e Samuel  
Abreu*

CGPE 018279