

Estudos e Inovações na Engenharia e Agronomia

v.4 2020

**Estudos e Inovações
na Engenharia e Agronomia
v.4**

E829 Estudos e Inovações na Engenharia e Agronomia v.4/ Organizadores:
Francisco et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2020.
114 f.: il. color.

ISBN: 978-65-00-06312-7

1. Agronomia. 2. Desenvolvimento Tecnológico. 3. Ideias
Inovadoras. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Santos,
Djail. III. Chaves, Lúcia Helena Garófalo. IV. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

Créditos de Imagens da Capa

Pixabay.com

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco
Djail Santos
Lúcia Helena Garófalo Chaves
(Organizadores)

**Estudos e Inovações
na Engenharia e Agronomia
v.4**



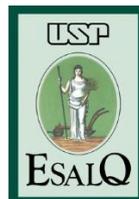
1.a Edição
Campina Grande-PB
2020

Realização

**Portal Tecnológico
de Divulgação Científica**
Eventos, Pesquisas e Inovação



Apoio



SUMÁRIO

Capítulo 1	6
PERDAS QUANTITATIVAS NA COLHEITA MECANIZADA DE SOJA COM DOIS TIPOS DE PLATAFORMAS DE CORTE	6
Capítulo 2	18
RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E MEDIDAS DE pH E CE DO EXTRATO AQUOSO PARA DOIS TIPOS DE SOLOS	18
Capítulo 3	31
BENEFÍCIOS DO LEVANTAMENTO DETALHADO DE SOLOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE RURAL EM RONDONÓPOLIS/MT	31
Capítulo 4	41
Trichoderma COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MARANDU E <i>Brachiaria ruziziensis</i>	41
Capítulo 5	49
EFICIÊNCIA DE <i>Trichoderma</i> NA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO, SINTESE DE AIA E BIOCONTROLE	49
Capítulo 6	58
ADUBAÇÃO COM CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM POTENCIAL EM CULTIVARES DE AMENDOIM (<i>Arachis hypogaea</i> L.) PARA FORRAGEM	58
Capítulo 7	65
MODELO ESPACIAL DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	65
Capítulo 8	79
VAZÃO MÁSSICA DE DESCARGA EM SILO MODELO REDUZIDO	79
Capítulo 9	86
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE RABANETE: EFEITO DO COMPOSTO ORGÂNICO E BIOCARVÃO	86
Capítulo 10	94
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE RABANETE: EFEITO RESIDUAL DO COMPOSTO ORGÂNICO E BIOCARVÃO	94
Capítulo 11	104
ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS	104
Curriculum dos Organizadores	114

Capítulo 1

PERDAS QUANTITATIVAS NA COLHEITA MECANIZADA DE SOJA COM DOIS TIPOS DE PLATAFORMAS DE CORTE

Leandro Maria Gimenez¹
Rodrigo Yagai Righeto²

¹Dr. Prof., ESALQ-USP, Piracicaba - SP, lmgimenez@yahoo.com

²Graduando em Eng. Agrônômica, ESALQ-USP, Piracicaba - SP, rodrigo.righeto.ea@gmail.com

Introdução

O Brasil é responsável por 50% de toda soja exportada mundialmente, tendo a China como seu principal destino. A principal forma de comercialização é em grãos, sendo que no ano de 2019 a quantidade atingida nas exportações

Sua popularidade se deve às suas características nutricionais, com elevado teor de proteínas (37 a 40%), o grão de soja é a principal matéria-prima na fabricação de rações para alimentação animal, compondo cerca de 70% do farelo proteico. O óleo é obtido como subproduto na fabricação de farelo, mesmo apresentando baixo teor de óleo (18 a 22%) é uma das principais plantas oleaginosas consumidas no planeta (DALL'AGNOL et al., 2010).

Outro motivo que alavancou a produção de soja nos tempos atuais é a possibilidade de mecanização de todas as etapas produtivas, possibilitando o cultivo de áreas maiores, menor quantidade de mão-de-obra e maior capacidade de trabalho que promove a redução do tempo das operações, principalmente durante a colheita (SILVEIRA, 1990).

No entanto, a colheita mecanizada da soja frequentemente apresenta perdas determinadas por fatores intrínsecos à própria espécie e outros relativos à operação mecanizada. Segundo Balastreire (1987), as perdas da colheita mecanizada são estimadas em 12% do total produzido, mas podem ser reduzidas para 3 a 5%, já Silveira (1990), relata valores entre 1 a 10% de forma generalizada para as culturas que produzem grãos. Mais recentemente, Machado et al. (2012) citam perdas de até 240 kg ha⁻¹ de soja encontrados em seus estudos com colhedoras, montante quatro vezes superior ao limite aceitável estipulado pela EMBRAPA (2002) de até 60 kg ha⁻¹.

Alguns estudos buscaram quantificar o envolvimento de cada fator ou mecanismo nas perdas, segundo a EMBRAPA (1998), 80 a 85%

foi de 74 milhões de toneladas, seguido pelo farelo com 16,6 milhões de toneladas e em terceiro lugar o óleo, com 1,03 milhões de toneladas (APROSOJA, 2020).

ocorrem pela ação dos mecanismos da plataforma de corte das colhedoras, 12% são ocasionadas pelos mecanismos internos da colhedora e apenas 3% são causadas por deiscência natural. O estudo de Schanoski et al. (2011), apresenta perdas de 75 e 25% referentes a plataforma de corte e mecanismo de trilha, respectivamente.

Há cerca de dez anos, o mercado brasileiro recebeu um novo conceito de plataformas para a colheita de cereais, que segundo seus fabricantes, possibilita o aumento da largura de corte, aumentando o rendimento e reduzindo as perdas das plataformas (NIETIEDT et al., 2011).

Esta plataforma é conhecida no mercado como draper, possuindo um conjunto de esteiras transportadoras de borracha que conduzem o material das extremidades para o centro da plataforma e o encaminha para o interior da colhedora, substituindo o mecanismo existente nas plataformas de condutor helicoidal, usualmente denominada como caracol ou rosca sem-fim. A atuação destes diferentes mecanismos pode interferir na quantidade de perdas, tanto da plataforma quanto do mecanismo de trilha, pois proporcionam mais ou menos impactos no material durante a colheita (GOBBI et al., 2014; VIOLA, 2016).

Para a avaliação das perdas ocorridas durante as operações de colheita mecanizada de soja no Brasil, o método proposto por Mesquita e Gaudêncio (1982) de avaliar as perdas através da relação entre o volume de grãos coletados em uma área determinada e o número de perdas em sacas por hectare, com o auxílio de um copo graduado, vem se mostrando o método de maior

aceitação (CAMPOS et al., 2005; CORTEZ et al., 2019; EMBRAPA, 2002; MAGALHÃES et al., 2009; MAURINA, 2005; PEREIRA FILHO et al., 2017). O método sugere o emprego de uma área retangular de 2 m² de coleta para cada um dos pontos amostrais para cada fonte de perdas, sendo elas perdas naturais (PN), perdas de plataforma de corte (PPC) e perdas do mecanismo interno da colhedora (PMI), o somatório dessas perdas leva às perdas totais (PTT). Cunha e Zandbergen (2007), constataram diferenças significativas entre os valores obtidos na leitura indireta (copo medidor) (MESQUITA & GAUDÊNCIO, 1982) com os valores obtidos na leitura direta (pesagem do material), indicando que o método indireto pode apresentar distorções, uma vez que, uma menor quantidade de grãos com maior diâmetro pode apresentar o mesmo volume que uma maior quantidade de grãos com menor diâmetro, e mesmo assim valores de massa diferentes.

Fatores ambientais também podem interferir na qualidade da colheita. Schanoski et al. (2011) indicaram que, a umidade relativa do ar (UR) pode influenciar na quantidade de perdas, pois a baixa UR estimula a perda de umidade das vagens e a sua abertura quando tocadas pelo molinete da colhedora.

Tendo como base a importância das perdas na colheita da soja e a oportunidade de reconhecer o desempenho de dois tipos de plataformas de corte, este trabalho tem como objetivo investigar as perdas de grãos de soja com plataformas de corte do tipo sem-fim (condutor helicoidal) e draper (esteira transportadora) em condição de campo, buscando também identificar a influência de algumas condições do ambiente sobre o desempenho desses equipamentos.

Material e Métodos

A etapa de coleta de dados em campo foi desenvolvida em duas propriedades localizadas no sudoeste do estado de São Paulo, nos municípios de Taquarituba e Coronel Macedo, Figura 1, durante a época de colheita de soja da safra 19/20 realizada entre os meses de janeiro a março de 2020.

O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho, com relevo ondulado a suave ondulado (ROSSI, 2017). A elevação dos pontos amostrais variou entre 575 e 702 m acima do nível do mar. A inclinação máxima é de 13,6% e a altitude média do local das amostragens de 619 m.

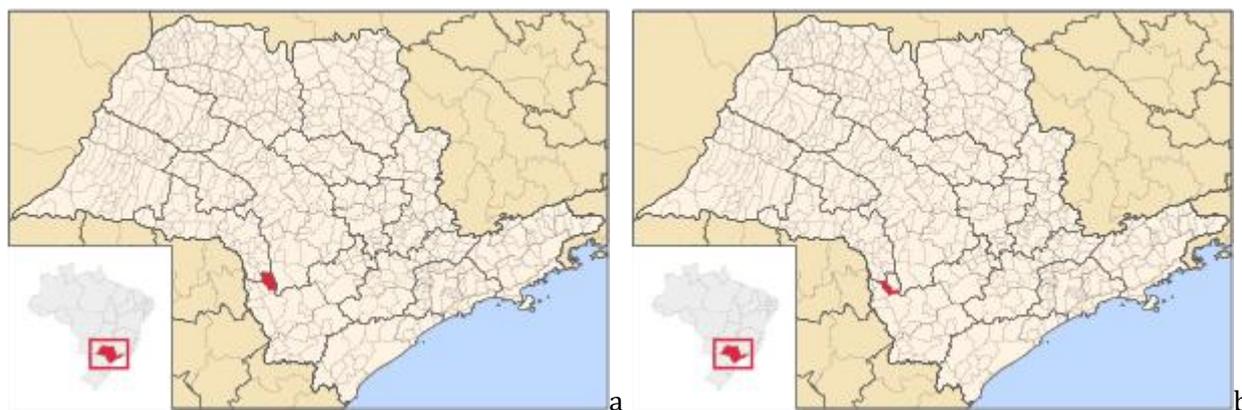


Figura 1. Municípios em estudo (a) Taquarituba, (b) Coronel Macedo.

Fonte: wikipédia (2020a; 2020b).

Determinações de perdas foram realizadas para duas colhedoras distintas, que empregavam as plataformas em estudo. A primeira colhedora do fabricante John Deere, modelo S760, ano de fabricação 2019. Possuía motor com 370 cv (272,1 kW) de potência máxima e trilha do tipo axial com rotor dividido em três partes que recebem o material, trilhavam

e separam os grãos do restante do material. A colhedora utilizou plataforma do fabricante John Deere, modelo 730FD de 30 pés (9,14 metros) do tipo draper. Que segundo o fabricante é capaz de fornecer o fluxo de material contínuo à máquina permitindo maior produtividade (JOHN DEERE, 2019).

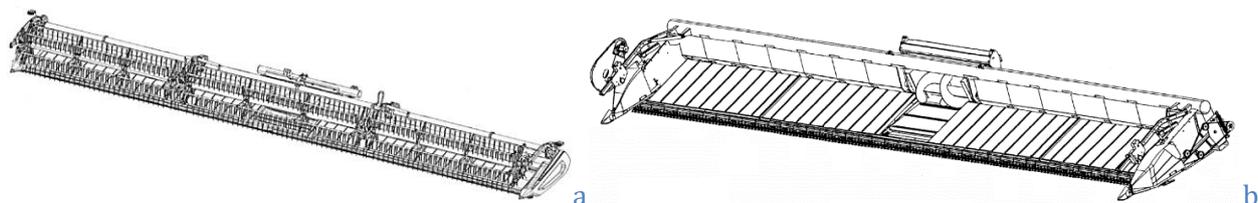


Figura 2. (a) Plataforma de corte draper completa. Fonte: Strasser (2017); (b) Plataforma draper com molinete removido. Fonte: Sauerwein e Lohrentz (2013).

A segunda colhedora empregada foi a do fabricante New Holland, modelo CR 9060, ano de fabricação 2015, com potência de 394 cv (290 kW) com sistema de trilha composto por dois cilindros de alimentação axial que giram um em direção ao outro, onde a trilha é realizada com o atrito de grão com grão (NEW HOLLAND, 2009). A plataforma utilizada foi a

New Holland SuperFlex de 30 pés com mecanismo de rosca sem fim, onde há dedos retráteis por toda a extensão do sem-fim, barra de corte flexível com dedos de corte autolimpantes que auxiliam o fornecimento de um fluxo alto e constante de material da plataforma para o interior da máquina (NEW HOLLAND, 2019).

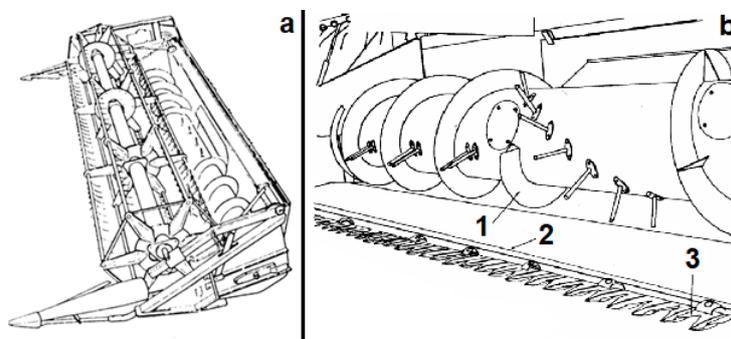


Figura 3. (a) Plataforma de corte com mecanismo condutor de material de rosca sem-fim. Fonte: ISO (1983); (b) Detalhe de plataforma com rosca sem fim em que, 1 - Condutor do tipo rosca sem-fim com dedos retráteis, 2 - Barra de corte, 3 - Faca. Fonte: Balastreire (1987).

As amostras para obtenção de perdas foram coletadas seguindo o método do copo medidor de perdas (MESQUITA & GAUDÊNCIO, 1982), método que realiza estimativa indireta em função da correlação entre o peso e o volume dos grãos coletado em uma área conhecida. Os grãos coletados também foram pesados e tiveram sua umidade determinada e corrigida para o valor de 13% em base úmida, constituindo método de determinação que denominamos como direto

O método para determinação indireta das perdas foi adaptado a partir daquela de Mesquita e Gaudêncio (1982), consistindo na coleta dos grãos em uma área delimitada, a metodologia sugere a área de 2 m², porém

devido às dimensões das plataformas utilizadas no estudo a área coletada foi de 4 m² visando minimizar erros pela coleta de material em uma área de comprimento muito maior que largura. A leitura do volume de grãos recolhidos foi realizada em um copo plástico com escala graduada que forneceu o valor direto de perda (por dobrar a área de coleta, o valor da leitura da escala do copo foi dividido por dois para efetuar a correção). Para a determinação da área de coleta foram utilizadas quatro estacas e uma corda de nylon esticada por toda a largura da barra de corte da plataforma, obtendo-se uma armação de formato retangular de 0,44 m de largura por 9,14 m de comprimento resultando em uma área de 4 m², Figura 4.



Figura 4. (a) Copo medidor com escala volumétrica de perdas em $sc\ ha^{-1}$; (b) Armação retangular de nylon para a delimitação da área de coleta dos grãos.

Para cada tipo de plataforma foram coletadas amostras contemplando quatro condições diferentes determinadas por duas condições de umidade obtidas em função do momento ao longo do dia em que a colheita foi realizada, uma com maior umidade (antes das 14 horas) e outro no período mais quente e seco do dia, à tarde (depois das 14 horas), em que o material já se encontrava em estado de menor umidade devido ao maior tempo de exposição à radiação solar. Duas condições de relevo foram contempladas, sendo plano e inclinado.

Conforme mencionado, no levantamento das perdas utilizou-se uma adaptação da metodologia de perdas proposta por Mesquita e Gaudêncio (1982), sendo utilizada uma área amostral maior, porém fazendo uso do copo medidor e seguindo todas as demais recomendações para as determinações de perdas, conforme apresentado na sequência. Antes da operação de colheita, o material referente às perdas naturais (PN) foi recolhido. Com a operação de colheita em andamento, foram determinadas as perdas causadas pela plataforma de corte (PPC). Para tal, ao atingir-se o ponto de coleta, o operador foi instruído a parar imediatamente a colhedora, desligando todos os seus sistemas, esperar o sistema de trilha, separação e limpeza esvaziar e recuar a distância equivalente ao comprimento da colhedora. A armação foi colocada em uma posição onde plataforma havia passado, mas que ainda não havia recebido o material processado pela colhedora. Todo o conteúdo (grãos e vagens) presente no interior da armação. Em seguida o material foi armazenado em saco plástico identificado e levado em laboratório.

As perdas totais (PTT) foram obtidas após a passagem da máquina onde havia a deposição do material descartado pela

colhedora, coletando os materiais dentro da área delimitada pela armação, seguindo os mesmos passos para a determinação de PPC. Os grãos soltos e aqueles presos às vagens foram depositados no copo medidor para leitura das perdas. A configuração espacial dos pontos de coleta PN, PPC e PTT está esquematizado conforme a Figura 5.

Nos mesmos locais também foi mensurada a altura das plantas, altura de inserção da primeira vagem, população de plantas, biomassa, e população de plantas. Para isso foi demarcado um comprimento de cinco metros lineares entre duas linhas e contabilizado o número de plantas presentes em ambos os lados, destes cinco metros foram extraídas aleatoriamente dez plantas. Além da contagem de plantas e das medidas tomadas com uma fita métrica, as 10 plantas foram cortadas rente ao solo e o material foi armazenado em sacos plásticos, para não haver perda de umidade, identificado e posteriormente pesado em uma balança modelo GB 8000 do fabricante Gehaka, para a determinação da biomassa. Em seguida foi realizada a separação manual dos grãos e determinada a umidade utilizando um medidor de umidade de bancada modelo Agri G800 do fabricante Gehaka. Esta umidade foi considerada como aquela representativa do momento da colheita. Foi obtido o peso total dos grãos, utilizado para, após a correção da umidade, calcular a produtividade por meio da extrapolação do peso médio por planta para a população presente em cada local. Também foi determinado o peso de mil grãos (PMG) Como a mensuração da biomassa é destrutiva, a coleta das plantas foi realizada próxima ao ponto de determinação das perdas, de modo a não interferir.

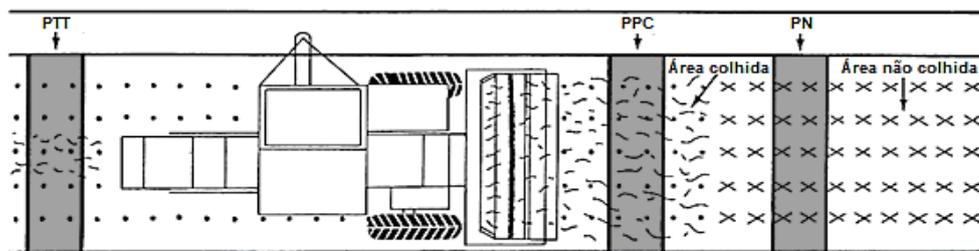


Figura 5. Esquema dos pontos de coleta (sombreados) para a determinação das perdas naturais (PN), perdas de plataforma de corte (PPC) e perdas totais (PTT) na colheita de soja. Fonte: Hummel (1985).

A determinação das perdas nos mecanismos internos (PMI) da colhedora foi obtido pela diferença entre o valor de perda total e o de plataforma de corte, conforme a Equação 1.

$$PMI = PTT - PPC \text{ (Eq. 1)}$$

Durante as coletas em campo foram realizados apontamentos em cada período de coleta para o controle. Na análise dos resultados o teor de água das amostras de grãos foi corrigido para 13%, base úmida com a finalidade de remover a influência da umidade dos grãos nas estimativas de perda e produtividade. Para contemplar as avaliações nas condições descritas foram coletadas 92 amostras sendo 46 para cada tipo de plataforma.

A partir do processamento das amostras foram obtidos os momentos estatísticos de média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação para caracterizar as perdas para todo o banco de dados e para estratos de dados referentes às condições de umidade, relevo e tipos de plataformas.

A análise de correlação foi utilizada para identificar a ocorrência de associação entre

perdas e as características da cultura, além do relacionamento entre os métodos direto e indireto de quantificação de perdas. Também se buscou identificar erros no cálculo das perdas, considerados como a diferença entre o método direto e o indireto, e se estavam associados às características dos grãos.

Na análise de variância o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, visando identificar a ocorrência de interação entre os fatores e quando esta não ocorria o efeito do método de quantificação das perdas, do tipo de plataforma, do relevo e da condição de umidade onde foram analisados separadamente. Na ocorrência de significância do teste F procedeu-se ao teste de Tukey para comparação de médias. Nas análises de variância e de comparação de médias para identificar efeitos da plataforma, relevo e condução de umidade foram utilizados os dados de perdas obtidos através do método direto.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise estatística descritiva de altura de corte obtidos quando se agruparam os dados em função das plataformas estudadas nas 92 amostras consideradas.

Tabela 1. Análise estatística descritiva para o parâmetro altura de corte da plataforma para os dois tipos de mecanismo condutor

Plataformas	Altura de corte da plataforma					CV %
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	
cm.....					
Sem-fim	7,0	7,0	5,0	8,0	0,4	5,3
Draper	8,4	9,0	5,0	10,0	1,7	20,8

Observando os resultados, é possível observar que a plataforma draper apresenta a média de altura de corte e CV de 8,4 cm e 20,8% respectivamente, ambos maiores que a plataforma de rosca sem-fim que obteve 7,0 cm de média e 5,3% de CV para a altura de corte, indicando maior variação de altura de corte da plataforma, e também a operação em alturas de

corte mais elevadas, alguns casos superiores à altura de inserção da primeira vagem das cultivares, colaborando para o aumento das perdas de plataforma. As plataformas utilizadas no trabalho, por serem flexíveis apresentam a vantagem de acompanhar o terreno com maior fidelidade para evitar atingir as vagens de culturas como a soja, conforme relatado por Miu

(2016), porém notou-se alguma variação no comportamento.

Na Tabela 2 são apresentados resultados da umidade presente nos grãos no momento da

colheita em subdivididos em função do horário da colheita.

Tabela 2. Análise estatística descritiva para o parâmetro umidade dos grãos no momento da colheita considerando todas as cultivares

n	Período	Umidade dos grãos no momento da colheita (base úmida)					
		Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	CV
.....%.....							
8	10:00 – 10:59	14,1	14,8	9,0	17,2	3,0	21,1
7	11:00 – 11:59	14,6	14,1	12,2	17,4	1,7	11,8
12	12:00 – 12:59	12,8	12,4	8,6	16,9	2,5	19,9
15	13:00 – 13:59	12,2	12,3	9,6	17,4	1,8	14,7
12	14:00 – 14:59	12,1	11,9	8,3	15,2	2,0	16,4
13	15:00 – 15:59	11,2	11,4	8,0	14,2	2,2	19,3
17	16:00 – 16:59	11,6	12,2	8,2	13,9	1,7	14,8
8	17:00 – 17:59	10,8	10,7	8,7	13,7	1,7	15,8

Observando os valores médios (Tabela 2), é possível observar a redução da umidade dos grãos conforme há o aumento do tempo de exposição à radiação solar que induz ao aquecimento do material e a evaporação parcial da umidade dos grãos e, de acordo com Pereira et al. (2007), também reduz a umidade relativa do ar (UR). Segundo alguns estudos a umidade dos grãos ideal para colheita oscila entre 12 a 15%, sendo que em umidades superiores pode haver maior presença de grãos verdes, que permanecem fixados às vagens e são descartados pela colhedora, maior incidência de

danos mecânicos latentes, havendo perda vigor e germinação das sementes. Em umidades inferiores os grãos estão mais suscetíveis ao dano mecânico, como quebras (CARVALHO & NOVENBRE, 2012; EMBRAPA, 1998; FRANÇA NETO et al., 2016; TERASAWA et al., 2009).

A Tabela 3 apresenta o resultado das perdas em relação ao método utilizado na determinação. O método direto emprega gravimetria para quantificar a massa dos grãos perdidos, enquanto o método indireto faz uso da volumetria para extrapolar os valores de perdas da amostra para um hectare.

Tabela 3. Análise estatística descritiva para o parâmetro perdas de grãos comparando os métodos de amostragem direta e indireta

Momentos estatísticos	Perdas							
	Método direto				Método indireto			
	PN	PPC	PMI	PTT	PN	PPC	PMI	PTT
.....kg ha ⁻¹								
Média	0,2	93,7	20,2	110,5	0,3	100,7	22,4	120,4
Mediana	0,0	89,3	10,2	103,6	0,0	91,5	13,5	109,5
Mínimo	0,0	7,4	0,0	15,4	0,0	12,0	0,0	15,0
Máximo	20,3	225,5	120,1	314,5	24,0	264,0	129,0	330,0
Desv. Pad.	2,1	42,3	25,1	50,5	2,5	47,3	27,8	56,8
CV (%)	959,2	45,1	124,2	45,7	858,1	46,9	124,4	47,2

De maneira geral, ambos métodos apresentam valores próximos e não ocorre diferença estatística. No entanto, a maioria dos valores obtidos pelo método indireto apresenta-se superior aos obtidos pelo método direto. Esta diferença, de acordo com Cunha e Zandbergen (2007), pode ser explicada pela existência de variações na relação entre o peso dos grãos e volume ocupado por eles. Além de

haver imprecisão durante a leitura do copo medidor, em que a escala é graduada com precisão de 0,5 sc ha⁻¹ e a superfície dos grãos acomodados no copo medidor não é uniforme.

Também é possível notar que, o valor de perdas totais (PTT) apresenta-se em média superior ao limite aceitável de perdas estipulado pela EMBRAPA (2002), e em alguns

casos chegou a ser cinco vezes superior a este limite.

Na análise de correlação as perdas obtidas por ambos métodos se apresentam altamente correlacionadas. Os valores de plataforma de corte (PPC), totais (PTT) e mecanismos internos (PMI), obtidos através do método direto com seus respectivos valores encontrados pelo método indireto, apresentando coeficientes de 0,99; 0,99 e 0,98, respectivamente, conforme observa-se na Tabela 4.

Ocorre também alto coeficiente de correlação entre os parâmetros biomassa e produtividade ($r=0,87$), indicando que a elevada produção de biomassa pela planta induz maiores produtividades.

Os demais dados não apresentam coeficientes elevados de correlação, indicando que o erro, considerado como a diferença entre as perdas estimadas pelo método gravimétrico e aquelas pelo método volumétrico não sofre influência clara da umidade ou PMG dos grãos.

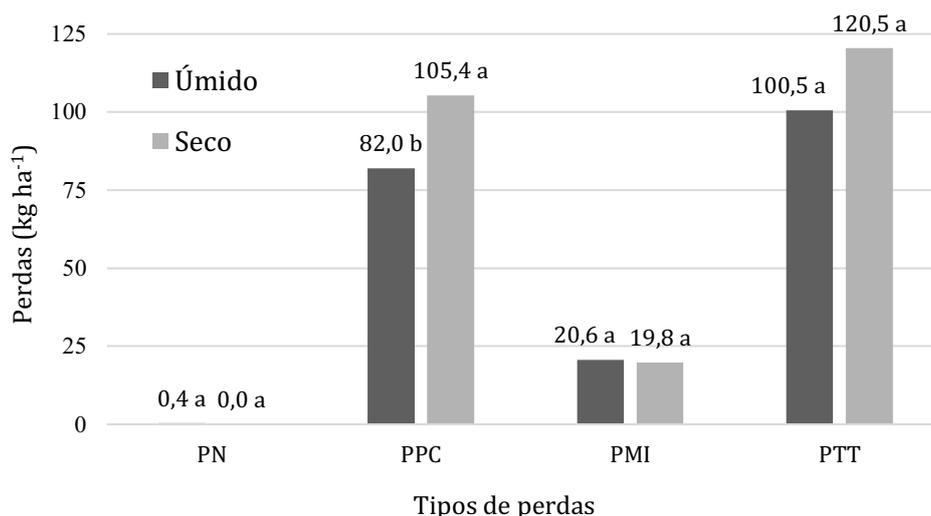
Tabela 4. Análise de correlação entre métodos e os parâmetros de umidade, PMG, biomassa e produtividade

	<i>PPC Ind</i>	<i>PTT Ind</i>	<i>PMI Ind</i>	<i>PPC Dir</i>	<i>PTT DIR</i>	<i>PMI Dir</i>	<i>ERRO PPC</i>	<i>ERRO PTT</i>	<i>ERRO PMI</i>	<i>UMID</i>	<i>PMG</i>	<i>BIOM</i>	<i>PROD</i>
PPC Ind	1,00												
PTT Ind	0,84	1,00											
PMI Ind	0,05	0,57	1,00										
PPC Dir	0,99	0,83	0,04	1,00									
PTT Dir	0,82	0,99	0,57	0,82	1,00								
PMI Dir	0,04	0,55	0,98	0,02	0,57	1,00							
ERRO PPC	-0,66	-0,57	-0,09	-0,54	-0,49	-0,11	1,00						
ERRO PTT	-0,64	-0,70	-0,34	-0,56	-0,60	-0,27	0,78	1,00					
ERRO PMI	-0,06	-0,35	-0,57	-0,08	-0,30	-0,42	-0,06	0,49	1,00				
UMID	-0,03	0,00	0,07	-0,10	-0,07	0,04	-0,34	-0,37	-0,14	1,00			
PMG	0,32	0,27	-0,03	0,29	0,23	-0,05	-0,35	-0,40	-0,09	0,36	1,00		
BIOM	-0,12	-0,11	-0,06	-0,11	-0,10	-0,06	0,13	0,10	0,03	0,24	0,03	1,00	
PROD	0,08	0,08	-0,02	0,11	0,09	-0,03	0,11	0,03	-0,02	0,02	0,15	0,87	1,00

Legenda: PPC = perda de plataforma de corte, PTT = perda total e PMI é a perda pelos mecanismos internos seguido pelos respectivos métodos de amostragem Ind e Dir, indireto e direto, respectivamente. ERRO = erro médio da análise de correlação encontrado para cada tipo de perda, UMID = umidade no momento da coleta, PMG = peso de mil grãos, BIOM = biomassa do material, e PROD = produtividade.

A análise de variância demonstra que há diferença estatística somente no parâmetro de perdas de plataforma de corte, e que ocorre aumento de 28,6% em relação ao valor encontrado em condição úmida, sendo significativamente maiores as perdas dos grãos colhidos em condição seca em relação às perdas

obtidas em condições de maior umidade, Figura 6. O resultado corrobora com o encontrado por Schanoski et al. (2011), que em condições de menor UR, o tecido da planta se torna mais suscetível a quebra, favorecendo a abertura das vagens por impacto assim que entram em contato com a plataforma de corte.



Legenda: PN = perda natural, PPC = perda de plataforma de corte, PMI = perda pelos mecanismos internos, e PTT = perda total.

Figura 6. Médias de perdas nas condições de umidade úmido e seco.

Nas Tabelas 5 e 6 observa-se a análise de perdas para os relevos em função do tipo da plataforma utilizada para o processo de colheita. A inclinação da superfície do terreno

no local de coleta das amostras varia de plano a pouco inclinado, resultando nos valores de 35 e 57 amostras, respectivamente.

Tabela 5. Análise estatística descritiva para o parâmetro perdas de grãos em condição de relevo plano, comparando as plataformas do tipo rosca sem-fim e draper

Momentos estatísticos	Perdas em relevo plano							
	Sem-fim				Draper			
	PN	PPC	PMI	PTT	PN	PPC	PMI	PTT
kg ha ⁻¹							
Média	0,0	97,4	12,2	105,1	0,0	82,7	19,1	100,7
Mediana	0,0	90,6	5,4	100,3	0,0	89,8	9,6	95,8
Mínimo	0,0	47,2	0,0	41,9	0,0	7,4	0,0	37,7
Máximo	0,0	154,1	76,8	230,8	0,0	149,2	77,8	150,5
Desv. Pad.	0,0	26,3	20,1	44,2	0,0	41,5	22,7	34,6
CV (%)	-	27,0	164,6	42,1	-	50,1	118,5	34,3

Tabela 6. Análise estatística descritiva para o parâmetro perdas de grãos em condição de relevo inclinado, comparando as plataformas do tipo rosca sem-fim e draper

Momentos estatísticos	Perdas em relevo inclinado							
	Sem-fim				Draper			
	PN	PPC	PMI	PTT	PN	PPC	PMI	PTT
kg ha ⁻¹							
Média	0,6	87,1	25,8	108,2	0,0	109,2	18,4	124,5
Mediana	0,0	79,8	12,7	104,6	0,0	96,7	10,7	109,3
Mínimo	0,0	14,8	0,0	15,4	0,0	41,1	0,0	49,0
Máximo	20,3	225,5	120,1	314,5	0,0	215,6	66,6	257,5
Desv. Pad.	3,6	37,1	30,6	54,9	0,0	52,6	21,3	58,4
CV (%)	565,7	42,6	118,3	50,7	-	48,1	115,4	46,9

Em condições de relevo plano a plataforma draper apresenta menores valores de média, mediana, mínimo e máximo de perdas

de plataforma (PPC) ou seja, 82,7, 89,8, 7,4 e 149,2 kg ha⁻¹ respectivamente em comparação às perdas da plataforma de rosca sem-fim, ou

seja, 97,4, 90,6, 47,2 e 154,1 kg ha⁻¹ respectivamente. Também ocorre uma grande diferença entre os valores mínimos obtidos entre as plataformas. O resultado pode indicar a superioridade da plataforma draper em seu desempenho pois mesmo apresentando alto CV, obteve perdas menores em relação ao sem-fim em relevo plano.

Na condição de relevo inclinado ocorre o oposto, o valor médio resultante de PPC no tipo rosca sem-fim é menor que o da draper, assim como os valores de mediana, mínimo, desvio padrão e CV, e mesmo apresentando o menor e o maior valor de perda em comparação à plataforma draper, o valor de CV é menor, indicando maior estabilidade dos valores. A análise de variância demonstra haver interação entre o tipo de plataforma e a condição do

relevo na determinação das percas de plataforma. Ao analisar esta interação identifica-se que a plataforma draper apresenta-se sensível à condição do relevo, com maiores perdas no relevo inclinado, o que é comprovado através do teste de comparação de médias, adotando-se um limite de 10% de probabilidade de erro. Não se tem informações de trabalhos que realizaram a avaliação em situações distintas de relevo. Cortez et al. (2019) também compararam o uso das duas plataformas, porém alteraram a velocidade de deslocamento demonstrando que ela afeta o desempenho das plataformas quanto à perda, sendo que a plataforma de rosca sem-fim apresentou menores perdas em velocidades menores em relação a plataforma draper.

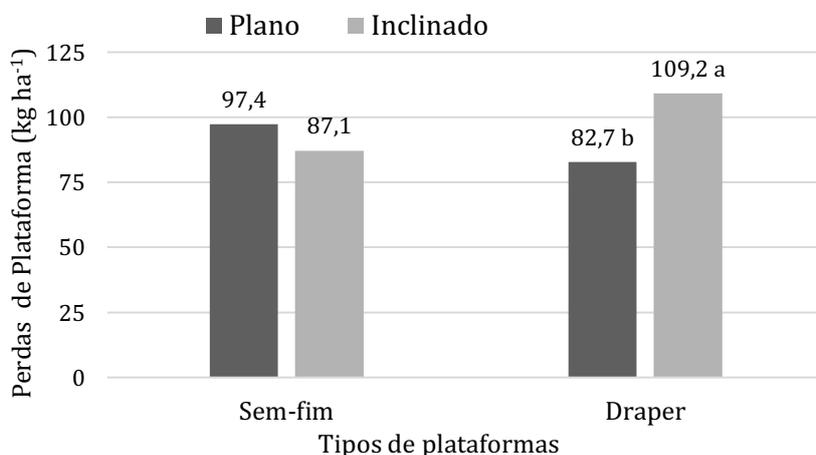
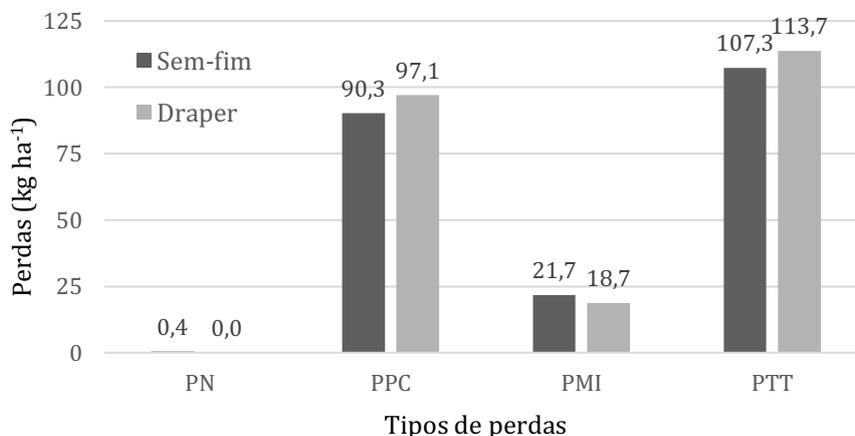


Figura 7. Perdas na plataforma para cada tipo e condição de inclinação.

Ao se tomar todas as amostras, sem realizar a separação em função da condição de campo observa-se que ocorre diferença de apenas 6,8 kg ha⁻¹ nas perdas de plataforma,

com maiores perdas para a plataforma draper. No caso das perdas internas o comportamento foi oposto, porém com diferença de apenas 3 kg ha⁻¹, conforme é apresentado na Figura 8.



Legenda: PN = perda natural, PPC = perda de plataforma de corte, PMI = perda pelos mecanismos internos, e PTT = perda total.

Figura 8. Comparação das médias de perdas para os dois tipos de plataformas.

Os resultados das perdas de plataforma (PPC) representam 84,2 e 85,4% das perdas totais (PTT), nas plataformas de rosca sem-fim e draper, respectivamente, seguidos pelas perdas de mecanismos internos (PMI) com 20,2 e 16,4%, respectivamente e 0,4 e 0,0% de perdas naturais (PN), respectivamente. Os resultados de PPC de ambas as plataformas e o PMI da plataforma draper corroboram com EMBRAPA (1998), já os valores de PN e PMI da plataforma de rosca sem-fim se aproximam aos citados por Schanoski et al. (2011).

No trabalho de Paulsen et al. (2014) no qual realizou-se uma caracterização das perdas de grãos de soja em todo o Brasil, os resultados foram semelhantes, com a maior participação das perdas sendo causadas pelas plataformas, oscilando entre 65 e 95% das perdas totais. Os autores também constataram acréscimo de perdas com redução da umidade dos grãos. Obtiveram, entretanto, menores perdas nas plataformas draper, mas enfatizaram que este efeito estava relacionado à maior umidade dos grãos e que não foram obtidas medidas suficientes para permitir uma comparação adequada. Por outro lado, as perdas totais (PTT) obtidas naquele trabalho oscilaram entre 1,2 e 5,5% da produtividade e as aqui apresentadas entre 0,3 e 6,5%.

De modo geral não ocorreu efeito do tipo de plataforma sobre as perdas, indicando que não há influência do sistema condutor de material equipado nas plataformas, concordando com o estudo de Holtz et al. (2019). O resultado, entretanto, discorda daqueles encontrados na maior parte dos estudos citados que mostram superioridade da plataforma draper em relação a de rosca sem-fim oferecendo menores perdas.

O fato de não terem sido realizados controles de velocidade ou impostas condições de operações distintas podem auxiliar na compreensão do resultado na medida em que os operadores intuitivamente ajustam as colhedoras e o modo de operar para evitar perdas. Nesse sentido a principal contribuição do trabalho é foi demonstrar o comportamento em condição de uso e a importância de levar em consideração as condições do ambiente.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que:

Os métodos de quantificação de perdas direto e indireto não apresentaram diferenças

quantitativas significativas e apresentaram-se altamente correlacionados, indicando que ambos são válidos para uso em campo.

A análise das perdas não apresentou diferenças significativas quanto ao tipo de plataforma ao analisar a média geral, porém os valores médios das perdas foram superiores ao limite aceitável estipulado pela EMBRAPA. Houve, entretanto, desempenho distinto da plataforma draper em função do relevo.

A colheita em condições de menor umidade dos grãos aumentou 28,6% das perdas de plataforma.

Ficou demonstrada a importância de levar-se em consideração a inclinação do terreno e a umidade dos grãos em estudos visando comparar perdas de plataforma na colheita de soja.

Referências

- ALVARES, C. A. STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- APROSOJA. Estimativa de Safra 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <http://aprosojabrasil.com.br>. Acesso em: 07 de junho de 2020.
- BALASTREIRE, L. A. Máquinas agrícolas. São Paulo, Editora Manole Ltda., 1987. 310p.
- CAMPOS, M. A. O.; SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A.; MESQUITA, H. C. B.; ZABANI, S. Perdas na colheita mecanizada de soja no estado de Minas Gerais. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.1, p.207-213, 2005.
- CARVALHO, T. C. DE; NOVENBRE, A. D. DA L. C. Qualidade de sementes de soja colhidas de forma manual e mecânica com diferentes teores de água. *Ciências Agrárias*, v.33, n.1, p.155-166, 2012.
- CORTEZ, J. W.; SYRIO, M. G.; RODRIGUES, S. A. Types of header, operating speed, and geometry of collection frames on the total losses of soybean harvest. *Engenharia Agrícola*, v.39, p.482-489, 2019.
- CUNHA, J. P. A. R.; ZANDBERGEN, H. P. Perdas na colheita mecanizada da soja na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. *Biosci. Journal*, v.23, n.4, p.61-66, 2007.
- DALL'AGNOL, A.; LAZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. Desenvolvimento, mercado, rentabilidade da soja brasileira. EMBRAPA Soja. Circular Técnica 74. Londrina, 2010. Disponível em:

- <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 2 de abril de 2020.
- EMBRAPA. Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil. Recomendações Técnicas, 1998. 182p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 3 de abril de 2020.
- EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja - Paraná 2003. Sistemas de Produção 2. 2002. 198p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 31 de março de 2020.
- FRANÇA NETO, J. DE B. et al. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Documentos 380. Londrina. Disponível em: <http://www.embrapa.br>. Acesso em: 6 abr. 2020.
- GOBBI, F. T.; ZANDONADI, R. S.; PINTO, F. DE A. DE C. Desempenho de colhedoras de grãos utilizando plataforma de corte com condutor helicoidal e esteira transportadora. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43, 2014, Campo Grande. Anais... Campo Grande, 2014.
- HOLTZ, V.; GRELLMANN, D. H.; AZEVEDO, R. O.; KOESTER, B. E. G.; JARDIM, C. C. S.; MASSOLA, M. P.; REIS, R. G. E. Perdas na colheita mecanizada de soja utilizando diferentes mecanismos na plataforma de corte. Pubvet, v.13, n.2, p.1-6, 2019.
- HUMMEL, J. W. Reducing seed harvest losses. Urbana-Champaign, 1985. Disponível em: <http://ir.library.msstate.edu>. Acesso em: 26 de abril de 2020.
- ISO. International Organization for Standardization. Equipment for harvesting - Combine harvester componente parts. ISO 5702:1983. 1983. Disponível em: <https://www.iso.org>. Acesso em: 6 maio de 2020.
- JOHN DEERE. Colheitadeiras Série S. Horizontina, 2019. Disponível em: <https://www.deere.com.br>. Acesso em: 6 abril de 2020.
- MACHADO, T. A.; SANTOS, F. L.; CUNHA, J. P. B.; CUNHA, D. A.; COELHO, L. M. Perdas na plataforma de corte de uma colhedora combinada de grãos na colheita de soja. Engenharia na Agricultura, v.20, n.6, p.537-543, 2012.
- MAGALHÃES, S. C.; OLIVEIRA, B. C.; TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P. Perdas quantitativas na colheita mecanizada de soja em diferentes condições operacionais de duas colhedoras. Bioscience Journal, v.25, n.5, p.43-48, 2009.
- MAURINA, A. C. Perdas na colheita mecanizada da soja - Safra 2004/2005. EMATER-Paraná e EMBRAPA-Soja. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://emater.pr.gov.br>. Acesso em: 26 de dezembro de 2019.
- MESQUITA, C. DE M.; GAUDÊNCIO, C. DE A. Medidor de perdas na colheita de soja e trigo. Comunicado Técnico, v.1, n.15, p.1-8, 1982. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.
- MIU, P. Combine Harvesters: Theory, Modeling, and Design. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. Disponível em: <http://books.google.com.br>. Acesso em: 7 de maio de 2020.
- NEW HOLLAND. New Holland CR9000 Series twin rotor, combines and headers. 2009. Disponível em: <http://newhollandrochester.com>. Acesso em: 9 de abril de 2020.
- NEW HOLLAND. Plataforma SuperFlex. 2019. Disponível em: <http://agriculture.newholland.com>. Acesso em: 20 de maio de 2020.
- NIETIEDT, G. H.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, V. Draper HiFlex. Cultivar Máquinas, n.106, p.26-30, 2011. Disponível em: <http://grupocultivar.com.br>. Acesso em: 30 de abril de 2020.
- PAULSEN, M. R.; PINTO, F. D. A. D. C.; DE SENA, D. G.; ZANDONADI, R. S.; RUFFATO, S.; COSTA, A. G.; RAGAGNIN, V. A.; DANAIO, M. G. C. Measurement of combine losses for corn and soybeans in Brazil. Applied Engineering in Agriculture, v.30, n.6, p.841-855, 2014.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Umidade do Ar. In: Meteorologia Agrícola. 1. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. p.46-52.
- PEREIRA FILHO, W. J.; COMPAGNON, A. M.; VENTURA, G. S.; PIMENTA NETO, A. M.; SANTOS, M. L.; CINTRA, P. H. M. Perdas na colheita mecanizada de soja sob duas velocidades de avanço da colhedora. In: Congresso Estadual de Iniciação Científica e Tecnológica do Instituto Federal Goiano, 2020, Urutaí. Anais... Urutaí, 2017.
- ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. 1 ed. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. Disponível em: <http://infraestruturameioambiente.sp.gov.br>. Acesso em: 8 de abril de 2020.
- SAUERWEIN, C. T.; LOHRENTZ, R. Combine harvester draper header with floor pan rearward of central draper. Titular: AGCO Corporation. EUA. US 8438824 B2. Depósito 27

de junho de 2012. Concessão: 14 de maio de 2013. Disponível em:

patentimages.storage.googleapis.com. Acesso em: 6 de maio de 2020.

SCHANOSKI, R.; RIGHI, E. Z.; WERNER, V. Perdas na colheita mecanizada de soja (*Glycine max*) no município de Maripá - PR. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.11, p.1206-1211, 2011.

SILVEIRA, G. M. DA. As Máquinas para colheita e transporte. São Paulo: Editora Globo, 1990. 183p.

STRASSER, A. Configuração aplicada a/em plataforma agrícola para cereais em geral. Titular: GTS do Brasil Ltda. Procurador: Valor Propriedade Intelectual S/S LTDA. BR 302016000376-9F. Depósito: 3 de fevereiro de

2016. Concessão: 13 de junho de 2017. Disponível em: <http://gru.inpi.gov.br>. Acesso em: 6 de maio de 2020.

TERASAWA, J. M. et al. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Bragantia*, v.68, n.3, p.765-773, 2009.

VIOLA, M. Colheita mecanizada de soja: perdas e desempenho de colhedoras. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal do Mato Grosso. Sinop, 2016.

WIKIPÉDIA. Taquarituba. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org>. Acesso em: 26 de junho de 2020a.

WIKIPÉDIA. Coronel Macedo. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org>. Acesso em: 26 de junho de 2020b.

Capítulo 2

RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E MEDIDAS DE pH E CE DO EXTRATO AQUOSO PARA DOIS TIPOS DE SOLOS

Leandro Maria Gimenez¹
Victor de Oliveira Martins²

¹Dr. Prof., ESALQ-USP, Piracicaba - SP, lmgimenez@yahoo.com

²Graduando em Eng. Agrônômica, ESALQ-USP, Piracicaba - SP, victor.oliveira.martins@usp.br

Introdução

O uso de corretivos de solos constitui prática essencial para o cultivo econômico das áreas agrícolas em ambiente tropical, já que estes solos são altamente intemperizados (FONTES & CAMARGO; SPOSITO, 2001), apresentando lixiviação de nutrientes solúveis como cálcio, magnésio, potássio e outros, diminuição do pH e consequente liberação de íons alumínio na solução, que são tóxicos às plantas, causando inibição do crescimento das raízes (ECHART & MOLINA, 2001).

Sempre que o pH do solo é baixo, há um desbalanço na disponibilidade dos nutrientes na solução do solo, havendo alta concentração de alguns e baixa de outros, causando desequilíbrio nutricional na planta (MALAVOLTA et al., 1989). Além disso, o cálcio (Ca) é nutriente essencial para o desenvolvimento do sistema radicular, e sua falta também pode prejudicar o crescimento das culturas, podendo, junto com o alumínio em solução, conduzir à deficiência mineral e estresse hídrico da planta (INSTITUTO POTASSA & FOSFATO, 1998).

Segundo Instituto Potassa & Fosfato (1998) e van Raij (2011), a prática da calagem permite aumentar o pH do solo, resultando em redução do alumínio tóxico as plantas, aumento da Capacidade de Trocas Catiônicas (CTC), e reposição do cálcio e o magnésio (Mg), além de melhorar aspectos físicos e biológicos do solo, tornando-o, portanto, mais apto a produzir.

O monitoramento da concentração de nutrientes no solo constitui uma das principais ferramentas no manejo da nutrição das plantas e é comumente realizado com base em análises químicas do solo a partir de amostragens do mesmo (BRANDÃO et al., 2012).

A necessidade de calagem (NC) pode ser calculada de várias formas, e geralmente há

maneiras específicas de determiná-las em cada estado ou região do país, conforme os respectivos boletins e tabelas de recomendação (SANTOS et al., 2008). Segundo Alvarez e Ribeiro (1999) e van Raij et al. (1996), a NC é obtida por dois métodos já consolidados para os estados de Minas Gerais e São Paulo, respectivamente: Neutralização do Al e elevação dos teores de Ca e Mg, e Saturação por bases.

O método da Neutralização do Al e elevação dos teores de Ca e Mg considera ao mesmo tempo características do solo e exigências das culturas. Procura-se, por um lado, corrigir a acidez do solo e para isto leva-se em conta a susceptibilidade, ou a tolerância, da cultura à elevada acidez trocável considerando a máxima saturação por Al tolerada pela cultura, e a capacidade tampão do solo, resistência que o solo apresenta quanto às mudanças de pH. E por outro lado, se quer elevar a disponibilidade de Ca e de Mg de acordo com as exigências das culturas nestes nutrientes, sendo, estas exigências e tolerâncias preconizadas em tabelas (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999; van RAIJ et al., 1996).

Já o método de Saturação por bases considera a relação existente entre o pH e a saturação por bases (V%), que é definida pela soma de bases, soma dos cátions trocáveis (Ca, Mg, K e Na) dividido pela CTC. Ao atingir determinado valor de saturação por bases através da calagem, concomitantemente, devido a relação entre os atributos, a acidez do solo é corrigida até determinado pH, considerado adequado para a cultura (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999; van RAIJ et al., 1996).

Para contemplar a variabilidade espacial das áreas, é preciso efetuar uma amostragem em alta densidade, que consiste em grande quantidade de pontos de coletas das amostras,

sendo estes georrefenciados, para posterior geração de mapas. Entretanto, a amostragem de solo, além de ter o inconveniente de destruir a estrutura do mesmo, é trabalhosa e demorada em sua execução e pode apresentar um elevado custo em quantidades elevadas (SANCHES, 2015).

Uma alternativa às análises convencionais é o uso de transdutores que permitem quantificar de modo seletivo ou não, a concentração de íons na solução do solo (MACHADO et al., 2004). Outra possibilidade é o emprego de estratégias de caracterização de parâmetros que se relacionam com a propriedade de interesse (SANCHES, 2015).

A condutividade elétrica aparente (CEa) do solo, é um destes parâmetros e depende em larga escala da solução eletrolítica do solo (CASTRO, 2004). Diversos estudos realizados com o uso da CEa têm apontado seu potencial para a mensuração de conteúdo de água, conteúdo de argila, capacidade de troca catiônica e teores de cálcio e magnésio trocáveis, profundidade de camada de impedimento, teor de matéria orgânica, teor de sais da solução do solo, dentre outros (MOLIN et al., 2005).

A condutividade elétrica (CE) é a habilidade que um material tem em transmitir (conduzir) corrente elétrica. Trata-se de uma propriedade intrínseca de materiais, como densidade ou porosidade. No âmbito agrícola, a CE representa fundamentalmente a transmitância elétrica da solução do solo, e pode ser obtida em laboratório com a pasta de saturação ou com extratos aquosos de solo (MACHADO et al., 2006).

Comumente confundida com a CE, a CEa do solo, é determinada sem alterar suas condições físicas, e pode ser entendida definindo os vários componentes do solo e seus efeitos, como a porosidade, conteúdo de água, orientação e distribuição do tamanho das partículas, capacidade de trocas de cátions, força iônica, composição catiônica e temperatura (FRIEDMAN, 2005). Estes componentes contribuem para a condutividade global do solo, denominada condutividade elétrica aparente do solo, integrando as participações dos componentes (GIMENEZ, 2013).

A condutividade elétrica aparente do solo é obtida por sensores em campo de modo

automatizado com elevada densidade amostral e com o mínimo distúrbio, portanto com alta resolução e baixo custo (BRANDÃO et al., 2012).

Segundo Carmo e Silva (2016), mudanças da disponibilidade de íons e sais no solo podem afetar sua condutividade elétrica, o que permite inferir que, a condução de corrente elétrica ocorre de acordo com a disponibilidade e a concentração de sais e íons associados às fases sólida e líquida do solo.

Com a prática da calagem, há aumento da concentração de íons e sais, como consequência da dose de corretivo aplicada, e da magnitude dos efeitos da calagem sobre os processos do solo que regulam a disponibilidade de nutrientes (CARMO & SILVA, 2016).

Considerando as limitações na caracterização detalhada do solo através de amostragens e a disponibilidade de sensores, este trabalho tem como objetivo verificar a relação entre a condutividade elétrica aparente (CEa) e a condutividade elétrica do extrato aquoso (CE) e o pH do solo, e verificar como as fontes de calcário e solos com características contrastantes influem na relação.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em ambiente protegido, inserido em um prédio do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ – USP, município de Piracicaba/SP, possibilitando obter uma menor variação de temperatura e um controle preciso da quantidade de água adicionada. As unidades experimentais foram compostas por copos de acrílico de 400 mL.

Foram coletadas amostras do horizonte subsuperficial, na camada entre 0,2 e 0,4 m de um Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico (NVd) localizado na Fazenda Areão, município de Piracicaba/SP, coordenadas geográficas de 22°41'33" S 47°38'37" O; e de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd) localizado em área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ - USP, município de Piracicaba/SP, coordenadas geográficas de 22°42'53" S 47°36'50" O, com características granulométricas distintas. Na Tabela 1 são apresentados resultados analíticos das amostras coletadas.

Tabela 1. Propriedades químicas e teor de argila dos solos coletados

Solo	pH	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	S	K	Ca	Mg	H +		SB	CTC	V	M	Argila %	
								Al	Al						
														mmolc.dm ⁻³	
NVd	4,4	25	4	9	1,3	12	7	9	79	20,3	99,3	20	31	61,4	
PVAd	4,2	7	< 3	9	< 0,9	< 1	1	6	26	2,1	28,1	7	74	12,7	

Legenda: pH (CaCl₂). M.O. - Matéria Orgânica (colorimétrica); P, K, Ca e Mg (resina); S (fosfato de cálcio 0,01 mol.L⁻¹); Al (KCl 1 mol.L⁻¹); H+Al (SMP); SB - Soma de Bases; CTC -Capacidade de Troca de Cátions; V% - Saturação por Bases; M% - Saturação por Alumínio; Argila (com dispersante).

Os solos foram peneirados, secos ao ar e homogêneos para obter TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) segundo Camargo et al. (2009). As propriedades físicas porosidade total e densidade foram caracterizadas através de duas amostras indeformadas coletadas com cilindros metálicos na mesma camada em cada solo. Obteve-se a densidade de 1,3 g.cm⁻³ para o NVd com porosidade total de 40%, enquanto que para o PVAd a densidade obtida foi de 1,5 g.cm⁻³ com porosidade total de 30%.

As doses de calcário foram estabelecidas através do método da saturação por bases, visando elevar a mesma a 80% em uma camada com 0,2 m de espessura, independentemente do tipo de solo ou calcário. Valores relativos a este patamar foram também utilizados, de modo a obter os níveis 0, 0,5, 1, 1,5 e 2. Duas fontes de calcário foram utilizadas (Tabela 2) a fim de avaliar o efeito das mesmas, a principal diferença entre elas era o teor de Óxido de Magnésio (MgO).

Tabela 2. Propriedades químicas e físicas dos calcários utilizados

Calcário	CaO	MgO	RE	PN	PRNT
Calcítico	50,62	4,43	96,67	100,9	97,54
Dolomítico	42,34	12,9	97,61	105,7	103,17

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com dois solos, duas fontes, e cinco níveis, resultando em 80 unidades experimentais para cada momento de mensuração. Houveram 5 momentos ao longo de 60 dias, totalizando 400 unidades experimentais (Figura 1), havendo, portanto, 4 repetições. No preparo das unidades

experimentais as combinações de produtos e solos (Tabela 3) foram misturadas para obter uma distribuição homogênea e acondicionadas nos copos de acrílico com o fundo perfurado, preenchendo um volume de 350 mL, de forma que a densidade fosse semelhante àquela original, do solo em campo, conforme realizado por Casaroli e van Lier (2008).

Tabela 3. Doses dos calcários para obter os níveis desejados nas combinações de solos e fontes

PVAd x Calcítico	0	0,5	1*	1,5	2
Ton/ha	0,00	1,05	2,10	3,15	4,21
g/copo	0,00	0,19	0,37	0,56	0,74
PVAd x Dolomítico	0	0,5	1*	1,5	2
Ton/ha	0,00	0,99	1,99	2,98	3,98
g/copo	0,00	0,18	0,35	0,53	0,70
NVd x Calcítico	0	0,5	1*	1,5	2
Ton/ha	0,00	3,05	6,11	9,16	12,22
g/copo	0,00	0,54	1,07	1,61	2,14
NVd x Dolomítico	0	0,5	1*	1,5	2
Ton/ha	0,00	2,89	5,77	8,66	11,55
g/copo	0,00	0,51	1,01	1,52	2,02

Notas: *Nível 1 corresponde à elevação da saturação por bases a 80%.

As unidades experimentais foram saturadas com água deionizada, com condutividade elétrica igual à $0,2 \text{ mS.m}^{-1}$. Dois dias antes de cada momento de mensuração se realizou nova saturação, para que no momento das leituras o solo estivesse aproximadamente

na capacidade de campo. O intervalo entre os momentos foi de 12 dias. Em cada momento foram mensurados de cada copo a CEa, a Condutividade Elétrica do extrato aquoso (CE), o pH em água e a umidade.



Figura 1. Unidades experimentais cobertas com tampão poroso para evitar evaporação excessiva, após instalação.

As mensurações da CEa foram realizadas por meio de um arranjo de eletrodos confeccionados com hastes de cobre, conforme apresentado por Gimenez (2013). O método permite, através da criação de um coeficiente de célula, obter valores de condutividade elétrica a partir da mensuração da resistência elétrica em um recipiente com dimensões padronizadas. O coeficiente de célula foi obtido através do uso de 20 soluções padrão com concentrações

conhecidas que variaram entre $0,2 \text{ mS.m}^{-1}$ e 66 mS.m^{-1} depositadas nos copos, perfazendo quatro repetições para cada condutividade elétrica, sendo que, metade dos dados coletados foi utilizada para gerar o coeficiente e metade para produzir a regressão (GIMENEZ, 2013)

Através do coeficiente de célula foi possível obter uma estimativa da CEa que conforme a Figura 2 apresenta boa relação com os valores reais das amostras.

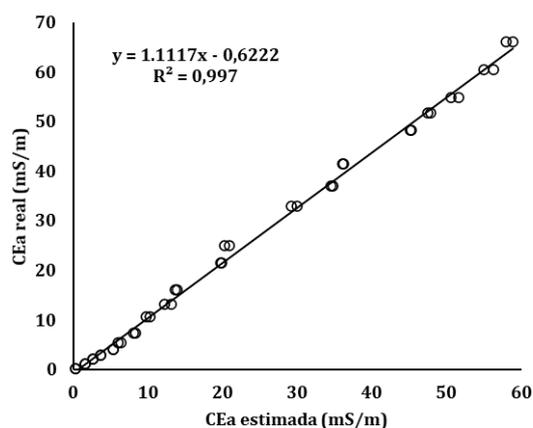
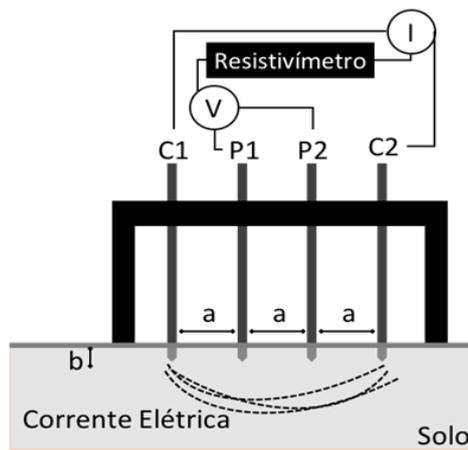


Figura 2. Relação entre os valores de condutividade elétrica das soluções padrão utilizadas e aqueles preditos através do coeficiente geométrico.

Para a mensuração da resistência elétrica utilizou-se o resistivímetro modelo 1625, do fabricante Fluke que mensura a resistência elétrica sobre a unidade

experimental através do método das quatro pontas (Figuras 3 e 4), descrito em Modena e Sueta (2011) e Gimenez (2013).



$$R \text{ (Ohm)} = \frac{V \text{ (Volt)}}{I \text{ (Ampere)}}$$

$$\rho = \frac{4\pi a R}{n} \quad \sigma = \frac{1}{\rho}$$

R = Resistência elétrica, Ohm
 ρ = Resistividade elétrica, Ohm m
 a = distância entre eletrodos
 b = Profundidade do eletrodo
 n = relação b/a
 σ = Condutividade elétrica, mS m⁻¹

Figura 3. Esquema representativo da mensuração da resistência elétrica pelo método de quatro pontas e cálculo da CEa. Adaptado de: Gimenez (2013).

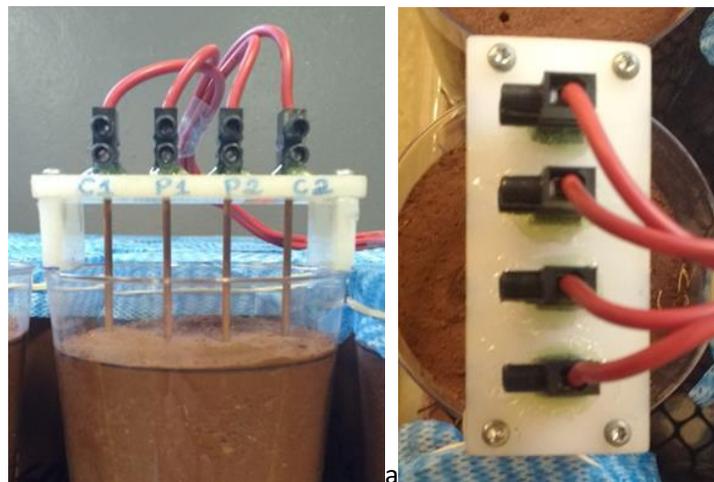


Figura 4. (a) Vista frontal; (b) Vista superior do arranjo de eletrodos.

Na Figura 5 é possível observar a técnica de mensuração da resistência elétrica nas unidades experimentais através da qual foi possível obter a CEa de cada unidade experimental pela razão entre os valores de resistência e o do coeficiente de célula. Destaca-se na Figura 6 a mínima deformação do solo ocasionada pela mensuração. Os valores de

resistência mensurados foram corrigidos para a temperatura de 25°C utilizando a equação apresentada por Corwin e Lesh (2005). A mensuração da temperatura foi realizada através de um termômetro de contato inserido nas amostras logo após a mensuração da resistência elétrica.



Figura 5. Resistivímetro e arranjo de eletrodos no momento da mensuração de CEa.



Figura 6. Vista superior das unidades experimentais de (a) solo arenoso (PVA); e (b) solo argiloso (NVd), após mensuração de CEa.

Antes das unidades experimentais serem destruídas para as outras determinações, os mesmos foram pesados para se obter a umidade por diferença de peso. As mensurações de CE foram obtidas por um condutivímetro de bancada, da marca AJMICRONAL, modelo AJX-515. Foram retiradas amostras das unidades, às

quais eram adicionadas água deionizada na relação 1:2 para obter-se o extrato aquoso. Estas soluções foram deixadas em repouso por 12 horas e então realizadas as mensurações (Figura 7), conforme metodologia descrita por Souza et al. (2013) e EMBRAPA (2017).



Figura 7. (a) Condutivímetro de bancada realizando mensuração de CE; (b) pHmetro de bancada realizando determinação de pH.

A decisão de mensurar o pH do solo foi influenciada pelo fato de que este atributo é crescente durante quase todo o tempo de reação do calcário, conforme demonstrado por Ronquim (2010) e Amaral e Anghinoni (2001). Enquanto outros atributos como CTC, Ca e Mg se tornariam lineares após pouco tempo de reação (AMARAL & ANGHINONI, 2001). Além disso os métodos analíticos utilizados nas análises de rotina poderiam mascarar os resultados na medida em que o próprio procedimento provoca a reação do calcário.

As mensurações de pH foram obtidas por um pHmetro de bancada da marca TECNAL, modelo TEC-7. As amostras foram retiradas dos copos, solubilizadas em água deionizada na relação 1:2,5, deixadas em repouso por 1 hora e

então realizada as mensurações (Figura 7), conforme descrito por EMBRAPA (2017).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância para avaliar o efeito das doses, fontes, solos e de cada momento sobre os valores de CEa, CE e pH. Quando ocorreu efeito da causa de variação procedeu-se ao teste de Tukey com probabilidade de erro de 5%. Utilizou-se a extensão RStudio do pacote R para as análises. Análises de regressão entre a CEa e CE e pH e os níveis dos calcários foram realizadas utilizando o software Excel.

Resultados e Discussão

As determinações de umidade demonstram resultados similares nos diferentes momentos, oscilando pouco ao longo

do experimento. Dentre os atributos estudados, segundo Castro (2004), a CEa é o único dependente da umidade, entretanto, no presente experimento, houve alta variabilidade da CEa e pequena variação da umidade (Figura 8), o que demonstra a influência dos tratamentos.

Os valores obtidos pelas mensurações de CEa, CE e pH ao longo do tempo estão demonstradas através da média aritmética dos valores obtidos em cada momento, segundo cada solo e fonte, conforme apresentado nas Figuras 9 e 10.

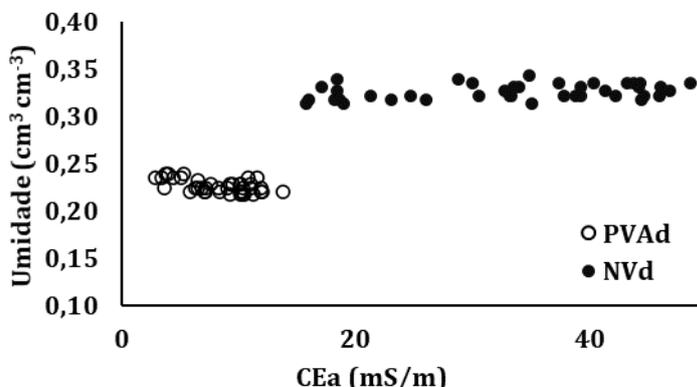


Figura 8. Umidade mensurada no momento 3 em relação a CEa para os dois tipos de solo.

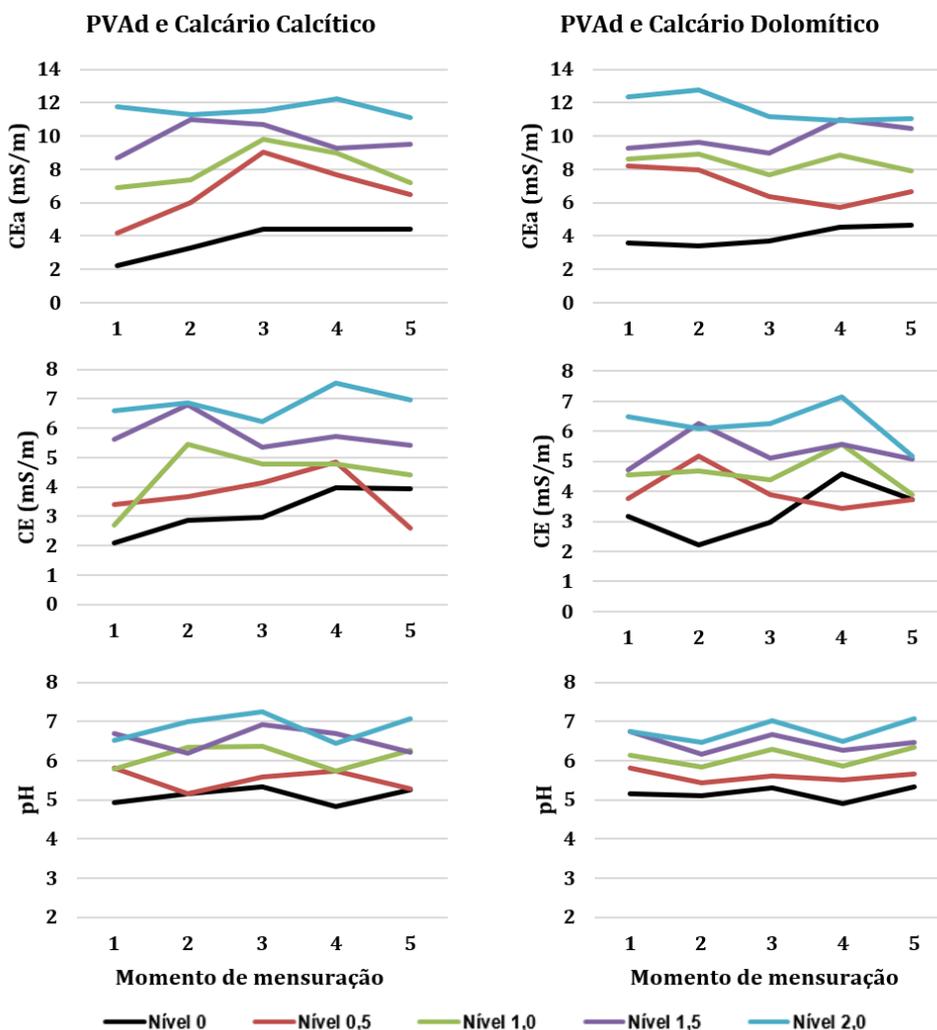


Figura 9. Média dos valores mensurados de CEa, CE e pH ao longo do tempo para o solo PVAd e os calcários calcítico e dolomítico, sob os diferentes níveis dos calcários.

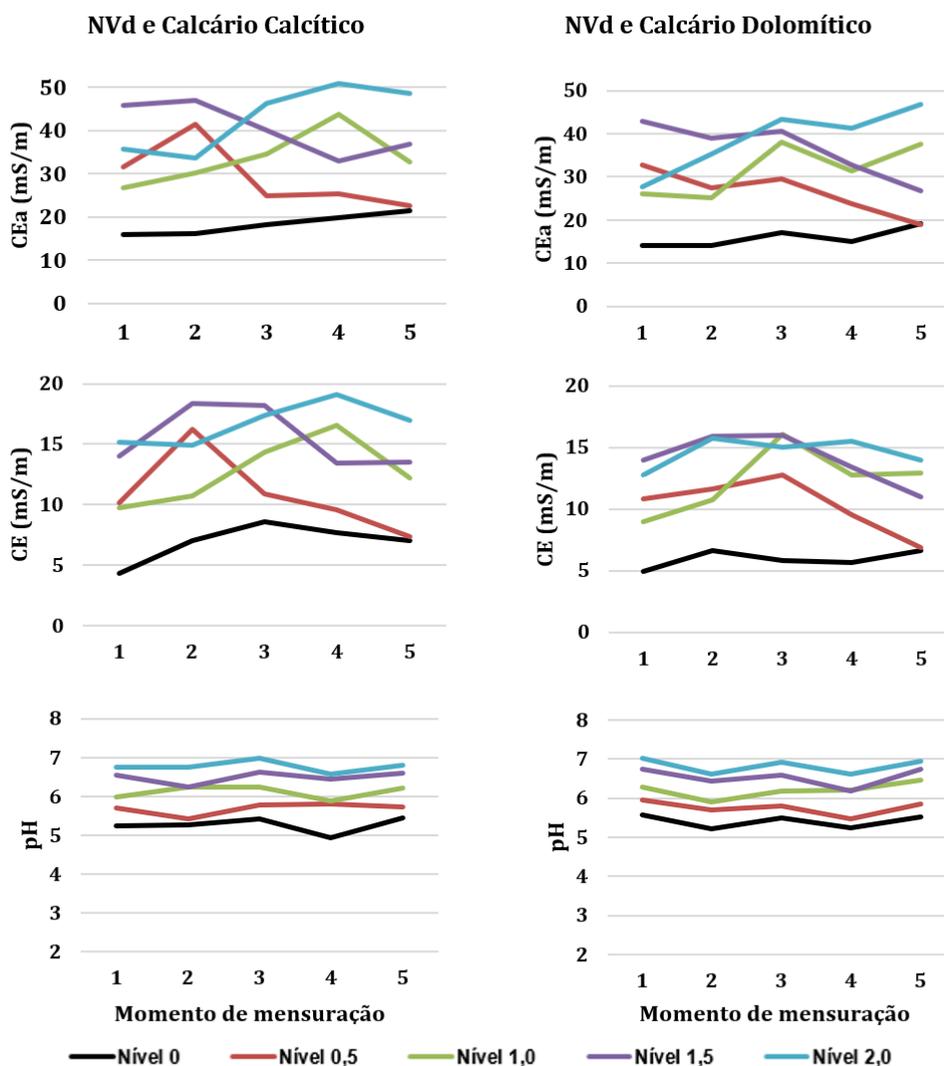


Figura 10. Média dos valores mensurados de CECa, CE e pH ao longo do tempo para o solo NVD e os calcários calcítico e dolomítico, sob os diferentes níveis dos calcários.

Segundo Instituto Potassa & Fosfato (1998), a velocidade da reação do calcário depende do tamanho das partículas do material, do pH inicial e do grau de mistura no solo, associado à disponibilidade de água. Considerando que os dois calcários utilizados possuem alta reatividade (Tabela 2), foram misturados homogeneamente ao solo já peneirado, fornecendo grande superfície de contato, que se manteve úmido por todo o período de incubação, constata-se que a reação dos calcários no solo ocorreu de forma rápida em todos os níveis, de modo que logo ao primeiro momento de mensurações os resultados obtidos já são consideravelmente elevados, não sendo possível acompanhar a

reação desde o ponto inicial. Fato que pode ser evidenciado nas Figuras 9 e 10 e Tabela 4, ao observar que no primeiro momento de mensurações, todos os níveis apresentam acréscimos de valores proporcionais à dose de calcário utilizada.

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias dos valores mensurados para os atributos em estudo para o momento 1 e 5, em cada solo e calcário. Os resultados obtidos pela análise de variância e o teste de Tukey estão representados pelos seus respectivos valores p para cada variável nas Tabelas 5 e 6. Os resultados obtidos pela análise de regressão entre os atributos estudados são demonstrados na Tabela 7.

Tabela 4. Média dos valores mensurados de CEa, CE e pH ao momento 1 (M1) e 5 (M5) para os solos PVAd e NVd e os calcários calcítico e dolomítico sob os diferentes níveis dos calcários

PVAd x Calcítico	Médias					
	CEa (mS/m)		CE (mS/m)		pH	
	M1	M5	M1	M5	M1	M5
Nível 0	2,25	4,42	2,07	3,95	4,93	5,26
Nível 0,5	4,18	6,51	3,40	2,58	5,27	5,80
Nível 1,0	6,90	7,17	4,40	2,70	5,78	6,27
Nível 1,5	8,65	9,51	5,61	5,42	6,21	6,70
Nível 2,0	11,13	11,78	6,97	6,60	6,51	7,08
PVAd x Dolomítico						
Nível 0	3,59	4,66	3,17	3,72	5,16	5,33
Nível 0,5	6,64	8,19	3,73	3,75	5,67	5,80
Nível 1,0	8,62	7,88	4,55	3,89	6,14	6,33
Nível 1,5	10,43	9,26	5,06	4,70	6,47	6,74
Nível 2,0	12,32	11,05	6,48	5,18	6,75	7,08
NVd x Calcítico						
Nível 0	15,81	21,47	4,31	6,99	5,25	5,44
Nível 0,5	22,68	31,64	7,34	10,11	5,72	5,71
Nível 1,0	26,69	32,69	9,77	12,20	5,99	6,21
Nível 1,5	36,84	45,87	13,55	14,00	6,60	6,56
Nível 2,0	35,81	48,67	15,14	16,97	6,74	6,81
NVd x Dolomítico						
Nível 0	13,99	19,09	4,92	6,62	5,58	5,51
Nível 0,5	18,95	32,76	6,85	10,84	5,96	5,84
Nível 1,0	26,07	37,69	8,97	12,91	6,45	6,27
Nível 1,5	26,66	42,85	10,98	13,93	6,74	6,73
Nível 2,0	27,71	46,73	12,72	13,96	6,94	7,02

É possível observar na Tabela 5 que ocorreu diferença entre os momentos de mensurações, portanto, houve diferença entre os valores obtidos para todos os atributos ao longo do tempo. Em contrapartida, na Tabela 6 é possível observar que no início do período do experimento, entre os momentos 1 e 2, a diferença não é significativa para os atributos CEa e pH, e que ao fim do experimento, para o atributo CEa, principalmente, também não ocorre diferença significativa entre os momentos 3 e 4, 3 e 5, e 4 e 5, podendo ser atribuído ao rápido início da reação, que resulta

em uma pequena saturação da mesma, entre a metade e o fim do experimento. Os diferentes níveis dos calcários em cada solo influenciam os atributos em estudo, como pôde ser visualizado nas Figuras 9, 10 e na Tabela 4. Estas diferenças estão apresentadas como significativas na Tabela 5, para os atributos CEa, CE e pH, ou seja, os diferentes níveis causam diferenças crescentes, em sua maioria, e significativas nos valores dos atributos. O único caso apresentado em que essa diferença não se apresenta significativa está entre os níveis 1,5 e 2,0 para o atributo CEa (Tabela 6).

Tabela 5. Valores p obtido pela análise de variância para CEa, CE e pH em função das variáveis nível, fonte, solo e momento de mensurações

	Análise de Variância		
	Valor p		
	CEa	CE	pH
Nível	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Fonte	0,004	0,0041	0,0932
Solo	< 0,0001	< 0,0001	0,0002
Momento	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Tabela 6. Valores P obtido pelo teste de Tukey com probabilidade de erro de 5% para CEa, CE e pH, comparando os tratamentos de níveis dos calcários, fontes de calcário, solos e momentos de mensurações

Resultados do teste de comparação de médias*							
	Valor p				Valor p		
	CEa	CE	pH		CEa	CE	pH
Níveis				Momentos			
0 - 0,5	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M1 - M2	0,5047	0,0248	0,9999
0 - 1,0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M1 - M3	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
0 - 1,5	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M1 - M4	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
0 - 2,0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M1 - M5	< 0,0001	0,0111	< 0,0001
0,5 - 1,0	0,001	0,0008	< 0,0001	M2 - M3	0,0004	0,0077	< 0,0001
0,5 - 1,5	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M2 - M4	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
0,5 - 2,0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M2 - M5	< 0,0001	0,999	< 0,0001
1,0 - 1,5	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M3 - M4	0,5160	0,2032	< 0,0001
1,0 - 2,0	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	M3 - M5	0,5424	0,0177	0,9998
1,5 - 2,0	0,0539	0,0379	< 0,0001	M4 - M5	0,9999	< 0,0001	< 0,0001
Fontes				Solos			
Calcítico x Dolomítico	0,004	0,0041	-	NVd x PVAd	0,0000	< 0,0001	0,0002

* Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Estes níveis se correlacionam com os atributos mensurados (Tabela 7), apresentando maior coeficiente de correlação (R) com o pH, no solo NVd e momento 3 (R=0,99) e em geral (R=0,94), enquanto que, o menor R foi obtido com a CE, no solo PVAd e momento 4 (R=0,61) e em geral (R=0,74). Caires et al. (2002) obteve $R^2=0,99$ entre pH CaCl_2 e diferentes doses de calcário dolomítico para um Latossolo Vermelho distrófico na profundidade de 0,2 a 0,4 m. Com o atributo CEa, o maior valor R obtido foi para o solo NVd no momento 3 (R=0,97), e para o solo PVAd nos momentos 2 e 3 (R=0,97) e em geral (R=0,90).

As duas fontes de calcário influenciam significativamente nos valores dos atributos CEa e CE dentro de um mesmo solo, mas não significativamente para o pH, como demonstrado na Tabela 5. Ainda é possível observar através das Figuras 9, 10 e Tabela 4, que ambas as fontes, dentro de um mesmo solo, elevaram de forma semelhante os valores de pH, como também observado por Rodrighero et al. (2015) que trabalharam com Latossolo Vermelho distrófico, e Neossolo Litólico húmico e os calcários calcítico e dolomítico sob duas diferentes granulometrias.

Quanto às relações entre os atributos em estudo, tratando-se de todos os momentos (geral), Tabela 7, para as relações entre CEa e pH e CEa e CE, os valores de R obtidos para as diferentes fontes dentro do mesmo solo são semelhantes, diferenciando-se no máximo 0,05. Enquanto que, na relação entre pH e CE, para o

solo PVAd ocorre diferença de 0,14 entre os valores de R para as diferentes fontes e de 0,08 para o solo NVd, sendo em ambos os casos, o calcário calcítico que apresenta maior valor de R.

Para os solos, por apresentarem granulometria distintas, os valores de CEa e CE obtidos em cada um deles também são distintos, sendo que, os valores de CE para o solo PVAd variam de 1,53 a 9,21 mSm^{-1} , enquanto que, para o solo NVd os valores variam de 3,76 a 22,50 mSm^{-1} . Já os valores de CEa para o solo PVAd são de 1,22 a 14,50 mSm^{-1} e para o solo NVd são de 11,50 a 54,65 mSm^{-1} . Molin e Rabello (2011) obtiveram valores de CEa de 1,5 a 12,5 mSm^{-1} para a profundidade de 0,3 a 0,9 m sobre um Argissolo Vermelho Amarelo, e Brandão et al. (2012) mensurou valores de CEa de 7 a 15,9 mSm^{-1} para a profundidade de 0,3 m e 4,8 a 10,8 mSm^{-1} para a profundidade de 0,9 m de um Latossolo Vermelho Amarelo.

Os valores de CEa obtidos neste experimento para o solo NVd estão acima dos já existentes na literatura, podendo ser devido à alta umidade que este solo foi conduzido, conforme apresentado na Figura 9. Em relação ao pH, os valores obtidos em ambos os solos são semelhantes. Quanto às relações entre os atributos estudados, entre CEa e pH o solo PVAd apresenta maiores valores de R de forma geral, em todos os momentos (Tabela 7), enquanto entre CEa e CE, e pH e CE, o solo NVd apresenta os maiores coeficientes.

Tabela 7. Coeficiente de regressão (R) para os atributos em cada momento de mensuração

R - Momento 1						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis*	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,86	0,95	0,85	0,86	0,75	0,93
PVAd x Dolomítico	0,80	0,90	0,71	0,90	0,93	0,86
NVd x Calcítico	0,90	0,85	0,93	0,85	0,94	0,96
NVd x Dolomítico	0,90	0,90	0,93	0,85	0,97	0,94
R - Momento 2						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,87	0,93	0,83	0,94	0,93	0,88
PVAd x Dolomítico	0,90	0,95	0,89	0,97	0,94	0,96
NVd x Calcítico	0,88	0,85	0,87	0,84	0,96	0,92
NVd x Dolomítico	0,88	0,92	0,87	0,91	0,96	0,94
R - Momento 3						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,76	0,84	0,84	0,79	0,97	0,89
PVAd x Dolomítico	0,93	0,95	0,91	0,97	0,98	0,95
NVd x Calcítico	0,97	0,88	0,88	0,97	0,99	0,86
NVd x Dolomítico	0,90	0,88	0,66	0,90	0,99	0,68
R - Momento 4						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,89	0,76	0,74	0,92	0,98	0,75
PVAd x Dolomítico	0,85	0,69	0,41	0,91	0,93	0,61
NVd x Calcítico	0,87	0,91	0,81	0,86	0,98	0,77
NVd x Dolomítico	0,83	0,96	0,72	0,90	0,95	0,81
R - Momento 5						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,90	0,77	0,63	0,92	0,99	0,67
PVAd x Dolomítico	0,78	0,70	0,68	0,82	0,98	0,74
NVd x Calcítico	0,89	0,89	0,93	0,94	0,97	0,94
NVd x Dolomítico	0,92	0,88	0,80	0,94	0,99	0,82
R - Geral**						
	CEa x pH	CEa x CE	pH x CE	CEa x Níveis	pH x Níveis	CE x Níveis
PVAd x Calcítico	0,82	0,83	0,67	0,84	0,86	0,79
PVAd x Dolomítico	0,77	0,78	0,53	0,90	0,91	0,74
NVd x Calcítico	0,71	0,87	0,71	0,79	0,94	0,78
NVd x Dolomítico	0,72	0,88	0,63	0,78	0,93	0,76

Notas: *Níveis dos calcários. **Todos os momentos.

Ao se observar a Tabela 7, nota-se maiores valores de R nas relações dos momentos isolados quando comparado ao geral, no entanto o geral retrata o experimento como um todo. A CEa apresenta expressiva correlação com CE e com pH para todos os casos, o que não se nota ao observar a relação entre pH e CE, que apesar de significativa, não é tão expressiva quanto as relações anteriormente mencionadas. Carmo e Silva (2016) encontraram forte correlação entre CE do extrato aquoso e pH em água em dez diferentes solos para diferentes níveis de calagem, obtendo valores de R^2 que variaram de 0,93 a 0,99, também obtiveram expressiva correlação

da CE com saturação por bases (V%) e teores de Ca e Mg. Sanches et al. (2018) determinaram correlações significativas entre a CEa e pH ($r=0,32$) e outros atributos químicos do solo como potássio (K), Mg e H + Al sobre um Latossolo Vermelho argiloso, e concluíram que através da mensuração da CEa do terreno é possível prever algumas propriedades químicas do solo que podem servir de informações adicionais para a criação de mapas de aplicação de calcário.

Neste trabalho, ao se obter correlação entre CEa e pH, e CEa e CE, demonstrou-se que também é possível prever propriedades químicas do solo através da mensuração da CEa.

Para a recomendação de calagem, pH e CE não são usualmente utilizadas e o atributo mais costumeiramente utilizado é o V%, que apresenta forte correlação com pH, conforme demonstrado por Quaggio (1983), que obteve $R^2=0,94$ e por Nicolodi et al. (2008), que encontraram $R^2=0,96$ para esta relação. Portanto, a mensuração da CEa do solo pode servir como ferramenta auxiliar para tomadas de decisões da necessidade de efetuar a calagem, com potencial para geração de mapas de aplicação de calcário, já que prediz propriedades químicas do solo e pode ser mensurada com alta densidade amostral.

Conclusão

A CEa, assim como a CE e o pH aumentaram em razão do acréscimo dos níveis de calcário e possuem correlações positivas com estes níveis. CEa, CE e pH se apresentaram correlacionadas para os dois solos e as duas fontes analisadas.

As diferentes fontes apresentaram efeito sobre os valores obtidos de CEa e CE e efeitos semelhantes sobre o pH. Em relação às correlações entre os atributos, quando a fonte foi o calcário se obteve maiores coeficientes de correlação.

A predição de propriedades químicas do solo por meio da mensuração de CEa pode auxiliar para tomada de decisões da necessidade de efetuar a calagem contribuindo na obtenção de dados espaciais densamente amostrados visando a de mapas de prescrição.

Referências

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.36, n.4, p.695-702, 2001.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. *Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar*. Embrapa Instrumentação. São Carlos. p.162-167, 2012.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema

plantio direto. *Revista Bras. Ciência do Solo*, v.26, p.1011-1022, 2002.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do instituto agrônomo de Campinas. *Boletim Técnico*, 106. Edição revista e atualizada. Instituto Agrônomo. Campinas, 2009. 77p.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.51, n.10, p.1762-1772, 2016.

CASAROLI, D.; van LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Bras. Ciência do Solo*, v.32, p.59-66, 2008.

CASTRO, C. N. Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas. 131f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.11-45, 2005.

ECHART, C. L.; MOLINA, S. C. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. *Ciência Rural*, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ª ed. revisada e ampliada. Embrapa Solos. Brasília – DF, 2017. 573p.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v.58, n.3, p.627-646, 2001.

FRIEDMAN, S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.46, p.45-70, 2005.

GIMENEZ, L. M. Relação da condutividade elétrica aparente com algumas propriedades físico-hídricas e com a variabilidade espacial dos solos. 120f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

INSTITUTO POTASSA & FOSFATO. Manual internacional de fertilidade do solo. (Trad. e Adap.) LOPES, A. S. 2 ed. rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. eds. *Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto*.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Rio de Janeiro, 2004. 200p.
- MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MODENA, J.; SUETA, H. Medição da resistividade do solo. *Revista O Setor Elétrico. Fascículo Aterramentos Elétricos. Ed. 70, Cap. 11*, 2011.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. *Eng. Agríc.*, v.25, n.2, p.420-426, 2005.
- MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *Eng. Agríc.*, v.31, n.1, p.90-101, 2011.
- NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. *Revista Bras. Ciência do Solo*, v.32, p.1217-1226, 2008.
- QUAGGIO, J. A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos. *Acidez e calagem no Brasil. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo*, 1983, Campinas. *Anais...Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, p.33-48, 1983.
- Van RAIJ, B. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.
- Van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Boletim Técnico nº 100. Instituto Agrônomo. Campinas, 1996. 285p.
- RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. *Revista Bras. Ciência do Solo*, v.39, p.1723-1736, 2015.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA, Campinas, 2010. 26p.
- SANCHES, G. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; REMACRE, A. Z.; FRANCO, H. C. J. Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. *Soil & Tillage Research*, v.175, p.217-225, 2018.
- SANCHES, G. M. Variabilidade espacial dos atributos do solo por meio da condutividade elétrica aparente. 145f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.
- SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Bras. Ciência do Solo*, v.32, p.1661-1674, 2008.
- SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; ALMEIDA, B. G.; MELO, D. V. M. Comparação de métodos de extração da solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.510-517, 2013.

Capítulo 3

BENEFÍCIOS DO LEVANTAMENTO DETALHADO DE SOLOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE RURAL EM RONDONÓPOLIS/MT

Pedro Höfig¹
Glauco Marighella Ferreira da Silva²
Elvio Giasson³

¹MSc. em Ciência do Solo, Catena Planejamento Territorial, pedro@catenaterritorial.com

²Geógrafo, Catena Planejamento Territorial, glauco@catenaterritorial.com

³Dr. Prof. Titular, UFRGS, Porto Alegre, RS, giasson@ufrgs.br

Introdução

No Brasil, a execução de mapeamento de solos em todo o território é uma demanda permanente das instituições de pesquisa e órgãos de planejamento, dado que, quando em escala adequada, é uma importante ferramenta para o planejamento da ocupação racional das terras (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003). Embora apenas uma pequena porção do território brasileiro apresente levantamentos em escalas maiores que 1:50.000, os recursos financeiros destinados à realização de levantamento de solos têm decrescido grandemente (CHAGAS et al., 2011).

Em um levantamento de solos, a densidade de observações é função do maior ou menor grau de heterogeneidade da área de trabalho, da escala final do mapa de solos, dos objetivos do levantamento e da fotointerpretação do material básico, além da experiência de campo e do conhecimento prévio da área por parte da equipe executora. De acordo com o grau de detalhamento, o objetivo e o modo de execução, são diferenciados os seguintes tipos de levantamentos de solos: exploratório, de reconhecimento (de baixa, média e alta intensidade), semidetalhado, detalhado e ultradetalhado (IBGE, 2007).

Os diferentes níveis de detalhes trazem consigo diferentes resultados nas classes de solos e em sua área total no local de estudo. Isso influencia diretamente no valor da terra, que está diretamente relacionado com o aproveitamento permitido e a liberdade de uso que propicia ao proprietário (BARLOWE, 1972; DEMÉTRIO, 2009).

Os levantamentos menos detalhados servem para planejamento de grandes áreas, nesses casos cumprindo bem sua função, embora na maioria dos locais do Brasil sejam os

únicos tipos de levantamentos disponíveis. Para um planejamento em escalas maiores, dever-se-ia utilizar levantamentos pedológicos mais detalhados, com seu uso adequado para uma análise em detalhe voltada a propósitos de planejamento mais específicos (ESPINDOLA, 2008).

Com isso, objetiva-se neste trabalho quantificar as áreas equivalentes referentes a capacidade de uso de cada levantamento de solos, comparando os distintos resultados dos mapas de capacidades de uso através da quantificação da área equivalente.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a Fazenda Brasília, situada no sudeste do estado de Mato Grosso na microrregião de Rondonópolis (Figura 1).

Rondonópolis situa-se em área classificada como clima tropical savânico, Aw, conforme classificação de Köppen (AYOADE, 2003). Apresenta como principal característica uma redução dos totais pluviométricos nos meses de junho, julho e agosto. A média pluviométrica anual é de 1.527mm e temperatura de 24,8°C (CLIMATE-DATA, 2019).

Geomorfologicamente, Rondonópolis está na região dos Planaltos dos Alcantilados – Alto do Araguaia, na unidade de Relevo de Planaltos em Bacias Sedimentares, que tem por característica grandes áreas planas, com hidrografia cavada e bem definida no terreno (MIRANDA & AMORIM, 2000). Por essas características, a Fazenda Brasília tem relevo predominantemente suave a suave ondulado, com poucas áreas com terreno ondulado, apresentando toda a propriedade com altitude entre 430 e 570 metros. A fazenda está localizada no limite do contato entre essa

unidade de relevo e a Planície e Pantanal do Rio Paraguai Mato-grossense, o que reflete na perda

de altitude no sentido Leste-Oeste (RADAMBRASIL, 1983).

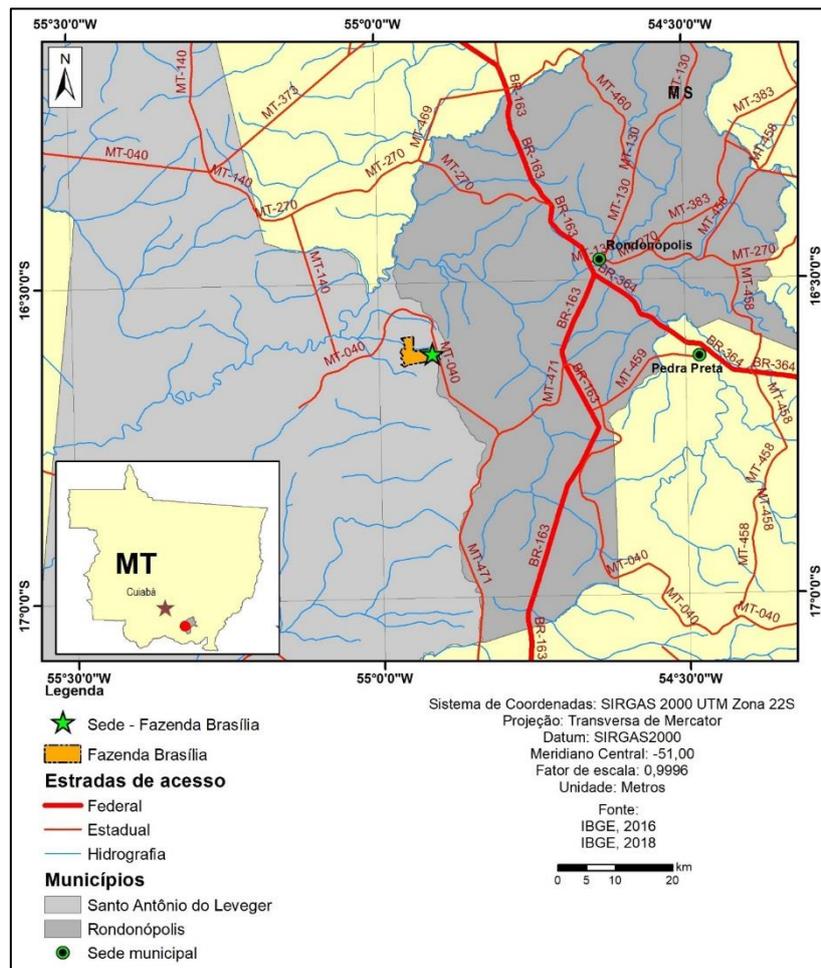


Figura 2. Localização da Fazenda Brasília. Fonte: Adaptado de IBGE (2016; 2018).

Geologicamente, a propriedade está inserida em três formações, sendo caracterizadas pela grande concentração de terrenos areníticos: Formação Alto do Garça, Formação Furnas e Formação Cachoeirinha. No limite oeste da propriedade, na costa de acesso ao pantanal, a formação predominante é a Grupo Cuiabá indivisivo (CPRM, 2014). Segundo o Levantamento Exploratório do RADAMBRASIL (1983), na escala 1:1.000.000, na Fazenda Brasília ocorrem solos Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

A propriedade localiza-se em área de Cerrado (IBGE, 2012), constituído por um rico mosaico de diferentes habitats, que variam entre formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO & WALTER, 2008).

A execução do levantamento detalhado de solos (escala 1:20.000) ocorreu entre os meses de setembro a outubro de 2018, usando metodologia preconizada no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007). Foram utilizados

materiais cartográficos básicos, como o Modelo Digital de Elevação (MDE) Topodata (VALERIANO & ROSSETTI, 2011) e imagens de satélite CBERS-4, para delimitar os limites da propriedade e benfeitorias, além localizar de pontos de referência na área de estudo. Com isso, passou-se ao reconhecimento da área de trabalho e à prospecção do terreno. Após, buscou-se reconhecer, sobre este material cartográfico, todos os tipos de combinações ambientais que ocorrem na propriedade e todos os tipos de solos descritos em RADAMBRASIL (1983), permitindo o uso das informações secundárias já existentes para o planejamento do trabalho de campo.

Posteriormente, foram feitas incursões ao campo para identificação das classes de solos ocorrentes, bem como estabelecimento de uma legenda preliminar de unidades de mapeamento de solos, bem como sua delimitação e descrição através de tradagens. Na medida em que avançaram os trabalhos de campo, foi feita uma contínua atualização da

legenda preliminar, seja incluindo ou excluindo unidades de mapeamento. Durante as atividades de campo foram feitas correlações dos solos com geologia e provável material de origem, cobertura vegetal, topografia e declividade, tendo sido registrados, aproximadamente, cem pontos de verificação no campo. Ao final dos trabalhos de campo foi possível estabelecer a legenda definitiva do mapa de solos, constando de três unidades de mapeamento.

Utilizando-se imagens do satélite CBERS-4 (datada de 22 de abril de 2018, órbita 165/119, bandas do espectro visível) como base cartográfica, passou-se a delimitar as unidades de mapeamento em ambiente digital no programa ArcGIS® 10. Nesta fase foram necessárias inspeções de campo adicionais, com a finalidade de checar pontos onde a o uso dos pontos já amostrados e a observação da imagem não permitiu a definição do tipo de solo ocorrente no local. Posteriormente, foram selecionados locais de ocorrência de solos representativos de cada unidade de mapeamento onde foram descritos os perfis modais de forma expedita e coletadas amostras para análises laboratoriais, analisadas pelo laboratório Neosolo Agroanálises, aprovado pelo Programa de Análise de Qualidade de

Laboratórios de Fertilidade da EMBRAPA. A fração terra fina seca ao ar (< 2mm) foi utilizada para a realização das análises físicas e químicas conforme EMBRAPA (1997).

Dispondo dos resultados analíticos, procedeu-se a classificação taxonômica dos solos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2013) e realizou-se a composição do mapa final de solos na escala 1:20.000.

Cada unidade de mapeamento de solos foi classificada segundo a Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH et al., 1983), sendo os critérios utilizados no enquadramento de cada área de terra em sua classe estabelecidos com base em atributos do meio físico, como profundidade efetiva do solo, textura do solo e condições de relevo (Tabela 1).

O mapa do levantamento exploratório RADAMBRASIL (1983) na escala 1:1.000.000 também foi interpretado para a aplicação desse mesmo sistema, considerando as informações existentes em seu relatório de trabalho e a realidade da paisagem encontrada em campo.

Oito classes de aptidão de uso previstas no sistema de classificação das terras foram utilizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Conceitos gerais das classes de aptidão agrícola

Grupos/Classes	Conceitos
Grupo A: Terras aptas para uso com lavouras	
Classe I	Apresentam limitações permanentes ou riscos de degradação muito pequenos, que não exigem práticas especiais de conservação do solo.
Classe II	Apresentam limitações e riscos de degradação moderados quando usadas para lavouras, exigindo práticas especiais de conservação do solo, de fácil execução como: cultivo em contorno, culturas em faixas, rotação de culturas com inclusão de plantas recuperadoras, etc.
Classe III	Apresentam severas limitações e riscos de degradação quando utilizadas com lavouras, exigindo, além da intensificação de práticas indicadas para a classe II, práticas complexas de conservação do solo: terraceamento, plantio direto obrigatório, drenagem, etc.
Classe IV	Apresentam limitações e riscos de degradação muito severos, quando usados continuamente para lavouras. Seu uso para lavouras com culturas anuais deve ser ocasional (um ciclo a cada 3 ou 4 anos), devendo, na maior parte do tempo, ser mantidas com pastagens ou culturas de ciclo longo. Exigem práticas intensas e complexas de conservação do solo
Grupo B: Terras impróprias para uso com lavouras. Só se prestam para cultivo de plantas permanentes - pastagens, fruticultura e silvicultura	
Classe V	São terras praticamente planas, não sujeitas à erosão, mas que apresentam limitações muito severas que impedem a execução das práticas de cultivo e seu uso para lavouras, como: excesso de umidade, riscos frequentes de inundação, solo raso, excesso de pedregosidade, etc.

Classe VI	Terras que mesmo para cultivo com espécies permanentes são sujeitas à degradação devido à declividade acentuada, textura muito arenosa ou pequena profundidade do solo
Classe VII	São terras de uso restrito, mesmo para cultivo com espécies permanentes, por apresentarem limitações severas e serem altamente suscetíveis à degradação, exigindo cuidados especiais na sua exploração. Em geral são terras muito declivosas, pedregosas e com solos rasos
Grupo C: Terras impróprias para qualquer tipo de exploração agrícola. Devem ser destinadas para áreas de preservação permanente como refúgio da flora e da fauna	
Classe VIII	São terras com limitações intensas, como: declives muito acentuados associados à pedregosidade intensa, solos rasos, presença de sulcos de erosão ou voçorocas, textura extremamente arenosa, permanentemente saturadas com água sem possibilidade de drenagem, que impedem seu uso para qualquer tipo de exploração agrícola. Esta classe também inclui áreas de preservação permanente, protegidas por lei, tais como matas e áreas ciliares, matas nativas com área inferior a reserva legal, escarpas e bordas de escarpas, adjacências de vertentes, dunas e praias, etc.

Fonte: Lepsch et al. (1983).

A partir da identificação das variáveis consideradas (textura, profundidade do solo e declividade do terreno), delimitaram-se as áreas no programa ArcGIS@10. Foram calculadas as áreas de cada classe de solo e de capacidade de uso em toda a propriedade.

A fim de realizar uma ponderação do potencial produtivo e/ou valor econômico de cada área de terra com distinta classe de capacidade de uso, foram atribuídos valores relativos a cada classe de capacidade de uso utilizando a metodologia de Schneider e Klant (2002), que, baseada no sistema de capacidade de uso das terras (LEPSCH et al., 1983), atribui valor relativo às terras de acordo com seu potencial de uso. O ajuste das áreas equivalentes da propriedade foi feito atribuindo-se valores diferentes para cada classe de capacidade de uso conforme INCRA (2006) (Tabela 2). Com exceção ao peso 1,0, para a melhor classe, os demais pesos foram estabelecidos ponderando a relação entre qualidade das terras e rendimento econômico, considerando a complexidade dos fatores envolvidos (recursos da terra, homem, tecnologia, mercado, infraestrutura regional, etc.).

Tabela 2. Pesos atribuídos as classes

Classe	Peso das Classes (PC)
I	1,0
II	0,80
III	0,61
IV	0,47
V	0,39
VI	0,29
VII	0,20
VIII	0,13

Para a verificação da equidade foi utilizada a Equação 1.

$$ARM = S \text{ ARCM (Eq. 1)}$$

Sendo: Área Real do Mapa (ARM) = a área ocupada; Soma (S) = soma das áreas das classes de solo que ocorrem no mapa; ARCM (ha) = Áreas Reais das Classes do Mapa, onde são as áreas que cada uma das classes de aptidão ocupada na propriedade.

Para a definição das Áreas Equivalentes das Classes (AEC) (ha), onde indicam a quantos hectares da melhor classe corresponde a área de uma classe de menor potencial, foi calculada utilizando-se a Equação 2.

$$AEC = AC * PC. \text{ (Eq. 2)}$$

Onde: AC = representa a área da classe de capacidade de uso das terras mapeada; e PC = representa os pesos das classes, que são índices $\leq 1,0$ pelos quais se multiplica as áreas das classes para obter a sua área equivalente à área da melhor classe.

A Área Equivalente do Imóvel (AEI) (ha) que indica quanto de área útil o imóvel deveria ter se todas as terras úteis fossem da melhor classe, foi calculada utilizando-se a Equação 3.

$$AEI = S \text{ AEC. (Eq. 3)}$$

Onde: S AEC = soma das AECs calculadas na propriedade

Para o cálculo da Área Equivalente do Mapa (AEM) (%) em que indica o comparativo entre os resultados obtido no AEI e a área real

da propriedade, demonstrando qual o percentual de área corresponderia se toda a propriedade se enquadrasse na Classe I. Foi calculada pela Equação 4.

$$AEM = AEI/ARM * 100 \text{ (Eq. 4)}$$

Onde: AEI = área equivalente do imóvel calculada; e ARM = área real da propriedade

A Área Comparativa de Resultado (ACR) em que demonstra qual a diferença equivalente entre a comparação dos resultados entre as duas metodologias de mapeamento foi calculada pela Equação 5.

$$ACR = AEI_{\text{Campo}}/AEI_{\text{RADAMBRASIL}} \text{ (Eq. 5)}$$

Onde: AEI_{Campo} = área equivalente do imóvel encontrado pelo mapeamento detalhado; e AEI_{RADAMBRASIL} = área equivalente do imóvel encontrado pelo mapeamento RADAMBRASIL.

Resultados e Discussão

Segundo o mapeamento detalhado, encontram-se na Fazenda Brasília Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 2).

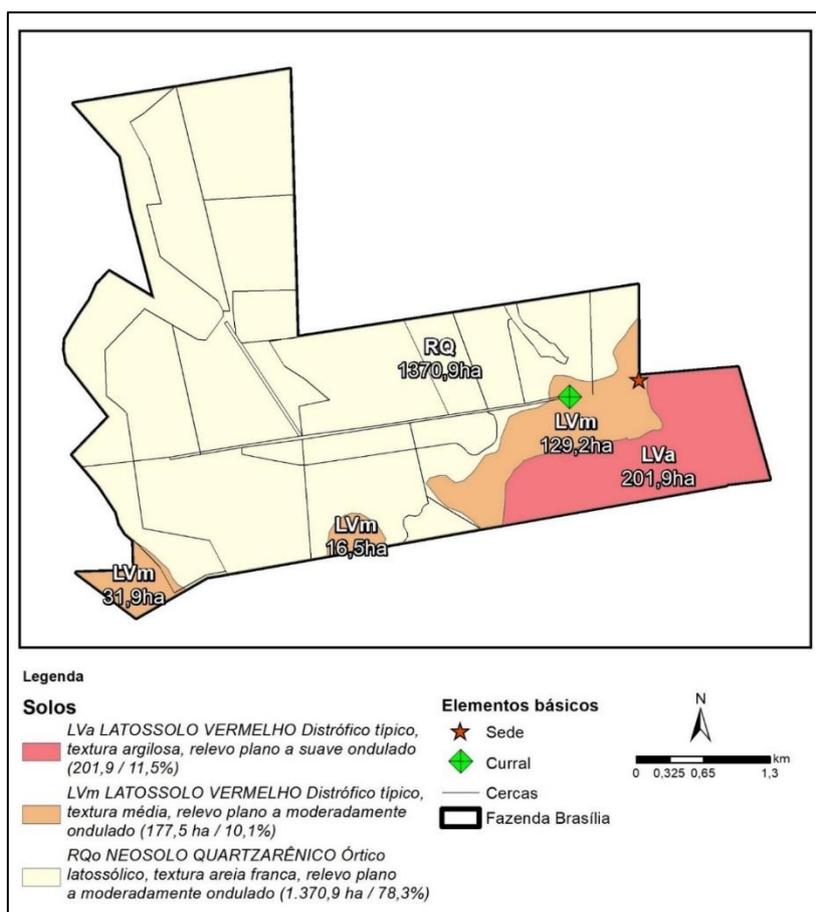


Figura 3. Distribuição dos solos da Fazenda Brasília gerado a partir do mapeamento detalhado de solos.

São solos profundos e bem drenados, nos quais as principais diferenças entre eles são os teores de argila, geologia e a posição na paisagem, sendo os Neossolos muito arenosos,

enquanto os Latossolos apresentam teores de argila mais elevados, sendo de textura média e argilosos (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado de análises dos perfis modais das unidades de mapeamento

UM	pH		cmol _c /dm ³			mg/dm ³			g/kg			cmol _c /dm ³			Textura (%)			
	CaCl ²	H + Al ³⁺	Al ³⁺	H ⁺	P	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTCe	V %	Argila	Silte	Areia Fina	Areia grossa		
LVm	3,94	5,33	0,45	4,88	1,41	2,02	0,37	0,39	0,07	0,82	6,15	13,40	35	2	27	36		
LVa	4,24	5,49	0,29	5,20	3,22	14,12	1,36	0,82	0,07	2,25	7,73	29,03	61	4	22	13		
RQo	3,56	7,17	1,07	6,10	0,80	11,30	0,10	0,14	0,01	0,25	7,42	3,41	9	2	32	57		

SB = soma de bases (%), CTCe = capacidade de troca de cátions efetiva (cmol_c/dm³), V = saturação de bases (%).

Os solos da Fazenda Brasília apresentam-se agrupados em três unidades simples de mapeamento (UM) (Tabela 4).

Tabela 4. Unidade de mapeamento, descrição e área dos na fazenda Brasília pelo mapa de escala detalhada

Símbolo	Descrição	Área
LVa	Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa, relevo plano a suave ondulado.	202 ha (11,5%)
LVm	Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura média, relevo plano a moderadamente ondulado.	177,5 ha (10%)
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado	1.371 ha (78,5%)

As UMs LVa e LVm apresentam solos muito profundos, bem drenados e localizam-se, essencialmente, em relevos planos e suaves ondulados, ainda que existam locais de relevos moderadamente ondulados na UM LVm. Segundo Oliveira (2011), tais solos podem ser intensivamente cultivados, se adubados e bem manejados. Possuem baixo nível e capacidade de retenção de nutrientes; elevada acidez e saturação por alumínio; alta retenção de fósforo nos solos devido ao elevado conteúdo de ferro. Exibem baixa suscetibilidade à erosão em relevos planos e moderadamente ondulado, e são plenamente mecanizáveis. A elevada saturação por alumínio pode ser facilmente corrigida com calcário devido à baixa quantidade real do elemento trocável. Necessitam de aplicação de fertilizantes e correção de acidez. Manter a fertilidade e níveis adequados de matéria orgânica é o requerimento mais importante (PRADO, 2013). Ressalta-se, contudo, que a UM LVa, situada nas maiores altitudes, é composta por solos mais argilosos e possuem maior fertilidade e maior capacidade de retenção de água, assim como maior suscetibilidade à compactação.

A UM RQo é constituída majoritariamente por Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos. São solos cuja estrutura é formada basicamente de grãos de quartzo, sendo, portanto, altamente suscetíveis à erosão, apresentam drenagem excessiva, baixa retenção de água e lixiviação de nutrientes (OLIVEIRA, 2011). Quimicamente são pobres em bases trocáveis, álicos e a

capacidade de troca catiônica desses solos depende quase que exclusivamente da matéria orgânica (Tabela 3). Por serem solos com baixa capacidade de retenção de água disponível às plantas, apresentam elevado risco para agricultura de sequeiro por causa dos veranicos (PRADO, 2013).

No tocante à capacidade de uso das terras, foi identificada a ocorrência das classes de capacidade de uso I, II e IV (Figura 3). A capacidade de uso das terras depende de um conjunto de características que variam na paisagem. Terras localizadas em diferentes posições da paisagem variam quanto ao tipo de solo e intensidade de atuação de processos físicos, químicos e biológicos, resultando em padrões com aptidão de uso diferenciada (SCHNEIDER et al., 2007).

No mapeamento do RADAMBRASIL (1983), os solos foram agrupados em três UMs (Tabela 5). Sendo assim, em relação ao mapeamento detalhado, diferencia-se por incluir uma UM para o Neossolo Litólico (que ocorre somente em uma pequena mancha e que não foi identificado no trabalho a campo) e por não diferenciar os Latossolos segundo sua textura, este último aspecto demonstrando o benefício de mapas com maior nível de detalhe, como o realizado neste estudo. Os Neossolos Litólicos compreendem solos rasos e as limitações ao uso estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados associados às suas áreas de ocorrência (RADAMBRASIL, 1983).

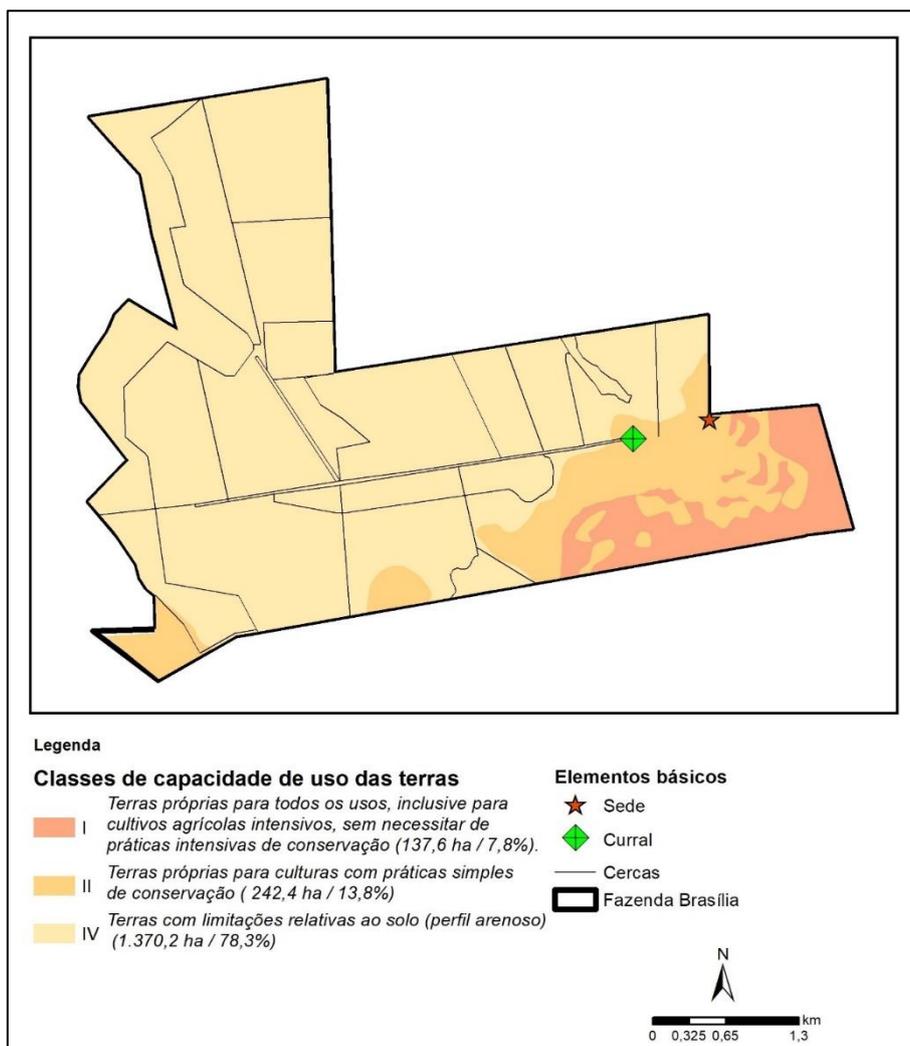


Figura 4. Capacidade de uso das terras na Fazenda Brasília a partir do mapa de solos em escala detalhada.

Tabela 5. Unidades de mapeamento, descrição e área dos solos da fazenda Brasília pelo mapa de solos de escala exploratória

Símbolo	Descrição	Área	
		ha	%
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa, horizonte A moderado, relevo plano e suave ondulado	217,8	12,4
RLd	Neossolo Lítico Distrófico típico, textura arenosa, horizonte A moderado, relevo forte ondulado e escarpado, afloramentos de rochas	1,3	<1,0
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico típico, textura arenosa, horizonte A moderado, relevo plano e suave ondulado	1.531,1	87,5

Fonte: Adaptado de RADAMBRASIL (1983).

Em relação à capacidade de uso das terras aplicada no mapa de solos do RADAMBRASIL (1983), foram classificadas

classes de capacidade de uso I, II, IV e VI (Figura 4).

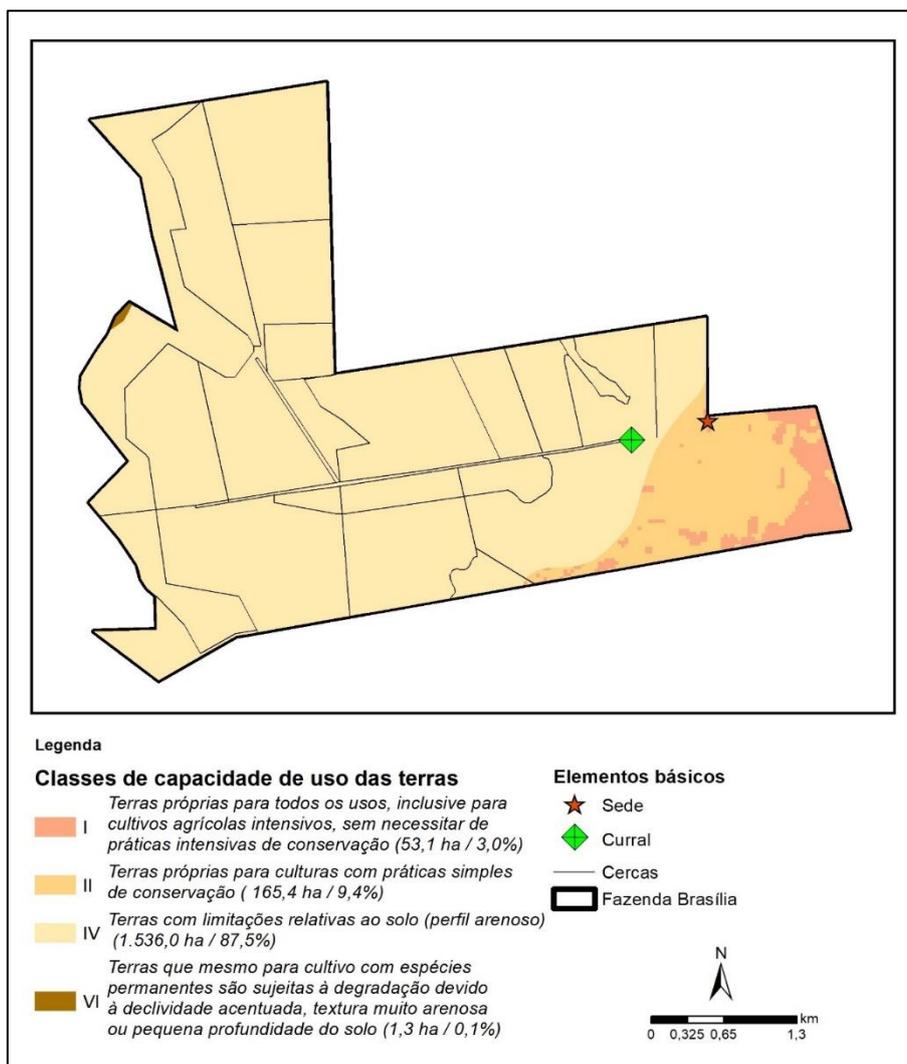


Figura 4. Capacidade de uso das terras na fazenda Brasília gerado a partir do mapa de solos do RADAMBRASIL (1983).

Em ambos os mapeamentos, há predomínio da classe IV, representada pelos Neossolos Quartzarênicos, que ocorrem em maior extensão no mapeamento exploratório. A classe VI, classe de capacidade de uso que apresenta maiores limitações, acontece apenas em uma pequena área no mapa exploratório de solos, não tendo sido identificada no mapeamento detalhado.

Em contrapartida, o mapeamento detalhado identificou a existência de uma maior área das classes I e II em relação ao mapeamento exploratório, pois foi capaz de definir mais claramente os limites das UM e, com isso, identificou a ocorrência de áreas mais extensas de latossolos, que são os solos com menores limitações ao uso

Na Tabela 6 são apresentadas as áreas das classes, as áreas equivalentes das classes, a área real do mapa, as áreas equivalentes do imóvel e a área equivalente do mapa na metodologia estabelecida.

De acordo com o mapeamento detalhado, a propriedade, conta com 1.750,2 ha, teria uma AEI de 1.147,21 ha e uma AEM com 65,5%. Já no mapeamento exploratório, a AEI é de 975,51 ha e a AEM com 55,7%.

Como resultado da aplicação da metodologia para ajuste das áreas equivalentes, verifica-se que a aplicação do sistema de capacidade de uso das terras no mapeamento detalhado de solos gera uma Área Comparativa de Resultado de 1,08, demonstrando que o detalhamento do mapa de solos permite a identificação de mais áreas com melhor potencial produtivo, sendo este acréscimo de 8% em termos de área equivalente quando comparado ao mapa exploratório de solos do RADAMBRASIL. Outros trabalhos também demonstram a diferença entre a área equivalente e o tamanho real na divisão de áreas quando se considera o potencial agrícola das terras (HÖFIG et al., 2018; SCHNEIDER et al., 2002). Höfig et al. (2018) identificaram que,

considerando a área equivalente em um estudo de caso, a divisão de lotes proposta por um perito foi inadequada. Já Schneider et al. (2002) apresentaram como o uso da área equivalente

contribuiu para uma divisão de lotes racional em projetos de assentamentos rurais no Rio Grande do Sul.

Tabela 6. Cálculo dos índices comparativos estabelecidos

Classe	Peso das Classes (Pc)	ACRM (HA)		AEC (HA)	
		Mapeamento detalhado	RADAM	Mapeamento detalhado	RADAM
I	1,0	137,6	53,1	137,6	53,1
II	0,80	242,4	165,4	193,9	132,3
III	0,61				
IV	0,47	1.370,2	1.530,4	644,0	719,3
V	0,39				
VI	0,29		1,3		0,4
VII	0,20				
VIII	0,13				
Índices	ARM (ha)	1.750,2	AEI	1.147,21	975,51
			AEM	65,5%	55,7%

Com o nível de escala mais detalhado, é possível otimizar o uso do sistema agropastoril e do ecossistema. Neste sentido, neste estudo foi possível identificar uma ocorrência em maior extensão de terras próprias para todos usos sem necessidade de práticas conservacionistas intensas (Classes I e II) e diminuíram as áreas de terras com maiores limitações e riscos de degradação quando usados continuamente para lavouras. Tais informações mostram um potencial produtivo maior na propriedade, valorizam a propriedade e aumentam a sustentabilidade do agroecossistema em comparação com o conhecimento da propriedade propiciado pelo levantamento de solos menos detalhado.

O nível de informação necessária e os esforços no processo de análise de decisão tendem a aumentar quando o processo de planejamento ocorre em escalas espaciais mais detalhadas, como a nível de unidades de produção agrícola. Nestes casos, as questões de planejamento podem precisar ser tratadas por meio de técnicas que gerem recomendações mais específicas. A avaliação do cenário de planejamento deve oferecer informação suficiente para encontrar soluções alternativas no nível exigido pelo processo de planejamento (BOUMA, 1997).

O uso da metodologia das áreas equivalentes demonstra que, mesmo em áreas com a mesma extensão, pode existir áreas equivalentes distintas, tendo em vista o seu real potencial de uso baseado na capacidade de uso das terras. Portanto, é necessário que se tenha maior nível de detalhamento das informações

de solo e capacidade de uso das terras para se tomar decisões em escala de propriedade rural com melhor conhecimento da realidade dos recursos naturais da unidade de produção agrícola.

Conclusão

Os mapas de solos com diferentes níveis de detalhamento mostraram diferenças na identificação e discriminação de classes de solos, bem como expressivas diferenças na extensão de ocorrência dos solos.

O uso de mapas de solos com diferentes níveis de detalhamento gerou diferentes extensões de áreas de terras pertencentes a cada classe de capacidade de uso.

O mapa de solos detalhado demonstrou a existência de um potencial produtivo e uma área equivalente 8% maior que o mapa exploratório de solos.

Indiretamente, a existência de informações mais detalhadas da ocorrência dos tipos de solo valorizou a propriedade em relação ao seu valor quando somente avaliado com base no conhecimento do mapa de solos em escala exploratória, devido a, neste caso de estudo, ter demonstrado a existência de uma maior capacidade de uso do que o mapa menos detalhado.

Referências Bibliográficas

AYOADE, J. O. Introdução a climatologia para os trópicos. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 350p.

- BARLOWE, R. Land resources economics: the economic of real estate. New Jersey, Prentice Hall. 1972. 559p.
- BOUMA, J. The land use systems approach to planning sustainable land management at several scales. ITC Journal, v.4, n.3, p.237-242, 1997.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima Rondonópolis. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso/rondonopolis-31805/#climate-graph>>. Acesso em: 13 de agosto de 2019.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2002. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2014.
- DEMÉTRIO, V. A. Engenharia de avaliações aplicadas a imóveis rurais. Apostila. Piracicaba, 2009. 137p.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. v.2. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- ESPINDOLA, C. R. Retrospectiva crítica sobre a Pedologia: um repasse bibliográfico. Editora da Unicamp. Campinas: 2008. 397p.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. 2010. Inc. ArcMap, versão 10.0. Redlands, 1 DVD-ROM.
- HÖFIG, P.; GIASSON, E.; SILVA, G. M. F.; BROETTO, T. Divisão racional de terras: um estudo de caso em Londrina, PR. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, v.41, n.2, 2018. 8p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases cartográficas contínuas – Brasil. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 10 julho de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. 135p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de Pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 315p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial. Brasília: INCRA, 2006. 139p.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZII Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1983. 175p.
- MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. dos. Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p.
- MIRANDA, L.; AMORIM, L. Mato Grosso: atlas geográfico. Cuiabá: Entrelinhas, 2000. 64p.
- OLIVEIRA, J. B. de. Pedologia aplicada. Piracicaba: FEALQ, 2011. 592p.
- PRADO, H. Pedologia fácil. Piracicaba: Fundag, 2013. 284p.
- RADAMBRASIL. Amazônia Legal. Brasília, DF: Ministério das Minas e Energia, 1983. 1 mapa, color., 118 x 77 cm. Escala 1:2.500.000 Mapa constituído de 2(duas) partes.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Org.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p.151-212.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E. Divisão racional de terras em projetos de assentamento. Porto Alegre, INCRA, Gabinete de Reforma Agrária. 2002. 25p.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. Classificação da aptidão agrícola das terras: um sistema alternativo. Guaíba, Agrolivros. 2007. 70p.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; JAEKEL, F. dos S. Divisão racional de terras em projetos de assentamento. Seção de Recursos Ambientais. Gabinete de Reforma Agrária. Governo do Estado do RS. Porto Alegre, 2002. 79p.
- VALERIANO, M. de M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography, v.32, n.2, p.300-309, 2011.

Capítulo 4

Trichoderma COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM *Brachiaria brizantha* cv. MARANDU E *Brachiaria ruziziensis*

Aloisio Freitas Chagas Junior¹

Flávia Luane Gomes²

Manuella Costa Souza³

Lisandra Lima Luz⁴

Lillian França Borges Chagas⁵

¹Dr. Prof. Associado, UFT, Gurupi-TO, chagasjraf@mail.uft.edu.br

²Mestranda em Biotecnologia, UFT, Gurupi-TO, fluaneg@gmail.com

³Mestrando em Biotecnologia, UFT, Gurupi-TO, manuella8_gpi@hotmail.com

⁴Graduanda em Agronomia, UFT, Gurupi-TO, lisandra.lima.luz@gmail.com

⁵Dra. Profª. Adjunta, UFT, Gurupi-TO, lillianfbc@uft.edu.br

Introdução

A bovinocultura é um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário mundial, presente em todos os estados e é responsável por gerar um valor bruto estimado de R\$ 67 bilhões, em suas duas parcelas lucrativas, as cadeias produtivas da carne e leite, mostrando assim a importância econômica e social desse segmento. O Brasil é dono do segundo maior rebanho efetivo do mundo, com cerca de 200 milhões de cabeças, liderando as exportações desde 2004, com um quinto da carne comercializada internacionalmente. O clima tropical, a extensão territorial, investimentos em tecnologias e o controle da sanidade animal e segurança alimentar, são alguns dos principais fatores que contribuíram para esse resultado (GOMES et al., 2017).

O investimento em alternativas ambientalmente corretas e economicamente viáveis, é primordial para a quebra do sistema de produção atual, fundamentado predominantemente na utilização de recursos naturais não renováveis. Vários modelos alternativos vêm de encontro com esses ideais, um deles é o desenvolvimento de inoculantes à base de microrganismos promotores do crescimento vegetal, utilizados em tratamentos de sementes ou aplicados diretamente no solo, tendo um grande potencial para o futuro do agronegócio brasileiro (BETTIOL et al., 2009; 2019).

Um grande exemplo, objeto de vários estudos no Brasil e no mundo, e que já se apresenta como produto comercial no mercado, é a inoculação de diferentes culturas de importância agrícola com fungos do gênero

Trichoderma, sendo também um dos agentes de controle biológico de fitopatógenos mais utilizados em pesquisas (HOYOS-CARVAJAL et al., 2009; MORANDI & BETTIOL, 2009; WOO et al., 2014). Os mesmos podem ser encontrados em diversos ambientes, sendo capazes de promover interações simbióticas com as raízes das plantas, possibilitando aumento na qualidade e na produção de biomassa, através da síntese de substâncias estimuladoras de crescimento, aumento na disponibilidade e estímulo na absorção de nutrientes presentes no solo (VINALE et al., 2012; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018; WOO & PEPE, 2018), reduzindo os gastos com adubação, promovendo o aumentando no estande inicial e diminuindo custos com agroquímicos, que apresentam controle temporário, necessitando de aplicações repetidas. Já os agentes de biocontrole se estabelecem no solo, colonizando-o e reproduzindo-se (ÁVILLA et al., 2005; SUASSUNA et al., 2019).

Purpureocillium lilacinum (anteriormente *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson) é um fungo do solo que tem se mostrado efetivo no biocontrole de espécies de *Meloidogyne* (KERRY, 1990). Caracteriza-se por penetrar nos ovos dos nematóides, destruindo o embrião, podendo exercer forte pressão na capacidade reprodutiva das fêmeas que são colonizadas e, posteriormente, mortas (DUNN et al., 1982). Estudos envolvendo a seleção de isolados de *P. lilacinus* para o controle de nematóides são importantes na busca de microrganismos eficientes e adaptados às diferentes regiões (CADIOLI et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a resposta da inoculação de produtos à base de *Trichoderma* e de *Trichoderma* com *Purpureocillium* na biomassa de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria ruziziensis*, em campo.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos na Estação de Pesquisa da empresa ALX Farias Agro Pesquisa Agropecuária dos Cerrados Ltda., localizada nas coordenadas 23° 36' 45,1" S - 51° 11' 01,4" O, em Porto Nacional, TO. A caracterização climática local é de clima tropical úmido com classificação do tipo Aw segundo Köppen e Geiger, temperatura média é de 26,1 °C e 1622mm o valor da pluviosidade média anual (PEEL et al., 2007).

Antes do plantio coletou-se uma amostra de solo composta, procedendo-se a caracterização física e química, encontrando-se os seguintes valores: 1,75 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,15 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,17 cmol_c dm⁻³ de K; 9,4 mg dm⁻³ de P; 0 cmol_c dm⁻³ de Al; 4,93 cmol_c dm⁻³ de CTC; 1,49 cmol_c dm⁻³ de SB; 62% de V; pH 5,56 em CaCl₂; 2,0 % de matéria orgânica; textura de 73,3, 7,2 e 19,5 % de areia, silte e argila, respectivamente (EMBRAPA, 2011). Foi realizada a adubação mineral antes da semeadura de acordo com a análise de solo e necessidade das forrageiras, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ do formulado 05-25-15 + Zn.

Foram utilizadas duas espécies do gênero *Brachiaria*: *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria ruziziensis*.

Para cada espécie de forrageira foram utilizados cinco tratamentos e quatro repetições, em experimentos independentes, sendo quatro tratamentos com inoculação de *Trichoderma* e *Purpureocillium* e uma testemunha sem inoculação. Para os tratamentos com *Trichoderma* e *Purpureocillium* foram utilizados os formulados TrichoPlus (*Trichoderma*) e TrichoMix (*Trichoderma* + *Purpureocillium*). Os tratamentos com inoculação foram TrichoPlus na dose de 2 Kg ha⁻¹, TrichoPlus na dose de 4 kg ha⁻¹, TrichoMix na dose de 2 Kg ha⁻¹ e TrichoMix na dose de 4 Kg ha⁻¹.

Para o tratamento com a utilização do inoculante TrichoPlus foi utilizada a formulação granulada com princípio ativo a base de *Trichoderma asperelum*, selecionados com potencial para o biocontrole e como promotor do crescimento vegetal, formulado com concentração mínima de conídio viáveis de 2 x

10⁹ L⁻¹, na JCO Fertilizantes, tendo como composição o milho. Para o tratamento com a utilização do TrichoMix, foi utilizado o inoculante granulado com princípio ativo a base de *Trichoderma asperelum*, também formulados com concentração mínima de conídio viáveis de 2 x 10⁹ L⁻¹ e *Purpureocillium lilacinum* selecionado com potencial para o controle de nematóides, formulado do mesmo modo, com concentração de 7 x 10⁸ L⁻¹.

Para cada tratamento, as sementes e os inoculantes foram misturados ao fertilizante mineral e plantadas com semeadeira via caixa de adubo, caindo diretamente sob o solo. Logo após o plantio foi realizado uma gradagem leve com grade niveladora. A quantidade de sementes utilizadas foi de 12 kg ha⁻¹ para a forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e 10 kg ha⁻¹ para a forrageira *Brachiaria ruziziensis*.

As parcelas foram de 12 metros de largura por 200 metros de comprimento, tendo área experimental de 2.400 m² por parcela.

Inicialmente foi feita a contagem de perfilho aos 15 dias após a emergência. A coleta de biomassa da parte aérea ocorreu aos 40 dias após emergência, fase em que normalmente os animais entram a campo para pastoreio em pastos recém-implantados. A amostragem foi realizada com quadros de um metro quadrado, onde se coletou, com o auxílio de tesouras, toda a forragem presente no mesmo, aproximadamente 20 cm acima solo, sendo acondicionada em sacos de papel, previamente identificados e levados para secagem em estufa a 65°C por 72 horas, até atingir o peso constante. Após secagem as amostras foram pesadas, obtendo-se a massa seca do material.

As variáveis analisadas foram número de perfilhos iniciais, número de folhas, e biomassa da parte aérea seca da pastagem. A biomassa da parte aérea dos tratamentos foi triturada em moinho com facas, sendo encaminhadas para análise para determinação da análise bromatológica, que caracterizou a composição nutritiva das forragens, quantificando a percentagem (%) de proteína bruta (PB), fibra bruta, extrato etéreo (EE), cinzas, cálcio, fósforo e nutrientes digestíveis totais (NDT). Com a biomassa da parte aérea determinou-se a eficiência relativa (ER), que relacionou os tratamentos inoculados ao tratamento testemunha aos 40 DAE.

Os dados foram submetidos à análise de variância empregando-se o programa de análise estatística SISVAR. As médias foram

comparadas pelo teste Tuckey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Para a *Brachiaria ruziziensis*, quanto ao número de perfilho é observado a maior média no tratamento TrichoMix 2 Kg ha⁻¹, diferindo significativamente apenas do tratamento TrichoPlus 2 Kg ha⁻¹ (Tabela 1). Os tratamentos

inoculados com os produtos biológicos apresentam maior número de folhas e biomassa, em relação à testemunha, tendo destaque para o tratamento TrichoPlus na dose 2 Kg ha⁻¹ para o número de folhas e os tratamentos TrichoPlus e TrichoMix na dose 2 Kg ha⁻¹ para biomassa.

Tabela 1. Número de perfilhos iniciais aos 15 dias, número de folhas e biomassa da parte aérea de *Brachiaria ruziziensis* inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo

Tratamentos	Nº de Perfilhos	Nº de Folhas (m ²)	Biomassa (Kg m ⁻²)
TrichoPlus 2 Kg ha ⁻¹	2,3 b	75,5 a	2,7 a
TrichoPlus 4 Kg ha ⁻¹	2,5 ab	61,8 bc	2,1 b
TrichoMix 2 Kg ha ⁻¹	3,0 a	52,3 bc	2,6 a
TrichoMix 4 Kg ha ⁻¹	2,6 ab	65,3 ab	1,9 b
Testemunha	2,4 ab	39,5 d	1,6 c
CV (%)²	12,7	12,4	8,7

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tuckey a 5% de probabilidade. ²CV: Coef. de Variação.

Quanto à Eficiência Relativa (ER), que relaciona a biomassa da parte aérea, aos 40 dias após a emergência (DAE), da *Brachiaria ruziziensis* com a testemunha, os tratamentos inoculados apresentam valores superiores,

variando de 18,8 a 68,8% em relação à testemunha, tendo destaque os tratamentos TrichoPlus e TrichoMix na dose 2 Kg ha⁻¹ (Figura 1).

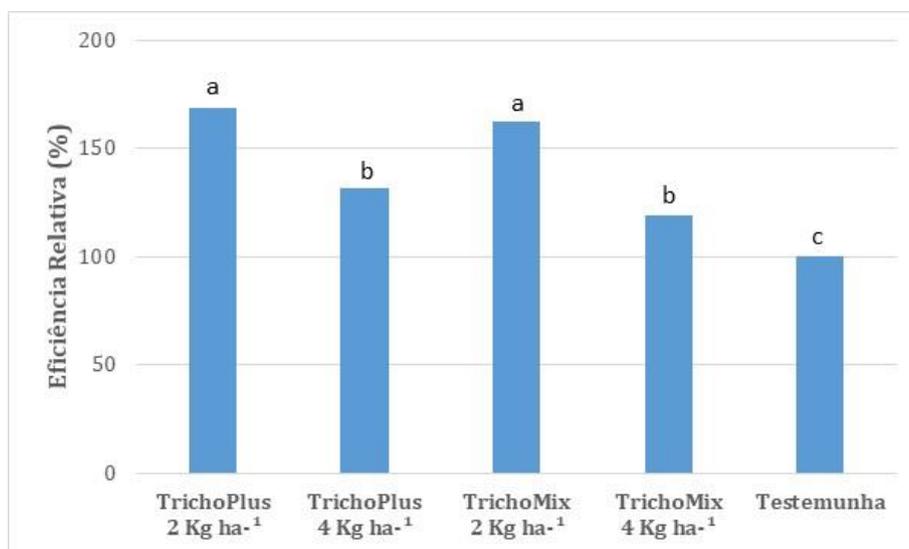


Figura 1. Eficiência relativa de *Brachiaria ruziziensis* inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo.

Em relação à análise bromatológica, observa-se porcentagens superiores ($p < 0,05$) nos tratamentos inoculados com TrichoPlus e TrichoMix (Tabela 2). Para a proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE), todos os tratamentos são superiores a testemunha ($P < 0,5$). Para os valores de fibra bruta (FB), observa-se a maior porcentagem na testemunha. Para os valores de

cinza e cálcio (Ca), o tratamento com TrichoMix 2 Kg ha⁻¹ apresenta-se superior aos demais. Para o teor de fósforo (P) os tratamentos com inoculação de TrichoPlus e TrichoMix na dose 2 Kg ha⁻¹ são superiores em relação aos demais tratamentos. Para nutrientes digestíveis totais (NDT) o tratamento com TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ apresenta-se superior ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Análise bromatológica (%) de *Brachiaria ruziziensis* inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo¹

Tratamentos	PB	FB	EE	Cinzas	Ca	P	NDT
TrichoPlus 2 Kg ha ⁻¹	16,5 a	26,9 ab	0,9 b	5,8 b	0,44 b	0,16 a	73,2 b
TrichoPlus 4 Kg ha ⁻¹	13,4 b	21,0 c	0,9 b	5,8 b	0,30 c	0,12 b	75,2 a
TrichoMix 2 Kg ha ⁻¹	13,0 b	27,4 a	1,4 a	6,6 a	0,59 a	0,16 a	71,7 bc
TrichoMix 4 Kg ha ⁻¹	13,0 b	25,4 b	1,1 b	5,8 b	0,44 b	0,11 bc	72,7 b
Testemunha	11,0 c	28,4 a	0,8 c	5,4 bc	0,30 c	0,11 bc	70,2 c
CV (%)²	4,5	3,7	4,1	4,5	5,1	5,3	5,6

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tuckey a 5% de probabilidade. ²CV: Coef. de Variação. PB: Proteína Bruta; FB: Fibra Bruta; EE: Extrato Etéreo; Ca: Cálcio; P: Fósforo; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais.

Para a forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu os tratamentos inoculados com TrichoPlus 2 e 4 Kg ha⁻¹ e TrichoMix 4 Kg ha⁻¹ apresentam-se superiores ($p < 0,05$) em relação a testemunha para o número de perfilho, e entre estes o tratamento com TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ é superior. Para o número de folhas, o tratamento

com TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ apresenta-se superior em relação a testemunha. Para a biomassa, todos os tratamentos são superiores em relação a testemunha, e entre estes o tratamento com TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ apresenta-se superior ($p < 0,05$ (Tabela 3)).

Tabela 3. Número de perfilhos iniciais, número de folhas e biomassa da parte aérea de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo¹

Tratamentos	Nº de Perfilhos	Nº de Folhas (m ²)	Biomassa (kg m ⁻²)
TrichoPlus 2 Kg ha ⁻¹	2,9 ab	28,3 ab	2,3 b
TrichoPlus 4 Kg ha ⁻¹	3,4 a	34,0 a	3,3 a
TrichoMix 2 Kg ha ⁻¹	2,8 bc	28,3 ab	2,2 b
TrichoMix 4 Kg ha ⁻¹	3,2 ab	31,0 ab	2,5 b
Testemunha	2,5 c	23,7 b	1,3 c
CV (%)²	10,9	13,3	7,1

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tuckey a 1 e 5% de probabilidade. ²CV: Coef. de Variação.

Em relação à eficiência relativa da forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, observa-se médias superiores para os tratamentos com inoculação, variando de 69,2 a

153,9%, em relação ao tratamento testemunha, com a maior média para o tratamento com inoculação de TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ (Figura 2).

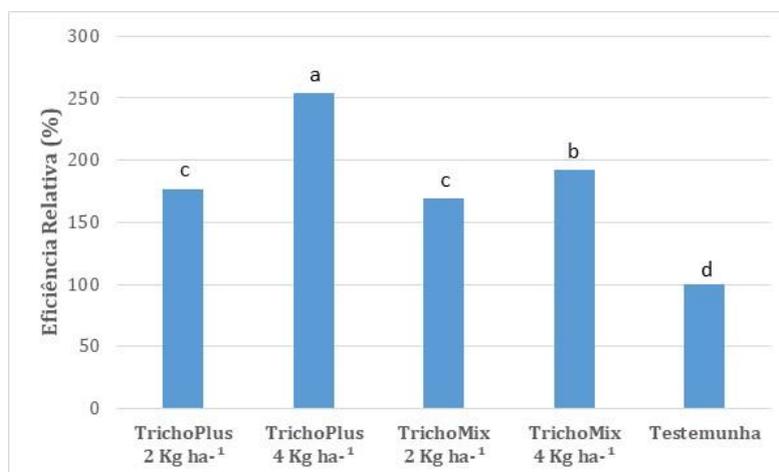


Figura 2. Eficiência relativa de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo.

Na análise bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu observa-se porcentagens superiores ($p < 0,05$) nas variáveis PB para os tratamentos TrichoPlus 2 Kg ha⁻¹ e TrichoMix 4 Kg ha⁻¹, EE para TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹ e TrichoMix 4 Kg ha⁻¹, cinzas para o tratamento TrichoPlus 4 Kg ha⁻¹, cálcio para todos os

tratamentos com TrichoPlus e TrichoMix, P para TrichoPlus 2 Kg ha⁻¹ e NDT para TrichoMix 2 e 4 Kg ha⁻¹ (Tabela 4). Os valores de fibra apresentam-se superiores para os tratamentos com TrichoPlus 2 Kg ha⁻¹ e a testemunha (Tabela 4).

Tabela 4. Análise bromatológica de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu inoculada com TrichoPlus e TrichoMix no solo

Tratamentos	PB	FB	EE	Cinzas	Ca	P	NDT
TrichoPlus 2 Kg ha ⁻¹	16,1 a	33,3 a	0,8 b	6,9 b	0,39 a	0,30 a	69,5 b
TrichoPlus 4 Kg ha ⁻¹	12,6 c	29,3 b	1,1 a	7,7 a	0,40 a	0,18 b	69,5 b
TrichoMix 2 Kg ha ⁻¹	15,0 b	24,2 c	0,9 ab	6,7 b	0,43 a	0,21 b	74,1 a
TrichoMix 4 Kg ha ⁻¹	16,8 a	25,5 c	1,0 a	6,4 b	0,39 a	0,20 b	74,1 a
Testemunha	12,3 c	31,8 ab	0,8 b	5,3 c	0,29 b	0,15 c	68,9 b
CV (%)²	3,5	4,5	5,1	4,9	6,1	4,3	6,0

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tuckey a 1 e 5% de probabilidade. ²CV: Coef. de Variação. PB: Proteína Bruta; FB: Fibra Bruta; EE: Extrato Etéreo; Ca: Cálcio; P: Fósforo; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais.

Analisando os resultados, pode-se observar que os ganhos são positivos nos tratamentos inoculados em relação à testemunha, mostrando o grande potencial dos produtos à base de *Trichoderma* e *Purpureocillium* testados a campo. O ganho obtido nas espécies inoculadas com fungos desse gênero pode ser explicado pelo fato dos mesmos estarem relacionados à produção de hormônios ou fatores de crescimento, à maior eficiência no uso de nutrientes, aumentando a disponibilidade e absorção pelas plantas (VERMA et al., 2006; LUCON, 2009), além de serem encontradas em uma diversidade de ambientes, devido à facilidade de serem cultivados, ao rápido crescimento em diferentes substratos e por não serem patogênicas para plantas superiores (MERTZ et al., 2009; HERMOSA et al., 2013; WOO et al., 2014).

Os nutrientes solubilizados através da ação dos fungos tornam-se prontamente disponíveis para as raízes (ALTMORE et al., 1999), consequentemente reduzindo gastos com adubação. Outro ponto importante é que, fungos dos gêneros em questão apresentam a capacidade de atuar como agentes de controle biológico de fitopatógenos (CARVALHO et al., 2011; HARMAN, 2011; MACHADO et al., 2011; GAVA & MENEZES, 2012), através de vários mecanismos particulares, aumentando o estande inicial e diminuindo custos com agroquímicos, que apresentam controle temporário, necessitando de repetidas aplicações durante o desenvolvimento da cultura.

Quanto à análise bromatológica, que teve como objetivo principal avaliar a composição química das forrageiras *Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Tabelas 2 e 4), também é observado resultados positivos para as variáveis analisadas, sendo explicado, além do que foi já exposto, através da capacidade desses fungos em promover uma associação simbiótica com as raízes das plantas (LUCON, 2008), permitindo vantagens mútuas para as espécies envolvidas. Espécies vegetais que contenham esse microrganismo associado às suas raízes, exibem melhor capacidade de sobrevivência e absorção de nutrientes em situações desfavoráveis, tendo vantagem produtiva em relação àquelas que não o possuem (VERMA et al., 2006).

O maior valor observado para a variável fibra bruta (FB) na análise bromatológica de *Brachiaria ruziziensis*, apresenta-se no tratamento testemunha, sem adição de produto a base de *Trichoderma* e *Purpureocillium*, mostrando que plantas sem a inoculação se apresentam mais fibrosas em relação às plantas dos tratamentos inoculados. Plantas fibrosas apresentam menor digestibilidade, portanto menor absorção e aproveitamento da forragem pelos animais, enquanto que plantas com baixos valores de fibras permitem ao animal consumir uma forragem de melhor qualidade (MACEDO-JÚNIOR et al., 2007).

Já para os valores de cálcio (Ca) e fósforo (P), verifica-se na análise bromatológica da forrageira *Brachiaria ruziziensis* que, os teores de Ca se apresentam dentro dos níveis

considerados ideais para tecido foliar de plantas forrageiras (BALSALOBRE, 2000). Para os teores de P, somente os tratamentos TrichoPlus 2 Kg ha⁻¹ e TrichoMix 2 Kg ha⁻¹ se apresentam dentro dos níveis ideais. Já na análise bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu os valores de Ca se apresentam dentro do limite inferior dos níveis ideais. Para os teores de P todos os valores apresentados se mostram inferiores.

Os valores do Extrato Etéreo (EE), fração do alimento que é insolúvel em água (gorduras ou lipídios) varia de 0,8 a 1,4% na análise da *Brachiaria ruziziensis* e de 0,8 a 1,1% na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. As forragens, base da alimentação dos ruminantes apresentam naturalmente baixos valores de EE, situando-se próximos a 3% na matéria seca (MS). Esse nutriente tem limitações na sua inclusão nas dietas, não devendo ultrapassar os 6% da MS ingerida, pois seria uma influência negativa da gordura na degradabilidade da fibra (MEDEIROS, 2015).

Os mecanismos de ação desses fungos promotores do crescimento, tal como *Trichoderma*, são específicos e podem variar conforme o ambiente, como substrato, disponibilidade de nutrientes e interferência de outros microrganismos (MONTE et al., 2019; MEDEIROS et al., 2019), como pode ser observado para os tratamentos com TrichoMix.

Além das suas propriedades como parasita de ovos de nematoides, o fungo *Purpureocillium lilacinum* pode promover o crescimento de plantas e controlar insetos e fungos (LOPEZ & SWORD, 2015). Dentre as capacidades do *P. lilacinum*, está a de sintetizar o tipo mais comum de Auxina, o Ácido Indolacético (AIA) (CAVELLO et al., 2015). O AIA é um fitohormônio responsável pelo aumento da superfície radicular das plantas, contribuindo para o desenvolvimento das raízes. Esse hormônio tem função no comprimento vertical das raízes quando produzido em pequena quantidade e no aumento da formação de raízes laterais quando presente em grande quantidade (TAIZ & ZEIGER, 2009), e podem ter sido expressados com a inoculação conjunto com *Trichoderma*, refletindo em aumento de biomassa das *Brachiaris* em estudo.

Conclusão

Os produtos TrichoPlus e TrichoMix a base dos microrganismos *Trichoderma* (TrichoPlus) e *Trichoderma* e *Purpureocillium*

(TrichoMix) promoveram o incremento de biomassa e características bromatológicas das forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria ruziziensis*, testadas a campo, mostraram-se promissores no uso como promotor de crescimento e desenvolvimento de pastagens no cerrado tocantinense.

Referências

- ALTOMARE, C.; NORVELL, W. A.; BJORKMAN T.; HARMAN G. E. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. Applied Environmental Microbiology, v.65, n.7, p.2926-33, 1999.
- ÁVILLA, R. Z.; CARVALHO, S. S.; BRAÚNA, L. M.; GOMES, D. M.; SILVA, M. C.; MELO, S. C. M. M. Seleção de isolados de *Trichoderma* spp. antagonísticos a *Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum*. Brasília, DF. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2005. 30p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 117).
- BALSALOBRE, M. A. A. Análise foliar em plantas forrageiras. 2000. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/pastagens/analise-foliar-em-plantas-forrageiras-16072n.aspx>>. Acesso em: 09/12/2019.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 341p.
- BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.21-43, 2019.
- CADIOLI, M. C.; SANTIAGO, D. C.; OLIVEIRA, A. D.; PAES, V. S.; ARIEIRA, G. O.; BAIDA, F. C. Efeito de isolados de *Paecilomyces lilacinus* no desenvolvimento de cafezais e na população de *Meloidogyne paranaenses*. Ciência e Agrotecnologia, v.33, n.3, p.713-720, 2009.
- CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M.; LOBO JUNIOR, M.; SILVA, M. C. Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli in vitro and on seeds and growth promotion of common bean in early stages by *Trichoderma harzianum*. Tropical Plant Pathology, v.36, n.1, p.28-34, 2011.
- CAVELLO, I. A.; CRESPO, J. M.; GARCÍA, S. S.; ZAPIOLA, J. M.; LUNA, M. F.; CAVALITTO, S. F. Plant growth promotion activity of Keratinolytic Fungi growing on a recalcitrant waste known as hair waste. Biotechnology Research International, v.2015, p.1-10, 2015.

- DUNN, M. T.; SAYRE, R. M.; CANELL, A.; WERGIN, W. P. Colonization of nematode eggs by *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson as observed with scanning electron microscope. *Scanning Electron Microscopy*, v.3, p.1351-1357, 1982.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS. 2011. 225p.
- GAVA, C. A. T.; MENEZES, M. E. L. Eficiência de isolados de *Trichoderma* spp no controle de patógenos de solo em meloeiro amarelo. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.4, p.633-640, 2012.
- GOMES, R. C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. Evolução e qualidade da pecuária brasileira. Documentos/Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, p.1517-3747, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf/64e8985a-5c7c-b83e-ba2d-168ffaa762ad>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- HARMAN, G. E. Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. *New Phytologist*, v.189, p.647-649, 2011.
- HERMOSA, R.; BELÉN, R. M.; CARDOZA, R. E.; NICOLÁS, C.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. *International Microbiology*, v.16, n.2, p.69-80, 2013.
- HOYOS-CARVAJAL, L.; ORDUZ, S.; BISSETT, J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological Control*, v.51, p.409-416, 2009.
- KERRY, B.R. An assessment of progress toward microbial controle of plant parasitic nematode. *Journal of Nematology*, v.22, n.45, p.621-631, 1990.
- LOPEZ, D. C.; SWORD, G. A. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*, v.89, p.53-60, 2015.
- LUCON, C. M. M. *Trichoderma* no controle de doenças de plantas causadas por patógenos de solo. n.77. 2008. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=77. Acesso em: 03 Dez. 2019.
- LUCON, C. M. M. Promoção de crescimento de plantas com o uso de *Trichoderma* spp. (em linha). 2009. Infobibos, Informações Tecnológicas. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/t-richoderma/index.htm>. Acesso em: 21/07/2019.
- MACEDO JÚNIOR, G. L.; ZANINE, A. M.; BORGES, I.; PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. *Ciência Animal*, v.17, n.1, p.7-17, 2007.
- MACHADO, R. G.; DE AS, E. L. S.; DAMASCENO, R. G.; HAHN, L.; ALMEIDA, D.; MORAIS, T.; CAMARGO, F. A. O.; REARTES, D. S. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. *Ciência e Natura*, v.33, n.2, p.111-126, 2011.
- MEDEIROS, S. R.; ALBERTIN, T. Z.; MARINO, C. T. Lipídios na nutrição de Ruminantes. In: MEDEIROS et al. (Ed.). *Nutrição de bovinos de Corte: Fundamentos e aplicações*. Brasília, DF: Embrapa, 2005. 14p.
- MEDEIROS, F. H. V.; GUIMARÃES, R. A.; SILVA, J. C. P.; CRUZ-MAGALHÃES, V.; SOUZA, J. T. *Trichoderma*: interações e estratégias. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.202-234, 2019.
- MENDOZA-MENDOSA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between *Trichoderma* and root: role of the fungal secreto-me. *Fungal Biology Reviews*, v.32, n.2, p.62-85, 2018.
- MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; ZIMMER, P. D. Bioprotetores e fungicidas químicos no tratamento de sementes de soja. *Ciência Rural*, v.39, p.13-18, 2009.
- MONTE, B. H.; BETTIOL, E.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.181-199, 2019.
- MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. In: BETTIOL, W; MORANDI, M. A. B. *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas* (Eds.). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p.07-14, 2009.
- OLIVEIRA, K.; C.; L.; ARAÚJO, D. V.; MENESES, A. C.; SILVA, J. M.; TAVARES, R. L. C. Biological management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean crops. *Revista Caatinga*, v.32, n.1, 41-51, 2019.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Science*, v.11, p.1633-1644, 2007.

SUASSUNA, N. D.; SILVA, J. C.; BETTIOL, W. Uso do *Trichoderma* na cultura do algodão. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.361-379, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

VERMA, M.; BRAR, S. K.; TYAGI, R. D.; SURAMPALLI, R. Y.; VALÉRO, J. R. Dissolved oxygen a principal parameter for conidia production of biocontrol fungi *Trichoderma viride* in non-Newtonian. *Journal of Industrial Microbiological Biotechnology*, v.33, p.941-952, 2006.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; RUOCCO, M.; WOOD, S.;

LORITO, M. *Trichoderma* secondary metabolites that affect plant metabolismo. *Natural Product Communications*, v.7, n.11, p.1545-1550, 2012.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. *Trichoderma* - based Products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, v.8, (Sup-1, M4), p.71-126, 2014.

WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant bioestimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v.9, e1801, 2018.

Capítulo 5

EFICIÊNCIA DE *Trichoderma* NA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO, SÍNTESE DE AIA E BIOCONTROLE

Aloisio Freitas Chagas Junior¹

Albert Lennon Lima Martins²

Gabriel Soares Nóbrega³

Rodrigo Silva de Oliveira⁴

Lillian França Borges Chagas⁵

¹Dr. Prof. Associado, UFT, Gurupi-TO, chagasjraf@mail.uft.edu.br

²Doutorando em Prod. Vegetal, UFT, Gurupi-TO, eng.alberlennon@gmail.com

³Mestrando em Prod. Vegetal, UFT, Gurupi-TO, g.soares_09hotmail.com

⁴Mestrando em Prod. Vegetal, UFT, Gurupi-TO, d.rigo.oliveira@hotmail.com

⁵Dra. Profª. Adjunta, UFT, Gurupi-TO, lillianfbc@uft.edu.br

Introdução

Fungos *Trichoderma* spp. são habitantes comuns da rizosfera de grande importância econômica para agricultura e é considerado um bioagente com potenciais de biocontrole e promoção de crescimento de plantas (VITERBO et al., 2010; CONTRERAS-CORNEJOS et al., 2016; DRUZHININA et al., 2018; MONTE et al., 2019). Dentre os mecanismos responsáveis pela promoção do crescimento vegetal, a produção de fito hormônio (MACHADO et al., 2011; CONTRERAS-CORNEJOS et al., 2015) e solubilização de fosfato (GRAVEL et al., 2007; CONTRERAS-CORNEJOS et al., 2016; BONONI et al., 2020) se destacam.

Quanto a capacidade de sintetizar hormônios, os micro-organismos que habitam rizosfera de plantas são susceptíveis na síntese e liberação de metabólitos secundários como auxina por causa das ricas fontes de substratos exsudatos das raízes em comparação com solos não rizosféricos. A síntese de auxinas, particularmente o ácido indol-acético (AIA), promove o crescimento das raízes e a proliferação de pêlos radiculares, melhorando a absorção de água e nutrientes do solo e, conseqüentemente, melhorando o desenvolvimento da planta (CABALLERO-MELLADO et al., 2004; ZHANG et al., 2013; CHAGAS et al., 2017).

O controle biológico comumente vem sendo constituído como uma alternativa ao uso de produtos químicos para o controle de pragas e doenças. O *Trichoderma* spp. é utilizado no controle biológico de uma gama de fitopatógenos (MACHADO & SILVA, 2013), dentre os quais o *Sclerotium rolfsii* (OHTO et al., 2007), *Fusarium oxysporum* (BENÍTEZ et al.,

2004) e *Colletotrichum gloeosporioides* (ROSA et al., 2008). Os mecanismos de ação utilizados no antagonismo a fungos fitopatogênicos são a antibiose, hiper parasitismo, competição e indução de defesa do hospedeiro (MACHADO et al., 2012; HERMOSA et al., 2014; DRUZHININA et al., 2018; MONTE et al., 2019).

Grande parte dos solos são deficientes em fósforo. Devido à alta reatividade de P solúvel com cálcio, ferro ou alumínio, ocorre a precipitação, sendo assim mesmo em solos férteis o fósforo disponibilizado não é suficiente para as plantas (VON WANDRUSZKA, 2006). Diversos micro-organismos solubilizantes excretam ácidos inorgânicos, ácidos orgânicos e fosfatase para dissolver o fósforo (ZHONG et al., 2014). Assim, podem maximizar o crescimento das plantas, aumentando a disponibilidade de nutrientes.

Portanto, uma maior compreensão da eficiência e capacidade de *Trichoderma* em solubilizar fosfato e sintetizar AIA, como potencial para o crescimento vegetal, poderá favorecer a seleção de estirpes potencialmente úteis para disponibilizar o fósforo agregado a fontes de baixa solubilidade para o uso na agricultura e promoção do crescimento vegetal (NAHAS, 2007; STAMFORD & NAHAS, 2010). Os solos do Cerrado possuem baixa fertilidade natural e o isolamento e seleção de estirpes de *Trichoderma* spp., que possuem a capacidade de atuação como promotores do crescimento vegetal devem ser considerados inclusive para a produção de inoculantes comerciais.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é a seleção de *Trichoderma* com potencial promotor de crescimento vegetal, pela capacidade de sintetizar ácido indol acético e

capacidade de solubilização de fosfato, bem como para controle biológico de *Colletotrichum truncatum* e *Rhizoctonia solani*.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi-TO. Os isolados de *Trichoderma* spp. e os fitopatógenos avaliados neste estudo foram obtidos da coleção de *Trichoderma* do Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia da UFT, isolados de solos em áreas da estação experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, (11°43'45" S e 49°04'07" W, 300 m de altitude média) e em áreas de várzeas do córrego Mutuca (11°43'58.2" S e Longitude: 48°29'52.4" W). Foram utilizados quarenta e um isolados nativos e uma cepa padrão de *Trichoderma*, obtida no Instituto Biológico, São Paulo, caracterizada como *T. harzianum* (CIB T44).

Produção de AIA

Para os testes de produção de AIA, colônias de *Trichoderma* foram transferidas para frascos de Erlenmeyer (250 mL) contendo 50 mL de meio de cultura para *Trichoderma* suplementado ou não (controle) com 100 µg mL⁻¹ de L-triptofano. Depois de cinco dias de crescimento sobre um agitador rotatório (100 rpm) a 26 ± 2°C, a biomassa fúngica foi separada por centrifugação (12.000 rpm por 15 minutos). Para as análises colorimétricas de AIA no sobrenadante foram utilizadas uma parte do reagente de Salkowski [(FeCl₃ 0,5 M + HClO₄ (35%)] e duas partes do sobrenadante fúngico. Após a comprovação qualitativa de AIA no sobrenadante (coloração rosa após 25 minutos de reação a 26±2°C), o fitormônio foi quantificado espectrofotometricamente em 530 nm. As concentrações, em µg mL⁻¹, foram calculadas a partir de uma curva padrão construída com AIA (CATTELAN, 1999).

Solubilização de fosfato

Para o ensaio de solubilização de fosfato in vitro os isolados de *Trichoderma* spp. foram cultivados inicialmente em meio BDA (Himedia, Índia: 200 g de batata, 20 g de dextrose 15 g de ágar) a 25 ± 2°C, com fotoperíodo de 12 horas, por sete dias. A partir dessas colônias, foram retirados discos de aproximadamente 8,0mm de diâmetro, contendo micélio e esporos, e

transferidos para frascos (250 mL), onde foram testados quanto ao potencial de solubilização de fosfato in vitro em meio NBRIP modificado (NAUTIYAL, 1999), contendo os seguintes ingredientes (g L⁻¹ – Cromaline, Brasil): glicose, 10,0; MgCl₂.6H₂O, 5,0; MgSO₄.7H₂O, 0,25; KCl, 0,2; (NH₄)₂SO₄, 0,1. Foram adicionados ao meio, 50 mL de K₂HPO₄ (10%) e 100 mL de CaCl₂ (10%), para formação de precipitado insolúvel de fosfato de cálcio (CaHPO₄).

A estimativa quantitativa de solubilização de fosfato foi realizada em triplicata em delineamento inteiramente ao acaso. No quinto dia de crescimento microbiano, para a determinação da concentração de fósforo (P) solúvel utilizou-se o método colorimétrico de Murphy e Riley (1962), subtraindo-se o P solúvel contido nos tratamentos pelo contido na amostra controle (meio de cultura com fosfato e sem inóculo). Para as avaliações foram utilizados 1,0 mL do reagente, 0,5 mL da amostra filtrada e completado o volume final para 5 mL com água ultra pura (Biosystem) para cada amostra. Após 20 minutos de reação o P solúvel foi quantificado em espectrofotômetro no comprimento de onda de 725 nm de absorvância. A curva padrão para quantificação de P foi feita a partir do fosfato de potássio monobásico e as concentrações calculadas em µg mL⁻¹.

Biocontrole

Para o teste biocontrole foi utilizada a metodologia de confronto direto, inicialmente isolados de *Trichoderma* e os fitopatógenos *Colletotrichum truncatum* e *Rhizoctonia solani* foram multiplicados em meio BDA por sete dias, posteriormente retirados discos de 6mm de diâmetro contendo micélio de cada fitopatógeno e do antagonista *Trichoderma* spp., colocados a 1,0 cm da borda da placa em lados opostos. Para a testemunha, um disco com 6mm de diâmetro fitopatógeno ou do antagonista foram depositados no centro de placas de Petri contendo meio BDA. As placas foram incubadas em câmara tipo BOD, a 25 ± 2°C, com fotoperíodo de 12 horas de luz. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições.

Após sete dias foi realizada a avaliação pela porcentagem de colonização conforme metodologia de Camporota (1985), em que: %C = DT/DE X 100, sendo DT, o raio de crescimento da colônia de *Trichoderma* spp. em direção frontal à colônia do patógeno e DE, a distância que separa as duas colônias. Foi realizada

também uma avaliação de acordo com os critérios propostos por Bell et al. (1982) com adaptações com escalas de notas variando de 1 a 5, sendo estimada a percentagem de crescimento do antagonista entre parêntese, onde: nota 1 - o antagonista cresce por toda a placa de Petri; nota 1,5 - antagonista cresce sobre 7/8 da placa; nota 2 - antagonista cresce sobre 2/3 da placa ; nota 2,5 - antagonista cresce sobre 5/8 da placa; nota 3 - antagonista e patógeno crescem até a metade da placa; nota 3,5 - patógeno coloniza 7/8 da placa nota 4 - patógeno coloniza 1/3 da placa e nota 5 - patógeno cresce por toda a placa. Considerou-se eficiente no antagonismo quando a nota foi menor ou igual a 2,0.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância empregando-se o programa de análise estatística SISVAR. As médias foram comparadas pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Dos 41 isolados de *Trichoderma*, 85,4% são capazes de produzir AIA em meio de cultura BD com e sem a presença de L-triptofano após oito dias de crescimento (Tabela 1). Na presença de L-triptofano, os isolados que se destacam na produção de AIA são UFT 79 UFT 404 e UFT 409 variando 650 a 750% em relação ao controle sem inoculação de *Trichoderma* e variam 100 a 125% em relação a cepa padrão *T. harzianum*.

Isolados de *Trichoderma* testados por Oliveira et al. (2012) foram capazes de produzir AIA e a utilização do precursor L-triptofano proporcionou um efeito positivo como indutor para a síntese deste fito hormônio. Gravel et al. (2007) observaram que *T. atroviride* são capazes de sintetizar AIA por diferentes precursores como L-triptofano, triptamina e triptofol. Badawi et al. (2011), no estudo feito com espécies de *T. harzianum* demonstraram a capacidade deles em produzir este fito hormônio, promovendo o crescimento das

plantas. Chowdappa et al. (2013) observaram que o nível de AIA aumentou 45% em raízes de plântulas de tomate inoculadas com *Trichoderma* quando comparados com os controles não inoculados. Chagas et al. (2016), observaram que isolados de *Trichoderma* apresentaram a capacidade de sintetizar AIA e influenciaram positivamente o crescimento de plantas de feijão caupi.

Com relação a capacidade de solubilização de fosfato durante oito dias de incubação (Tabela 1), a concentração de fosfato solúvel varia de 3,3 a 22,1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ nos filtrados de cultura de *Trichoderma*. Os isolados UFT 404 (22,1 $\mu\text{g mL}^{-1}$), UFT 405 (20,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$), UFT 413 (20,8 $\mu\text{g mL}^{-1}$), UFT 418 (21,4 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e UFT 430 (21,0 $\mu\text{g mL}^{-1}$) apresentam concentrações de fosfato superiores ($p < 0,05$) aos demais isolados, variando de 160,3 a 183% em relação a cepa padrão *T. harzianum*.

A acidificação do meio de cultura é um mecanismo eficaz na capacidade de solubilização (MENDES et al., 2014). Alguns micro-organismos excretam ácidos inorgânicos, ácidos orgânicos e produzem enzimas fosfatases para solubilizar o fósforo (ZHONG et al., 2014). Deste modo, 81,4% das cepas testadas neste experimento apresentam redução do valor do pH em relação ao pH inicial do meio, variando entre 6,5 a 5,2 após oito dias de crescimento.

Os isolados UFT 403, UFT 406, UFT 408, UFT 410, UFT 411, UFT 412, UFT 416 e UFT 429 apresentam menores índices de diminuição do pH das culturas filtradas, indicando que, a acidificação dos meios de cultura, não é necessariamente um indicador eficaz de solubilização de fosfato (Tabela 2). Rawat e Tewari (2011) demonstraram que *Trichoderma* spp. pode crescer e solubilizar fosfato de forma eficiente tanto em meio ácido quanto alcalino, demonstrando que a acidificação do meio não é o único mecanismo envolvido na solubilização de fosfatos para este fungo. Segundo Mendes et al. (2014), esses mecanismos podem ser por acidificação, quelação e atividade redox.

Tabela 1. Produção de AIA ($\mu\text{g mL}^{-1}$) em meio BD na ausência (A T) e presença (P T) de L-triptofano e solubilização de fosfato por isolados de *Trichoderma*

Tratamentos	-----Produção de AIA-----					-----Solub. de fosfato-----		
	AT	PT	Média	%AIA ²	%AIA ³	$\mu\text{g mL}^{-1}$	%Sol. ⁴	pH
Controle	0,4 kA	0,4 KA	0,4 g	100	26,7	0,5 k	-	6,5
UFT 14	1,0 iB	1,5 fA	1,3 e	325	86,7	7,0 j	89,7	5,9
UFT 25	1,8 eB	2,3 cA	2,1 c	525	140,0	10,7 h	137,2	5,4
UFT 37	1,4 gA	1,6 fA	1,5 e	375	100,0	9,3 i	119,2	5,4
UFT 57	1,7 fA	1,7 eA	1,7 d	425	113,3	7,0 j	89,7	5,9
UFT 63	1,0 iA	1,4 gA	1,2 e	300	80,0	16,7 d	214,1	5,2
UFT 79	2,6 bB	3,4 aB	3,0 a	750	200,0	12,5 i	160,3	5,3
UFT 92	1,3 hA	1,5 fA	1,4 e	350	93,3	8,0 g	102,6	5,8
UFT 201	1,8 eA	1,9 dA	1,9 c	475	126,7	14,0 e	179,5	5,3
UFT 311	0,9 iA	0,9 iA	0,9 f	225	60,0	5,2 i	66,7	5,9
UFT 312	0,7 jA	0,6 já	0,7 f	175	46,7	14,1 d	180,8	5,3
UFT 314	0,7 jA	0,9 iA	0,8 f	200	53,3	19,2 b	246,2	5,3
UFT 400	0,4 kA	0,5 kA	0,5 g	125	33,3	5,1 i	65,4	5,3
UFT 401	1,0 iB	1,4 gA	1,2 e	300	80,0	15,2 d	194,9	5,5
UFT 402	0,6 kB	1,0 iA	0,8 f	200	53,3	17,4 c	223,1	5,4
UFT 403	1,5 gA	1,4 gA	1,5 d	375	100,0	3,9 k	50,0	6,5
UFT 404	3,1 aA	3,3 aA	3,3 a	825	220,0	22,1 a	283,3	5,3
UFT 405	0,3 kA	0,4 kA	0,4 g	100	26,7	20,3 a	260,3	5,3
UFT 406	2,4 cA	2,4 cA	2,4 b	600	160,0	3,3 j	42,3	6,2
UFT 407	0,6 kA	0,8 iA	0,7 f	175	46,7	5,6 h	71,8	6,0
UFT 408	2,6 bA	2,6 bA	2,6 b	650	173,3	3,9 k	50,0	6,5
UFT 409	3,3 aA	2,7 bA	3,0 a	750	200,0	10,1 f	129,5	6,1
UFT 410	0,5 kA	0,6 jA	0,6 g	150	40,0	5,2 j	66,7	6,4
UFT 411	0,7 jB	1,3 gA	1,0 f	250	66,7	3,4 k	43,6	6,4
UFT 412	1,6 fA	1,8 eA	1,7 d	425	113,3	3,4 k	43,6	6,5
UFT 413	0,5 kA	0,7 jA	0,6 g	150	40,0	20,8 a	266,7	5,4
UFT 414	1,1 iA	1,0 iA	1,1 e	275	73,3	17,8 c	228,2	5,7
UFT 415	2,2 dB	2,7 bA	2,5 b	625	166,7	5,7 k	73,1	6,1
UFT 416	2,5 bA	2,3 cA	2,4 b	600	160,0	5,2 k	66,7	6,2
UFT 417	1,0 iA	1,1 hA	1,1 e	275	73,3	5,6 i	71,8	6,0
UFT 418	0,8 jA	0,9 iA	0,9 f	225	60,0	21,4 a	274,4	5,2
UFT 419	0,5 kA	0,5 kA	0,5 g	125	33,3	6,1 h	78,2	6,0
UFT 420	2,1 dA	2,3 cA	2,2 c	550	146,7	5,8 i	74,4	6,0
UFT 421	0,6 jB	1,1 hA	0,9 f	225	60,0	12,2 e	156,4	5,8
UFT 422	0,8 jA	0,9 iA	0,9 f	225	60,0	9,3 h	119,2	5,9
UFT 423	1,0 iA	0,9 iA	1,0 f	250	66,7	5,6 k	71,8	6,1
UFT 424	0,9 iA	0,8 iA	0,9 f	225	60,0	13,9 d	178,2	5,5
UFT 425	1,8 eA	1,8 eA	2,0 c	500	133,3	5,7 h	73,1	5,9
UFT 427	1,0 iA	0,8 iA	0,9 f	225	60,0	5,6 h	71,8	5,9
UFT 428	0,9 iB	1,5 fA	1,2 e	300	80,0	12,5 e	160,3	5,3
UFT 429	0,8 iB	1,3 gA	1,1 e	275	73,3	5,5 k	70,5	6,3
UFT 430	0,4 kA	0,5 kA	0,5 g	125	33,3	21,0 a	269,2	5,3
UFT 204	1,3 hB	1,6 fA	1,5 e	375	100	7,8 g	100	5,6
Média	1,3	1,4	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	5	7,3	7,7	7,9	-	-	9,7	-

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. ²Percentual de produção de AIA dos isolados cultivados em meio na presença de L-Triptofano em relação ao controle sem inoculação de *Trichoderma*, após oito dias de crescimento. ³Percentual de produção de AIA dos isolados cultivados em meio na presença de L-Triptofano em relação ao padrão UFT 204 (*T. harzianum*) após oito dias de crescimento. ⁴Percentual de solubilização de fosfato dos isolados de *Trichoderma* em relação ao padrão UFT 204 (*T. harzianum*) após 8 dias de crescimento. ⁵Coefficiente de Variação.

No teste de confronto direto (Tabela 2), observa-se que todos os isolados de *Trichoderma* sp. inibem o crescimento (notas menor ou igual a 2,0) de *Colletotrichum truncatum*, variando 72,7 a 85,7% o percentual de inibição. Em relação *Rhizoctonia solani* 24,4% dos isolados inibem o crescimento micelial em mais de 75%, variando o percentual de antagonismo de 79,3 a 86,3% em relação aos demais isolados. Cerca de 26,83% isolados apresentam menor potencial de inibição obtendo notas acima de 3,0, com percentagem de inibição variando de 32 a 48%.

As médias do teste de antagonismo em cultivo pareado apresentam valores de notas entre 2,0 a 4,0. Os isolados UFT 408, UFT 409, UFT 410 e UFT 420 são eficientes antagonistas no controle de *Colletotrichum truncatum* e *Rhizoctonia solani* (Tabela 2), sendo que quanto menor a nota, maior a ação antagonista do fungo sobre o patógeno, e quanto mais próximo de 4, menor será a ação antagonista do fungo.

Chagas et al. (2016), em um estudo avaliando *Trichoderma* pelo método de cultivo pareado observou que, a maioria dos isolados mostraram-se altamente antagonísticos a *C. cliviae*, ou seja, ao ocuparem o espaço físico da placa, eles foram capazes apenas de deter a expansão de *C. cliviae*. A inibição do antagonista

pode ser explicada pelo rápido crescimento dos isolados de *Trichoderma* que podem chegar até a sobrepor o patógeno, provavelmente, estas ações antagonistas podem ser por competição, pelo crescimento rápido do *Trichoderma* por espaço, nutrientes, água, oxigênio, luz e hiper parasitismo (MACHADO & SILVA, 2013) com enovelamento de hifas (FIGUEIREDO et al., 2010), antibiose (MACHADO & SILVA, 2013), e com a liberação de metabólitos secundários (MONTE et al., 2019; RAMADA et al., 2019).

Fungos do gênero *Trichoderma* são uns dos principais microrganismos de importância para o aumento do crescimento vegetal. Este fungo pode influenciar positivamente na produção de substâncias promotoras de crescimento e melhoria na nutrição das plantas, principalmente pela solubilização de fósforo (OLIVEIRA et al., 2012; SILVA et al., 2012) e síntese de ácido indol acético (OLIVEIRA et al., 2012; CHAGAS et al., 2016; 2017). Assim, tem grande importância econômica para a agricultura, uma vez que são capazes de atuarem como agentes de controle de doenças de várias plantas cultivadas e indutores de resistência de doenças nas plantas, e como promotores de crescimento vegetal (ASUMING-BREMPONG, 2013; DAS et al., 2017; WOO & PEPE, 2018; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018).

Tabela 2. Percentagem (%) do antagonismo e nota (pelo critério de Bell et al., 1982) em cultivo pareado dos 41 isolados de *Trichoderma* spp. e estirpe de *Trichoderma* (padrão) contra *Colletotrichum truncatum* e *Rhizoctonia solani*

Isolados	Percentagem de inibição de		Classe de antagonismo	
	<i>C. truncatum</i>	<i>R. solani</i>	<i>C. truncatum</i>	<i>R. solani</i>
UFT 14	78,3 a	52,3 c	1,5	2,5
UFT 25	84,7 a	55,7 c	1,5	2,5
UFT 37	75,7 b	54,0 c	1,5	2,5
UFT 57	85,7 a	51,7 c	1,5	2,5
UFT 63	82,0 a	56,0 c	1,5	2,5
UFT 79	82,7 a	53,0 c	1,5	2,5
UFT 92	83,7 a	57,3 c	1,5	2,5
UFT 201	83,0 a	61,3 c	1,5	2,5
UFT 311	80,0 a	54,0 c	1,5	2,5
UFT 312	84,0 a	67,0 b	1,5	2,0
UFT 314	81,7 a	58,7 c	1,5	2,5
UFT 400	81,7 a	67,7 b	1,5	2,0
UFT 401	76,7 b	48,0 d	1,5	3,5
UFT 402	75,0 b	46,7 d	1,5	3,5
UFT 403	82,0 a	64,0 b	1,5	2,0
UFT 404	81,0 a	47,0 d	1,5	3,5
UFT 405	74,0 b	61,7 c	1,5	2,5
UFT 406	80,3 a	32,0 e	1,5	5,0
UFT 407	83,0 a	37,0 e	1,5	4,0.
UFT 408	78,3 a	86,3 a	1,5	1,5
UFT 409	84,0 a	85,0 a	1,5	1,5
UFT 410	81,0 a	82,3 a	1,5	1,5
UFT 411	84,3 a	62,7 c	1,5	2,0
UFT 412	80,7 a	72,0 b	1,5	2,0
UFT 413	76,3 b	47,0 d	1,5	3,5
UFT 414	78,3 a	52,7 c	1,5	2,5
UFT 415	82,7 a	51,0 c	1,5	2,5
UFT 416	80,7 a	66,0 b	1,5	2,5
UFT 417	74,7 b	66,0 b	1,5	2,5
UFT 418	79,0 a	60,7 c	1,5	2,5
UFT 419	78,3 a	72,7 b	1,5	2,5
UFT 420	77,3 a	77,0 a	1,5	1,5
UFT 421	82,3 a	61,0 c	1,5	2,5
UFT 422	60,7 c	42,3 d	1,5	3,5
UFT 423	88,7 a	58,7 c	1,5	2,5
UFT 424	73,7 b	79,3 a	1,5	1,5
UFT 425	73,0 b	34,0 e	1,5	4,0
UFT 427	72,7 b	39,3 e	1,5	3,5
UFT 428	78,3 a	46,7 d	1,5	3,5
UFT 429	81,3 a	46,0 d	1,5	3,5
UFT 430	78,3 a	54,3 c	1,5	2,5
UFT 204	83,3 a	52,0 c	1,5	2,5
C.V. (%) 2				

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,01).

Conclusão

A maioria dos isolados foram capazes de sintetizar AIA tanto na presença quanto na ausência do percussor L-triptofano em meio de cultura BD, tendo como destaque os isolados UFT 79, UFT 404 e UFT 409.

Quanto a capacidade de solubilização de fosfato de cálcio, os isolados UFT 404, UFT 405, UFT 413, UFT 418 e UFT 430 apresentaram maiores concentrações de fosfato solúvel.

No teste de controle biológico todos os isolados inibiram o crescimento do *Colletotrichum truncatum*, mas apenas as cepas UFT 408, UFT 409, UFT 410, UFT 420 e UFT 424 inibiram o crescimento micelial de *Rhizoctonia solani*.

Referências

ASUMING-BREMPPONG, S. Phosphate solubilizing microorganisms and their ability to influence yield of rice. *Agricultural Science Research Journal*, v.3, n.12, p.379-386, 2013.

BELL, D. K.; WELLS, H. D.; MARKHAM, C. R. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*, v.72, n.4, p.379-382, 1982.

BADAWI, F. S. F.; BIOMY, A. M. M.; DESOKY, A. H. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Science*, v.56, p.17-25, 2011.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, v.7, p.249-260, 2004.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports*, v.10, n.2858, p.1-13, 2020.

CABALLERO-MELLADO, J.; MARTÍNEZ-AGUILAR, L.; PAREDES-VALDEZ, G.; SANTOS, P. E. *Burkholderia unamae* sp. Nov., na N₂-fixing rhizospheric and endophytic espécies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v.54, p.1165-1172, 2004.

CAMPOROTA, P. Antagonism in vitro of *Trichoderma* spp. vis-avis *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Agronomie*, v.5, p.613-620, 1985.

CATTELAN, A. J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Londrina: Embrapa Soja. 1999. 36p. (Embrapa Soja. Documentos, 139).

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; GODOY, V. H. S.; SANTOS, G. R.; MILLER, L. O.; CARVALHO FILHO, M. R. Bioprospecção de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *Colletotrichum cliviae* e *C. truncatum*. *Revista Brasileira de Biociências*, v.14, n.4, p.238-242, 2016.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; CASTRO, H. G. Phosphate solubilization capacity and indole acetic acid production by *Trichoderma* strains for biomass increase on basil and mint plants. *Brazilian Journal of Agriculture*, v.92, n.2, p.176-185, 2017.

CHOWDAPPA, P.; MOHAN KUMAR, S. P.; LAKSHMI, M. J.; UPRETI, K. K. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Control*, v.65, n.1, p.109-117, 2013.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; LÓPEZ-BUCIO, J. S.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; MACÍAS-RODRIGUÉZ, L.; RAMOS-VEGA, M.; GUEVARA-GARCÍA, A. A.; LÓPEZ-BUCIO, J. Mitogen-activated protein kinase 6 and ethylene and auxin signaling pathways are involved in Arabidopsis root-system architecture alterations by *Trichoderma atroviride*. *Mol Plant Microbe Interact*, v.28, n.6, p.701-10, 2015.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍQUEZ, L.; DEL-VAL, E.; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. *FEMS Microbiology Ecology*, v.92, p.1-17, 2016.

DAS, T.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. In vitro compatibility study between the *Rhizobium* and native *Trichoderma* isolates from lentil rhizospheric soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v.6, n.8, p.1757-1769, 2017.

DRUZHININA, I. S.; CHENTHAMARA, K.; ZHANG, J.; ATANASOVA, L.; YANG, D.; MIAO, Y.; RAHIMI, M. J.; GRUJIC, M.; CAI, F.; POURMEHDI, S.; SALIM, K. A.; PRETZER, C.; KOPCHINSKY, A. G.; HENRISSAT, B.; KUO, A.; HUNDLEY, H.; WANG, M.; AERTS, A.; SALAMOV, A.; LIPZEN, A.; LA BUTTI, K.; BARRY, K.; GRIGORIEV, I. V.; SHENG, Q.; KUBICEK, C. P. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS Genetics*, v.14, n.4, e1007322, 2018.

- FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. Biotecnologia aplicada à agricultura. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Recife, PE: Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), 2010. p.387-414.
- GRAVEL, V.; ANTOUN, H.; TWEDDELL, R. J. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology & Biochemistry*, v.39, n.8, p.1968-1977, 2007.
- HERMOSA, R.; CARDOZA, R. E.; RUBIO, M. B.; GUTIÉRREZ, S.; MONTE, E. Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In: GUPTA, V. K.; SCHMOLL, M.; HERRERA-ESTRELLA, A.; UPADHYAY, R. S.; DRUZHININA, I.; TUOHY, M. (Ed.). *Biotechnology and biology of Trichoderma*. 1ª Ed. Elsevier, p.125-137, 2014.
- MACHADO, R. G.; SÁ, E. L. S.; DAMASCENO, R. G.; HAHN, L.; ALMEIDA, D.; MORAES, T.; CAMARGO, F. A. O.; REARTES, D. S. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. *Ciência e Natura*, v.33, n.2, p.111-126, 2011.
- MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: O fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v.35, n.1, p.274-288, 2012.
- MACHADO, D. F. M.; SILVA, A. C. F. *Trichoderma* no controle in vitro de fungos presentes em diásporos de *Gochnatia polymorpha*. *Revista de Ciências Agrárias*, v.36, p.07-09, 2013.
- MENDES, G. O.; FREITAS, A. L. M.; PEREIRA, O. L.; SILVA, I. R.; VASSSILEV, N. B.; COSTA, M. D. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. *Annals of Microbiology*, v.64, p.239-249, 2014.
- MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: role of the fungal secretome. *Fungal Biology Reviews*, v.32, n.2, p.62-85, 2018.
- MONTE, B. H.; BETTIOL, E.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.181-199, 2019.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v.27, p.31-36, 1962.
- NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, v.170, p.265-270, 1999.
- NAHAS, H. Phosphate solubilizing microorganisms: effect of carbon, nitrogen, and phosphorus sources. In: VELÁZQUEZ-PÉREZ, E.; RODRIGUES-BARRUECO, C. (Ed.). *First international meeting on microbial phosphate solubilization: Salamanca, Spain*. Dordrecht: Springer, 2007. p.111-115. (Development in Plant and Soil Sciences, 102).
- OLIVEIRA, A. G.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, G. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS, L. F. B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.3, p.149-155, 2012.
- OHTO, C. T.; ROSA, D. D.; BASSETO, M. A.; SOUZA, N. L.; FURTADO, E. L. Primeiro relato de *Sclerotium rolfsii* em *Calophyllum brasiliensis* no Brasil. *Australasian Plant Disease Notes*, v.2, p.105-106, 2007.
- RAMADA, M. H. S.; LOPES, F. A. C.; ULHOA, C. J. *Trichoderma*: metabólitos secundários. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. p.201-2018, 2019.
- ROSA, D. D.; MASSON, M. V.; OHTO, C. T.; BASSETO, M. A.; AVELLAR, R. V. B.; FURTADO, E. L. Primeira ocorrência da antracnose causada por *Colletotrichum gloeosporioides* em *Calophyllum brasiliensis* no Brasil. *Aust. Plant Dis.*, v.3, p.105-106, 2008.
- RAWAT, R.; TEWARI, L. Effects of abiotic stress on phosphate solubilization by biocontrol fungus *Trichoderma* sp. *Current Microbiology*, v.62, p.1521-1526, 2011.
- SILVA, J. C.; TORRES, D. B.; LUSTOSA, D. C.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v.55, n.4, p.243-250, 2012.
- STAMFORD, N. P.; NAHAS, E. Microrganismos solubilizadores de minerais. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. (Ed.). *Biotecnologia aplicada à agricultura*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Recife, PE: Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), 2010. p.561-581.

VON WANDRUSZKA, R. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. *Geochemical Transactions*, v.7, p.1-8, 2006.

VITERBO, A.; LANDAU, U.; KIM, S.; CHERNIN, L.; CHET, I. Characterization of ACC deaminase from the biocontrol and plant growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* T203. *FEMS Microbiology Letters*, v.305, p.42-48, 2010.

WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for

sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v.9, p.1-6, 2018.

ZHANG, F.; YUAN, J.; YANG, X.; CUI, Y.; CHEN, L.; RAN, W.; SHEN, Q. Putative *Trichoderma harzianum* mutant promotes cucumber growth by enhanced production of indole acetic acid and plant colonization. *Plant and Soil*, v.368, n.1-2, p.433-44, 2013.

ZHONG, C. Q.; CAO, G. X.; HUANG, W. Y.; LUAN, X. S.; YANG, Y. F. Dissolving mechanism of strain P17 on insoluble phosphorus of yellow-brown soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.45, p.937-943, 2014.

Capítulo 6

ADUBAÇÃO COM CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM POTENCIAL EM CULTIVARES DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) PARA FORRAGEM

Demichaelmax Sales de Melo¹
Ytalo Roberto Pereira Damaceno²
José Marcelino Da Silva Júnior³
Guilherme Tenório de Almeida⁴
Jeandson Silva Viana⁵

¹MSc. Produção Agrícola, UFRPE, Garanhuns-PE, demichaelmax@gmail.com

²MSc. Produção Agrícola, UFRPE, Garanhuns-PE, yprata@yahoo.com.br

³MSc. Produção Agrícola, UFRPE, Garanhuns-PE, marcelinojunioragro@gmail.com

⁴Eng. Agrônomo, UFRPE, Garanhuns-PE, guilherme-ta@hotmail.com

⁵Dr. Prof. Titular, UFRPE, Garanhuns-PE, jeandsonsv@yahoo.com.br

Introdução

Da família Fabaceae, o Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma planta herbácea, com altos níveis de gorduras e proteínas. É usado na alimentação humana e animal, seus grãos podem ser consumidos beneficiados ou *in natura*, é ainda fonte de inúmeros subprodutos como farinha, óleo e farelo. A cultura do amendoim tem grande importância econômica para o Brasil, no ano de 2016 o país exportou 106 mil toneladas de amendoim (MDIC, 2019). No Nordeste a safra do amendoim de 2018 alcançou um total de aproximadamente 2,3 t/ha (CONAB, 2018), atribuídos aos estados de Ceará, Paraíba, Sergipe e Bahia.

Segundo Refat e Yu (2016), as leguminosas são importantes fontes proteicas de especial importância para a alimentação de ruminantes. Esse fato abre a perspectiva para um potencial de utilização da parte aérea da planta *A. hypogaea* L., devido ao seu alto nível de proteína, como uma alternativa para enriquecimento da dieta de ruminantes. É necessário o estudo de cultivares adaptadas à região para que seu máximo potencial de produção possa ser alcançado, pois a não adaptação das cultivares é um dos principais determinantes das baixas produtividades no Nordeste brasileiro (SANTOS et al., 2010).

Sabe-se que para alcançar elevadas produtividades na cultura do amendoim é fundamental que haja expressiva oferta de nutrientes (FOLONI, 2016). Para Argaw (2017), os altos custos dos fertilizantes químicos é um importante fator que tem levado à diminuição da utilização dessa fonte de nutrientes, em especial por pequenos produtores, e isso tem

levado a um aumento na utilização de fontes alternativas, desde que essas se mostrem viáveis no papel de fornecimento de nutrientes para as plantas.

Segundo Chen et al. (2018), tanto os adubos químicos quanto os orgânicos são importantes fontes de nutrientes para a cultura do amendoim, atuando a longo prazo de forma benéfica para melhorar as qualidades do solo para receber o cultivo dessa cultura. De acordo com Severino et al. (2006), materiais de origem vegetal, como bagaço de cana-de-açúcar, têm se destacado como ingredientes para compor substratos para produção de diversas culturas, no entanto, faz-se necessário análises para o uso desses materiais, por isso é importante conhecer sua composição química para a elaboração de formulações adequadas ou decidir sobre a necessidade de suplementação com outras fontes de nutrientes.

A utilização de cinzas, como alternativa aos adubos sintéticos, além de atuar como fonte de nutrientes e melhorador do solo torna-se viável, pois apresenta em sua composição quantidades razoáveis de macro e micronutrientes, além de características de corretivo de acidez do solo (OLIVEIRA et al., 2006). A fertilização com cinza de bagaço de cana-de-açúcar apresenta-se como uma importante fonte de nutrientes para a agricultura, promovendo reaproveitamento de materiais que provavelmente teriam um descarte inadequado, em um cenário cada vez mais voltado para a sustentabilidade, os resultados alcançados com as novas fontes de adubação demonstram a eficiência desse material, proporcionando resultados

importantes e satisfatórios para os diversos cultivos (CORDEIRO et al., 2009).

Na perspectiva da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como alternativa de baixo custo para a produção cultivares de amendoim, este trabalho tem como objetivo avaliar a produção de biomassa e a produtividade de grãos, em comparação com o sistema convencional de adubação.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em área pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, na Unidade Acadêmica

de Garanhuns - UAG, no período entre 16/05/2018 e 15/08/2018. O solo apresenta característica física Franco Arenoso e classificação Argissolo Amarelo. O município possui uma altitude média de 842 m O clima é classificado segundo Köppen (MOTA, 1986) como As', caracteristicamente quente e úmido, com temperatura média anual de 20°C, com precipitação anual média de 1.038mm, onde maio e junho são considerados os meses mais chuvosos, o município apresenta ainda, umidade relativa que varia de 75 a 83% (Figura 1) (ANDRADE et al., 2008).

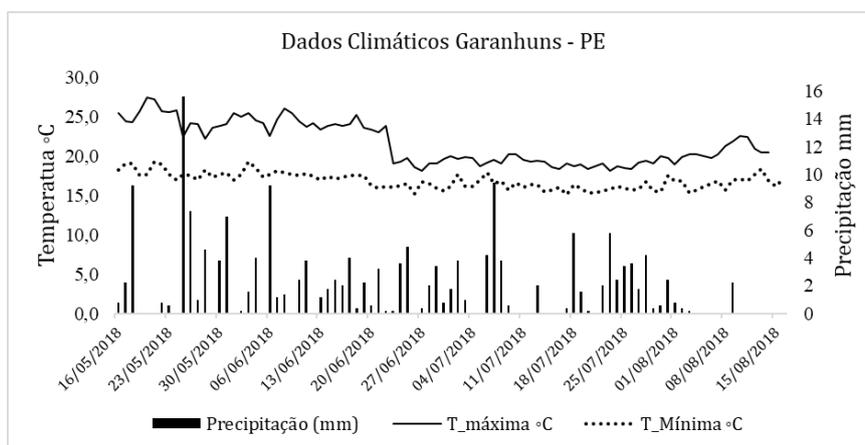


Figura 1. Dados climáticos do município de Garanhuns – PE. Fonte: INMET (2018).

Tabela 1. Caracterização química das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar

	pH	P	K	Ca	Mg	M.O	Outros minerais
	g kg ⁻¹						
Cinza do bagaço de cana	9,25	21,41	14,94	36,46	3,01	120	170

Tabela 2. Resultados análise do solo usado no experimento

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V1	CC	PMP	AD
	mg/kg	cmol _c /kg								%	g/g		
6,5	64,6	0,77	0,47	2,9	2,6	0,4	1,48	6,74	8,23	82	0,11	0,057	0,053

O estudo foi conduzido em vasos com volume de 8,5 litros, em condições de campo, em esquema fatorial 2 x 6, com duas variedades de amendoim, Caiana e Tatu ST, seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 60 parcelas experimentais, cada parcela foi composta de uma planta após desbaste.

As plantas foram submetidas a quatro doses de cinza, 0, 50, 100 e 150%/ha⁻¹, de acordo com a recomendação para a cultura no Estado de Pernambuco (IPA, 2008), com base nos resultados da análise de solo (Tabela 2), e a testemunha adicional com adubação padrão NPK 20-20-20. O resíduo utilizado no

experimento foi a cinza do forno de panificadoras resultante da queima do bagaço de cana-de-açúcar (Tabela 1). Após a coleta da cinza, esse material passou por uma peneira de 2mm para melhor homogeneização.

A semeadura foi realizada no mês de abril de 2018, onde foram depositadas 8 sementes por vaso, e o desbaste foi realizado 32 dias após a semeadura (DAS) deixando apenas a planta mais vigorosa em cada vaso. Foram coletadas 16 plantas por tratamento para análises biométricas iniciais. A recepa foi realizada a uma altura de 15 cm do solo aos 60 DAS para que as plantas não tivessem a

produção de grãos prejudicada. Foi feita irrigação de salvação das plantas quando não houve precipitação natural aplicando aproximadamente 3 mm ao dia. Para controlar o desenvolvimento de plantas espontâneas, foram realizadas capinas manuais quando a densidade era alta.

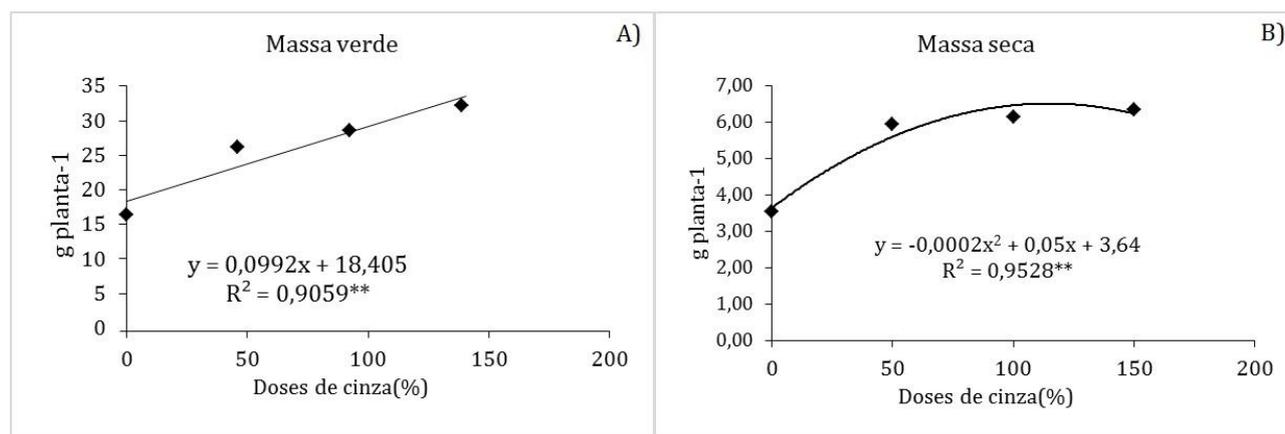
Baseado nos resultados satisfatórios observados na produção de MV e MS, Para interpretação da parte vegetativa foram analisadas as variáveis bromatológicas proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e material mineral (MM), objetivando identificar potencialidades para a utilização da receita do amendoim como suplemento proteico para a alimentação de ruminantes.

Na análise estatística os resultados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, e as doses foram avaliadas através de regressão. Quando houve significância estatística, fez-se uso do teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

Os resultados observados no experimento apresentam-se significativos como pode ser observado nos gráficos da Figura 2, os quais demonstram que, de maneira geral as respostas das variáveis massa verde (MV) e massa seca (MS) apresentam um comportamento quadrático, onde esse fenômeno pode ser explicado por diversos fatores. Larcher (2003) relaciona esse comportamento ao chamado consumo de luxo, o que segundo o mesmo, trata-se de uma não resposta ou mesmo uma resposta negativa ao fornecimento de nutrientes além das necessidades de uma cultura.

O que se observa é que, mesmo com uma redução na produção de MS à medida que aumenta-se a dose de cinza, a utilização desse material se mostra eficiente como fonte de nutrientes para a cultura do amendoim, tendo influenciado diretamente no aumento da produção de MV e MS, os resultados obtidos por Franco (2018) reforçam que a utilização de adubação para a cultura do amendoim pode ser expresso no acúmulo de MV.



** : significativo ($P < 0,01$); * : significativo ($P < 0,05$).

Figura 2. A) Análise de regressão para Massa Verde (MV) e B) Massa Seca (MS) de receita de amendoim em função de doses de cinza.

Os resultados observados por Bonfim-Silva et al. (2013) indicam que a utilização de cinzas como fonte de nutrientes pode refletir no acúmulo de MS, esses resultados são semelhantes ao observado neste estudo, o que evidencia os efeitos benéficos da utilização da cinza como fonte de adubação.

Os valores de proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e material mineral (MM), estão expostos na Tabela 3, que de acordo com Miranda et al. (2013) e Rosa (2014) apresentam valores coerentes na utilização de forragem. Possibilitando a utilização da receita de amendoim com essa finalidade.

Tabela 3. Valores em percentagem de PB, FDN e FDA na matéria seca, para variedades Caiana e Tatu ST sob adubação mineral

Tratamento NPK	PB	FDN	FDA	MM
Caiana	16,66	33,47	21,4	15,2
Tatu	17,86	34,15	22,25	16,2

A variedade Caiana não apresenta resposta ao incremento de doses de cinza como mostra a Figura 3. Esse resultado está ligado ao fato de ser uma variedade crioula do grupo Virgínia que apresenta características como

ciclo longo e baixas respostas a adubação (RAMOS, 2015). Contudo os valores expostos para as variáveis analisadas apresentam-se similares aos valores encontrados no tratamento com adubação mineral.

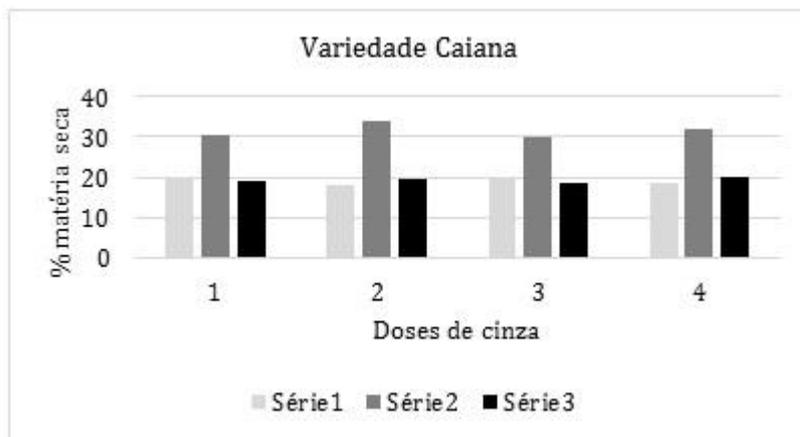


Figura 3. Valores em porcentagem de PB, FDN e FDA na matéria seca, para variedade Caiana sob o incremento de doses de cinza.

Pode ser observado na Figura 4, que para a variedade Tatu os valores de FDN e FDA diminuíam próximo de 20%, com o acréscimo das doses de cinza. E o valor para Proteína Bruta (PB) apresenta aumento se aproximando de 30%, sabendo ainda que esses teores, de maneira geral nas leguminosas são considerados fontes diretas para este

parâmetro, esse valor se mostra superior a resultados encontrados em leguminosas, caracterizando ótima qualidade bromatológica a essa variedade, com esse acréscimo demonstra que essa variedade responde de forma satisfatória ao incremento de doses de cinza (PINTO, 2016).

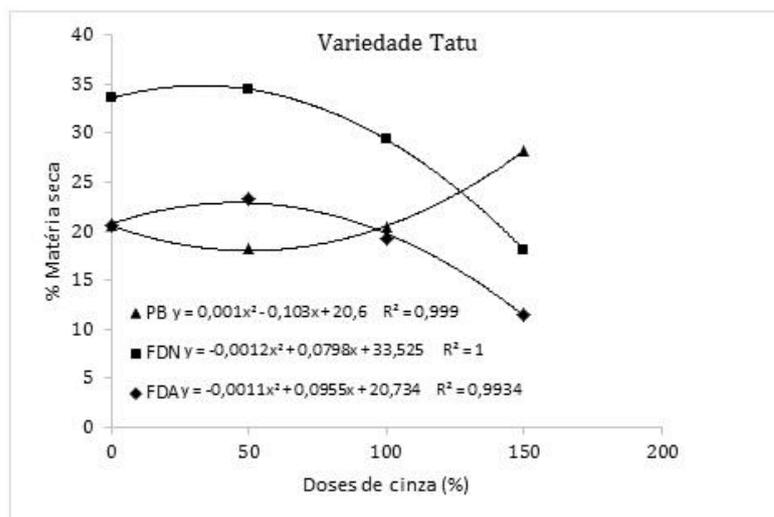


Figura 4. Análise de regressão para valores em porcentagem de PB, FDN e FDA na matéria seca, para variedade Tatu sob o incremento de doses de cinza.

Para os valores do material mineral (Figura 5), observa-se que apresenta um comportamento linear e crescente. Isto demonstra que, as duas variedades estudadas respondem positivamente quanto ao acúmulo dos nutrientes minerais em relação ao

incremento das doses de cinza, que é uma adubação rica no elemento fósforo (P) essencial e fonte de energia para a planta. Estes resultados condizem com as observações feitas por Meneghette et al. (2017).

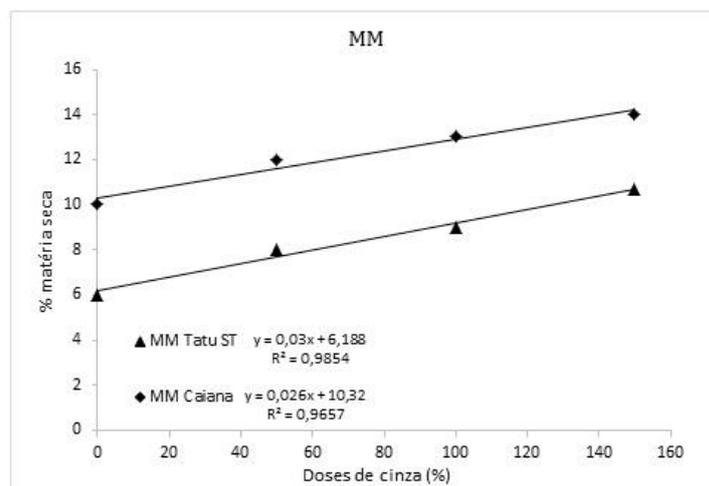


Figura 5. Análise de regressão para valores em porcentagem do material mineral encontrado na matéria seca das variedades Tatu e Caiana.

De acordo com a análise de variância, as cultivares e os tratamentos apresentam efeito significativo estatisticamente a 0,01 pelo teste F, e a cultivar Caiana é superior quando comparada a Tatu ST. Quando comparado a adubação orgânica com a testemunha e a adubação mineral, não ocorre diferença

significativa estatisticamente entre adubação orgânica e mineral. No entanto o teste de médias evidencia a resposta inferior da testemunha (Tabela 4), e os resultados condizem com o observado por Aita et al. (2001) ao avaliarem a produção de massa seca em milho.

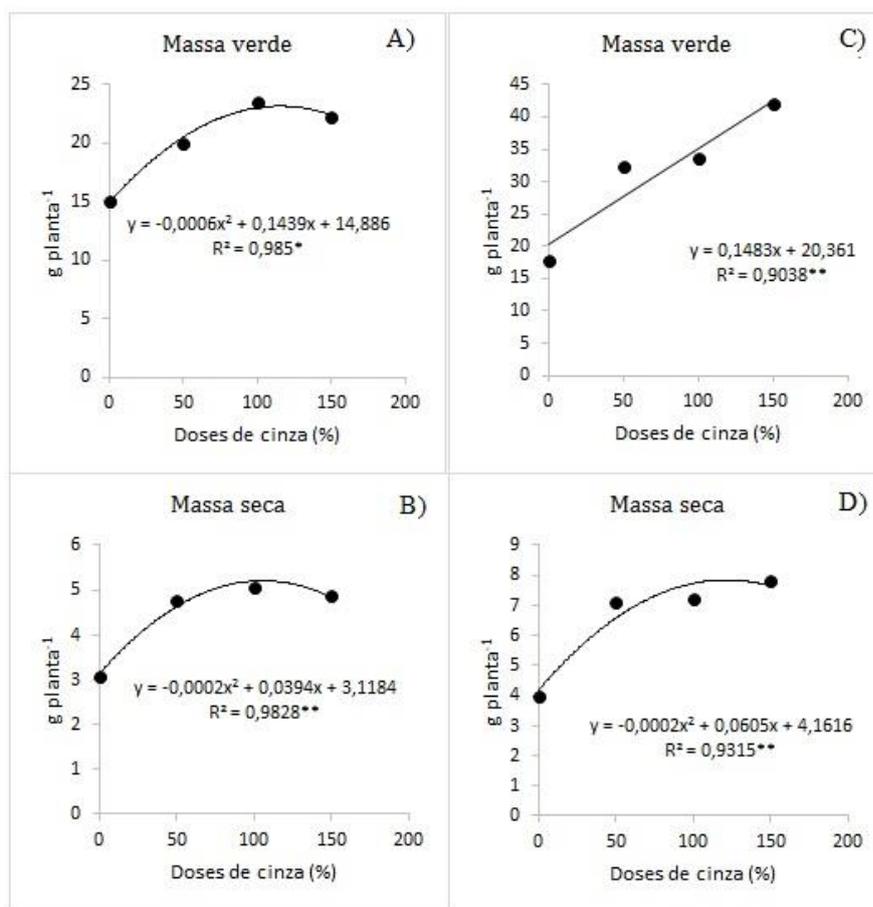
Tabela 4. Síntese da análise de variância para Massa verde (MV) e massa Seca (MS) para as cultivares Tatu ST e Caiana sob diferentes fontes de nutrientes

Teste F	Massa verde (MV)	Massa seca (MS)
Cultivares	778,08 **	51,37 **
Tratamentos	1003,74 **	47,80 **
Cultivares*Tratamentos	80,00 NS	2,72 NS
CV (%)	24,99	29,22
Cultivares		
Caiana	27,11 a	5,99 a
Tatu ST	20,53 b	4,30 b
Tratamentos		
Orgânica (O)	28,59 a	6,13 a
Química (NPK)	26,41 a	5,78 a
Testemunha (T)	16,46 b	3,53 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo ($P < 0,01$); *: significativo ($P < 0,05$); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

De modo geral as variedades estudadas apresentam resposta quadrática para MV e MS,

como observa-se nos gráficos da Figura 6 que corroboram com a análise de variância.



** : significativo ($P < 0,01$); * : significativo ($P < 0,05$).

Figura 6. Análise de regressão para Massa verde (MV) e massa Seca (MS) para as cultivares Tatu ST (A e B) e Caiana (C e D) sob diferentes doses de cinza.

Conclusão

Conforme os resultados obtidos neste trabalho, é possível expor que a utilização de adubação com a cinza pode ser utilizada como alternativa viável em relação ao uso de fertilizantes químicos, no entanto as respostas a adubação dependem de cada cultivar e de como essas respondem aos insumos.

A cultivar Tatu respondeu melhor a utilização de adubação, independente da fonte de nutrientes utilizada, demonstrando ser mais responsiva ao aumento de doses de cinza.

A cultivar Caiana mostrou-se pouco responsiva ao aumento das doses de cinza, ou mesmo a adubação, quanto a produção de MV e MS.

Dessa forma torna interessante o uso das cinzas na cultura do amendoim, tendo em vista que suas composições atendem à demanda da cultura, implicando em ganho de massa, garantindo a possibilidade de sua utilização como forragem.

Referências

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.1, p.157-165, 2001.
- ANDRADE, A. R. S.; PAIXÃO, F. J. R.; AZEVEDO, C. A. V.; GOUVEIA, J. P. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. S.; Estudo do comportamento de períodos secos e chuvosos no município Garanhuns, PE, para fins de planejamento agrícola. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.1, n.1, p.54-61, 2008.
- ARGAW, A. Organic and inorganic fertilizer application enhances the effect of *Bradyrhizobium* on nodulation and yield of peanut (*Arachis hypogea* L.) in nutrient depleted and sandy soils of Ethiopia. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v.6, n.3, p.219-231, 2017.
- BONFIM-SILVA, E. M.; KROTH, B.; SILVA, T.; FREITAS, D. D. Disponibilidades hídricas no desenvolvimento inicial de sorgo e ph do solo. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14, p.397-407, 2012.
- CHEN, W.; TENG, Y.; LI, Z.; LIU, W.; REN, W.; LUO, Y.; CHRISTIE, P. Mechanisms by which organic

fertilizer and effective microbes mitigate peanut continuous cropping yield constraints in a red soil of south China. *Applied Soil Ecology*, v.128, p.23-34, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra de grãos 17/18. Boletim da safra de grãos - terceiro levantamento. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 21/04/2018.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. *Ambiente Construído*, v.9, n.4, p.99-107, 2009.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, n.2, p.36-41, 2011.

FOLONI, J. S. S.; BARBOSA, A. D. M.; CATUCHI, T. A., CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, v.15, n.2, p.202-208, 2016.

FRANCO, C. F. Efeito da adubação com enxofre no potencial produtivo energético do amendoim. *Ciência & Tecnologia*, v.10, n.1, p.22-35, 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Disponível em: <http://inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima>. Acesso em: 15 de ago. 2018.

IPA. Instituto Agrônomo de Pernambuco. Manual de recomendação de adubação para o estado de Pernambuco. 2.a Aproximação. IPA, 2008. 117p.

LARCHER, W. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media, p.340-353, 2003.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior. Sistema de análise das informações de comércio exterior (ALICE). Brasília: MDIC/SECEX. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: jan. 2019.

MENEGHETTE, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; PARRA, L. F.; HAYASHI, F. K. Doses de fósforo e potássio em plantas de amendoim na presença e ausência de adubação foliar. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.11, n.2, p.125-134, 2017.

MIRANDA, J. P. H. V.; DE CARVALHO, C. H. F.; DUQUE, F. D. A.; MOURA, D.; SOARES, J. P. G.;

FERNANDES, F. D.; MALAQUIAS, J. V. Produção de biomassa e composição química de pastagens consorciadas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com o *Stylozanthos guianensis* cv. Bela sob manejo orgânico e convencional em Planaltina-DF. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 23, 2013, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, 2013.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O. Clima e agricultura no Brasil. Porto Alegre: Sagra, 1986. 51-70p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, p.178-180, 1999.

OLIVEIRA R. F. de; FURLAN JÚNIOR, J.; TEIXEIRA, L. B. Composição química de cinzas de caldeira da agroindústria do dendê. Comunicado Técnico. Embrapa Amazônia Oriental, n.155, 2006.

PINTO, M. M. F. Composição química e degradabilidade ruminal de fenos de leguminosas da caatinga. 70f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-graduação em Produção Animal. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2016.

RAMOS, J. P. C. Divergência genética em acessos de amendoim com base em descritores fenotípicos, 15f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2015.

REFAT, BASIM; YU, PEIQIANG. Maximizing Fiber Utilization of Silage in Ruminants. In: *Advances in Silage Production and Utilization*. IntechOpen, 2016.

ROSA, L. O. Silagem de leguminosas à base de amendoim forrageiro e soja: características fermentativas desempenho de bovinos de corte mestiços. 94f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

SANTOS, R. C.; RÊGO, G. M.; DA SILVA, A. P.; VASCONCELOS, J. O.; COUTINHO, J. L.; MELO FILHO, P. D. A. Produtividade de linhagens avançadas de amendoim em condições de sequeiro no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.589-593, 2010.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. M. Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas. 2006. Embrapa Algodão-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

Capítulo 7

MODELO ESPACIAL DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Júlio Aparecido Santana Santos¹

Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas²

André Quintão de Almeida³

¹Técnico-Administrativo em Educação, Mestre em Recursos Hídricos, UFS, Campus Lagarto, julioaparecido@hotmail.com

²Professor Associado, DEAGRI/UFS, Campus São Cristóvão, aatlucas@gmail.com

³Professor Adjunto, DEAGRI/UFS, Campus São Cristóvão, andreqa@gmail.com

Introdução

A erosão é um problema premente e transformou o curso da História humana mais que as guerras ou as revoluções. De modo gradual, o processo de erosão provoca o desprendimento e o transporte do solo, ao ser acelerado pelas práticas inadequadas de agricultura, tornando-o inabitável. Além de reduzir a sua capacidade de produção em uma relação direta com a escassez de alimentos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008).

O estudo da erosão dos solos possibilita prever o potencial erosivo em uma área e permite direcionar a atividade humana no uso e manejo sustentável dos recursos naturais (LOPES et al., 2011).

A origem da erosão ocorre através da transferência de energia e matéria proveniente da força eólica ou hídrica que ocasiona o rompimento do equilíbrio natural existente no solo e a cobertura vegetal. A erosão hídrica é agravada em áreas de clima tropical, a exemplo do Brasil, pelas chuvas concentradas e intensas em determinados períodos do ano, além do manejo inadequado das águas pluviais (MAFRA, 2005; PEJON et al., 2013; PRUSKI, 2011).

Durante as chuvas, cada gota de água exerce sua ação erosiva sobre o solo ao impactar com velocidade, duração, intensidade, frequência e energia variável. Assim, nas áreas agrícolas o processo de erosão hídrica desagrega e transporta as partículas da massa de solo, promove a diminuição da capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial de sedimentos ou materiais inconsolidados (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; PEJON et al., 2013).

Um fator limitante ao desenvolvimento e para a consolidação da produção agrícola no Semiárido Brasileiro é a irregularidade na distribuição das chuvas. A região é afetada por

grandes secas e contrariamente por precipitações intensas em curtos períodos que ocasionam a erosão do solo e a perda de grandes volumes de água não armazenados em seu perfil (MARENGO, 2006; PORTO et al., 2011). Nas serras do semiárido as altitudes variam de 1.000 a 2.000 metros e com o aumento da altitude as chuvas orográficas precipitam cerca de 1.500 mm ano⁻¹ (FRANCA-ROCHA et al., 2007).

Na área de Caatinga a proteção natural do solo as intempéries fazem com que o processo de desertificação ocorra espontaneamente mesmo na ausência da intervenção antrópica. Porém, é evidente que a intervenção humana nesse ambiente através da extração da vegetação para a agricultura e pecuária aceleram o processo (PEREZ-MARIN et al., 2012).

O processo erosivo no semiárido afeta as bacias hidrográficas da região, a exemplo da bacia hidrográfica do rio São Francisco com a formação de bancos de areia ao longo da sua calha e a redução da capacidade de escoamento (BRASIL, 2012). Segundo Martins (2013), a conservação dos solos deve ser adotada numa escala de município, ao visar a participação de todas as propriedades rurais que a compõem. O que possibilita a definição em conjunto das melhores técnicas de conservação a serem implementadas.

Do mesmo modo, a Lei Federal de nº 8.171 de 1991, ao dispor sobre a política agrícola determina que por se tratar de um patrimônio natural do País, o solo deve ser respeitado e a erosão deve ser combatida pelo Poder Público e pelos proprietários rurais (BRASIL, 1991).

Para a adoção das práticas conservacionistas e o planejamento ambiental, o uso de equações empíricas capazes de estimar

as perdas de solo e o índice da erosividade vem se tornando indispensáveis (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; SAITO et al., 2009).

O índice de erosividade (R) das chuvas é um dos principais parâmetros de entrada da Equação Universal de Perdas de Solos (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O valor do índice de erosividade ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) de uma determinada região reflete o poder da precipitação pluvial incidente em erodir o solo, quando este se encontra sem cobertura vegetal (AQUINO et al., 2008) e está diretamente relacionado como a duração, intensidade e frequência dos eventos de precipitação (BAZZANO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2006; MONTEBELLER et al., 2007).

O modelo original de estimativa do índice de erosividade (WISCHMEIER & SMITH, 1978) se baseia na energia cinética das gotas das chuvas e depende de dados pluviométricos coletados em curtos intervalos de tempo menores ou iguais a 20 minutos. Em algumas regiões do mundo, como a região Nordeste do Brasil, existe uma grande carência deste tipo de informação, dificultando a estimativa deste índice (ARAGÃO et al., 2011; MOREIRA et al., 2006).

Devido a carência de dados para determinar a precipitação em curtos intervalos de tempo, as coordenadas geográficas apresentam boa correlação na tentativa de estimar as chuvas mensais. Estudos como o de Teodoro et al. (2016) para o estado do Mato Grosso do Sul, a latitude e a altitude apresentaram os maiores efeitos sobre a distribuição espacial das chuvas, enquanto Teixeira-Gandra et al. (2015), a latitude apresentou uma maior influência na estimativa dessas precipitações para o estado do Rio Grande do Sul.

Em relação a estimativa do índice de erosividade em regiões com carência de dados pluviométricos coletados em curtos intervalos de tempo, métodos alternativos com boa precisão também estão sendo desenvolvidos. Bertoni e Lombardi Neto (2008), desenvolveram um método de estimativa da erosividade com base nos valores mensais e

anuais de precipitação pluvial e no índice de Fournier. De acordo com os autores, o método pode ser utilizado em áreas com disponibilidade de dados históricos de precipitação pluvial superiores há 10 anos.

Mannaerts e Gabriels (2000) avaliaram a erosividade das chuvas na ilha de Cabo Verde com base em dados de precipitação pluvial coletados em média, em sete anos, encontrando bons resultados. No estudo do potencial de erosão laminar da bacia hidrográfica do rio Japarutuba/SE, Aragão et al. (2011) estimaram a erosividade das chuvas com base no modelo desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (2008).

Em algumas regiões do Brasil, muitos estudos encontraram uma boa correlação entre os valores pontuais do índice de erosividade e os totais mensais e anuais de precipitação pluvial (ARAGÃO et al., 2011; ARAGÃO et al., 2013; SILVA, 2004). No entanto, poucos são os estudos que buscam estimar valores do índice de erosividade das chuvas a partir de variáveis geográficas, como a latitude, a longitude, a altitude e a menor distância em relação ao litoral.

Neste estudo, por carência de dados, foi utilizado o modelo desenvolvido por Cantalice et al. (2009), o qual estabelece correlações simples entre o índice de erosividade (EI_{30}) e parâmetros de precipitação pluviométrica em função do total de chuva incidente. Espera-se, portanto, haver uma relação direta entre os valores de precipitação e de erosividade.

Diante do exposto, este trabalho objetiva ajustar modelos espaciais de estimativa da erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro em função das coordenadas geográficas e da menor distância ao litoral.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Semiárido Brasileiro, com área aproximada de 980.711 km². A região está localizada entre as coordenadas 3°4'47" e 17°39'22" de latitude Sul e 46°7'14" e 35°16'20" de longitude Oeste (Figura 1).

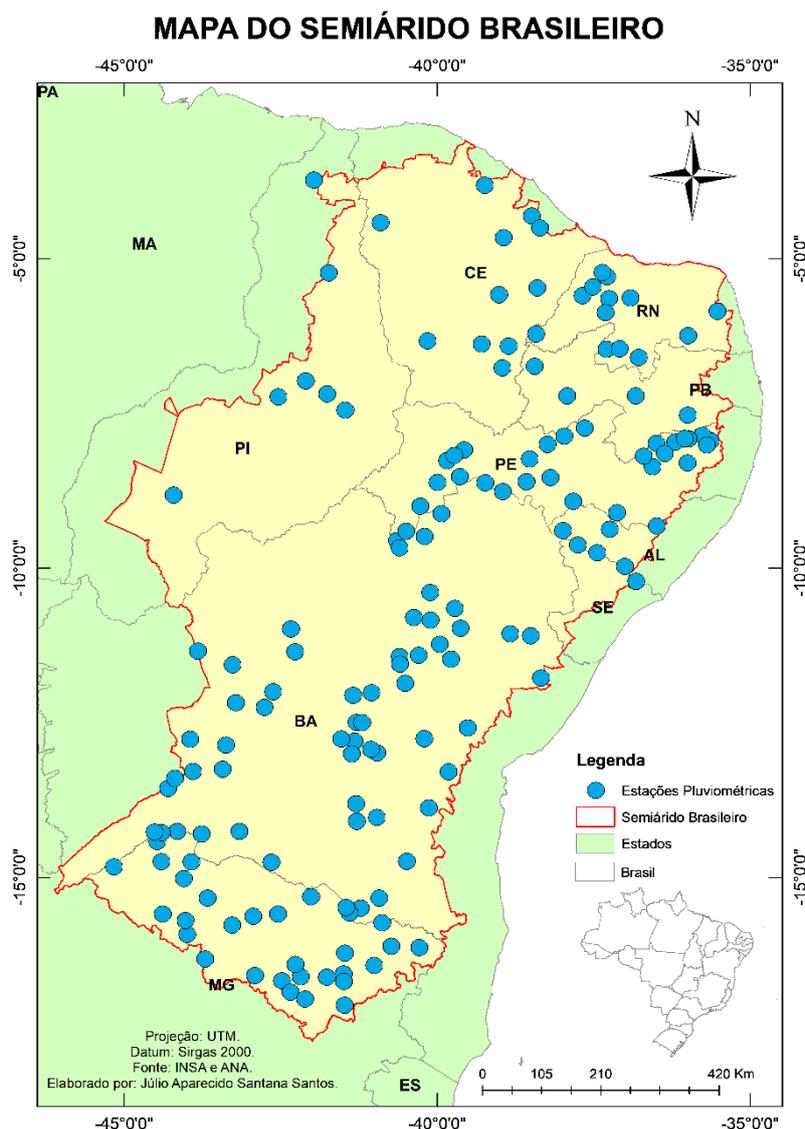


Figura 5. Localização da área de estudo e distribuição pluviométrica. Fonte: Adaptado de INSA (2016); ANA (2013).

Na estimativa do índice de erosividade do semiárido, foram utilizadas séries climáticas normais mensais de precipitação pluvial de 158 estações pluviométricas distribuídas pela região (Figura 1). Os dados foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb (ANA, 2013). A região apresenta áreas afetadas pela desertificação de modo grave, moderado e muito grave, além da ocorrência do processo de desertificação devido as causas naturais, como relevo e clima em um ecossistema naturalmente frágil, além do precário equilíbrio ambiental. A desertificação é agravada pela ação antrópica, com o uso inadequado do solo e a posterior perda da sua fertilidade natural (TROLEIS & SANTOS, 2011).

O estudo da estimativa do índice de erosividade mensal (EI_{30}) foi realizado pela metodologia proposta por Cantalice et al. (2009) utilizando-se a Equação 1.

$$EI_{30} = 73,34 + 23,18(R) \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: R = índice de Fournier modificado ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$).

O índice de Fournier modificado (RENARD & FREIMUND, 1994) foi estimado conforme a Equação 2.

$$R = p_i^2 P^{-1} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: p = precipitação média do mês i (mm); e P = precipitação média anual (mm).

O índice de erosividade anual foi estimado pela somatória dos valores encontrados em cada mês do ano. A escolha do método desenvolvido por Cantalice et al. (2009)

foi baseada na disponibilidade de dados de precipitação pluvial existentes na área de estudo e pela semelhança entre as regiões climáticas do semiárido e Pernambuco.

Na estimativa do índice de erosividade do Semiárido Brasileiro, foram utilizadas séries climáticas normais mensais de precipitação pluvial de 158 postos pluviométricos da Agência Nacional das Águas (ANA, 2013). Os dados utilizados neste estudo foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), constituindo-se de séries históricas

pluviométricas, com duração mínima de quinze anos e máxima de noventa e seis anos.

Na análise preliminar dos índices de erosividade, foram utilizadas estatísticas descritivas, com o objetivo de sintetizar os valores e permitir uma visão global da variação dos valores obtidos através da média, desvio padrão, valores máximos e mínimos. O índice também foi classificado de acordo com Carvalho (2008) em classes que variam de fraca a muito forte de forma especializada em função do seu valor, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do potencial erosivo anual

Classe de erosividade	Erosividade (MJ.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Erosividade fraca	R ≤ 2452
Erosividade moderada	2452 < R ≤ 4905
Erosividade moderada a forte	4905 < R ≤ 7357
Erosividade forte	7357 < R ≤ 9810
Erosividade muito forte	R > 9810

Fonte: Carvalho (2008).

Os valores de altitude (h) utilizados no trabalho, em metros, foram extraídos dos arquivos digitais da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) (MIRANDA, 2005), com resolução espacial de 90 metros. A partir da grade regular do SRTM, foram gerados valores de latitude (φ) e longitude (λ), em graus, com a mesma malha espacial de 90 metros. Já a distância (d), foi estabelecida através da determinação da distância euclidiana a partir do litoral até o continente. Toda manipulação dos dados fisiográficos foi realizada com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcMap 10®.

A partir dos valores estimados do índice de erosividade, modelos de regressão lineares (Equação 3) foram ajustados em função dos valores de latitude, longitude, altitude e a menor distância ao litoral.

$$EI_{30} = \beta_0 + \beta_1\phi + \beta_2\lambda + \beta_3h + \beta_4d + \xi \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: EI_{30} = valores do índice de erosividade para cada mês; $\beta_{0, 1, \dots, 4}$ = coeficientes gerados; ϕ = latitude, em graus; λ = longitude, em graus; h = altitude local, em metros; d = menor distância em relação ao litoral, em metros e ξ = erro aleatório com média próxima de 0 e variância igual a 1.

Na análise exploratória dos dados foi utilizado diagrama de dispersão para verificar a força e a natureza entre as variáveis explicativas (latitude, longitude, altitude e menor distância) e a variável dependente (índice de erosividade).

Para se obter as melhores variáveis explicativas foram aplicadas técnicas de seleção baseadas no coeficiente de determinação (r^2), na raiz do erro quadrático médio (REQM), descrito na Equação 4 e no Critério Bayesiano de Informação (CBI).

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}$$

Onde: P_i = valores preditos; O_i = valores observados; e N = número de dados avaliados.

O critério bayesiano de informação (CBI) (Equação 5) é utilizado para selecionar modelos em diversas áreas, onde o melhor modelo será aquele que apresentar o menor valor (EMILIANO, 2009).

$$CBI = p \log(n) - 2 \log L(\theta) \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: p = número de parâmetros; n = número de observações; e $L(\theta)$ = o máximo da função de verossimilhança.

Na seleção das variáveis foram consideradas todas as possíveis regressões, formadas a partir do conjunto total de variáveis explicativas, para modelos com um número pré-determinado de parâmetros. O ajuste dos modelos de erosividade gerados e a criação dos gráficos foram realizados através do software livre de estatística R v.3.3.3.

De posse dos modelos ajustados e validados, os valores de erosividade mensal e anual, foram espacializados com o auxílio do ARCGIS, Sistema de Informação Geográfica (SIG), através das ferramentas de análise espacial, álgebra de mapas, interpolação e reclassificação.

Resultados e Discussão

Os resultados da análise estatística descritiva dos valores do índice de erosividade são apresentados na Tabela 2. Setembro é o mês que apresenta a menor média (48,30), o quadrimestre mais erosivo compreende os meses de janeiro a abril, sendo março o mês no qual é observado o maior valor de erosividade das chuvas (1.676,60 MJ.mm.ha⁻¹.mês⁻¹). Resultado semelhante ao encontrado por Aragão et al. (2011) em uma bacia hidrográfica localizada no estado de Sergipe. O maior desvio padrão foi observado no último mês do ano, já o menor desvio padrão foi observado em setembro, mês com baixos valores precipitados.

Tabela 2. Caracterização dos valores do índice de erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro

Mês	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de correlação			
					Latitude	Longitude	Altitude	Distância
Janeiro	69,08	352,32	848,61	117,71	-0,59*	-0,63*	0,03 ^{NS}	0,39*
Fevereiro	72,03	317,2	876,45	145,84	0,09 ^{NS}	-0,18*	-0,18*	0,02 ^{NS}
Março	101,9	470,4	1.676,60	273,74	0,37*	0,09 ^{NS}	-0,28*	-0,27*
Abril	91,08	351,87	1.597,46	295,32	0,68*	0,40*	-0,31*	-0,49*
Mai	9,59	195,76	696,77	168,85	0,79*	0,63*	-0,22*	-0,56*
Junho	1,51	148,12	593,65	161,90	0,55*	0,56*	-0,01 ^{NS}	-0,35*
Julho	0,03	116,67	534,30	141,66	0,44*	0,49*	0,02 ^{NS}	-0,27*
Agosto	0	66,723	340,40	86,28	0,30*	0,41*	0,09 ^{NS}	-0,22*
Setembro	0,18	48,30	168,38	37,52	-0,17*	0,09 ^{NS}	0,17*	-0,09 ^{NS}
Outubro	0,11	122,95	345,16	94,21	-0,93*	-0,72*	0,16*	0,46*
Novembro	0,77	314,14	810,20	271,05	-0,93*	-0,79*	0,14 ^{NS}	0,53*
Dezembro	18,39	388,51	922,55	302,49	-0,90*	-0,79*	0,13 ^{NS}	0,55*
Anual	1.512	2.893	5.865	687,67	-0,13 ^{NS}	-0,30*	-0,17*	-0,01 ^{NS}

*Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos coeficientes de correlação, entre os valores do índice de erosividade e as coordenadas geográficas, mostra um comportamento diferenciado entre dois períodos distintos do ano, o chuvoso e o seco. No chuvoso (janeiro a julho), são observados os maiores valores do coeficiente de correlação direta e significativo a 5% de probabilidade. Este resultado mostra evidências de uma possível relação entre o índice de erosividade e os valores de latitude e a longitude, assim como encontrado no trabalho de Silva (2004), o qual estabeleceu um mapa de erosividade para o Brasil através da precipitação anual. Já o período seco do ano (setembro a dezembro),

apresenta os maiores coeficientes de correlação negativa significativa entre os índices de erosividade e a latitude e a longitude. A altitude apresenta baixos valores de correlação significativa, além de seis meses não significativos. Já a distância em relação ao litoral apresenta no período chuvoso os maiores coeficientes de correlação negativa.

Na Figura 2 podem ser observados os diagramas de dispersão entre os valores de erosividade anual, as coordenadas geográficas e a menor distância ao litoral. Apesar dos coeficientes de correlação significativos (Tabela 2), os diagramas de dispersão apresentam uma distribuição aleatória.

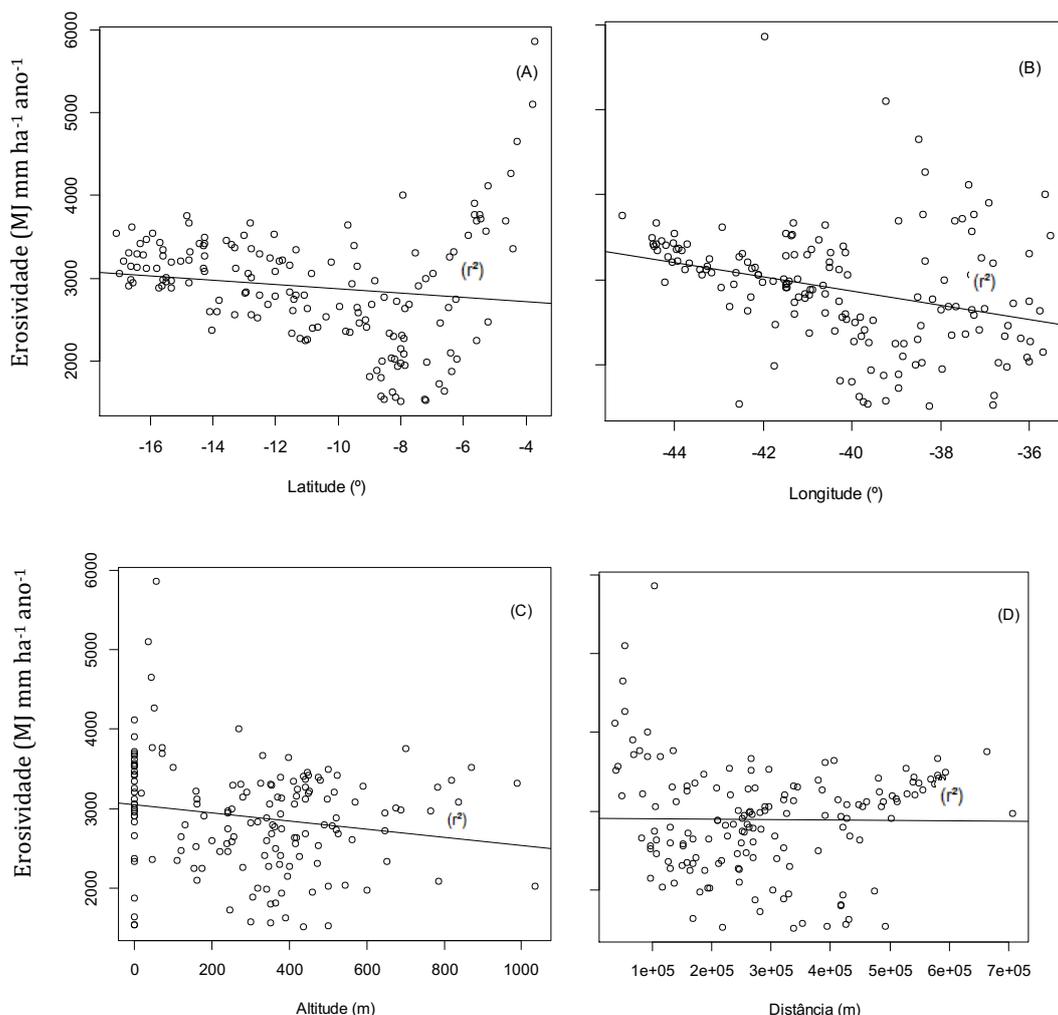


Figura 2. Relação entre as variáveis explicativas e a erosividade anual.

O índice de erosividade apresenta uma correlação inversa moderada com os valores de latitude, longitude, altitude e da menor distância (Figura 2A, 2B, 2C e 2D). O mesmo comportamento pode ser observado pelos coeficientes de correlação da Tabela 2 para o período seco em relação à latitude e a longitude. Ao analisar a longitude no período chuvoso a correlação com a erosividade é positiva, o mesmo ocorre com a latitude que apresenta um resultado similar ao encontrado por Silva (2004) no estudo de mapeamento da erosividade das chuvas no Brasil.

O coeficiente de determinação (r^2) entre o índice de erosividade e as variáveis

explicativas, latitude, longitude, altitude e distância, são de 0,012, 0,087, 0,024 e -0,006, respectivamente. Valores considerados pequenos e que sozinhos não permitem estimar a erosividade. Determinação semelhante a encontrada por Mello et al. (2012) no estudo de dependência espacial dos valores de erosividade das chuvas no estado do Espírito Santo.

Na Tabela 3 podem ser observados os modelos ajustados, além dos coeficientes (r^2 , REQM e o CBI) estatísticos utilizados na etapa de validação das equações.

Tabela 3. Coeficientes das equações ajustadas para estimativa do índice de erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro

Mês	Modelo	Ajuste		Validação		
		r ²	CBI	r ²	REQM	%
1	-1733,60*** - (10,81**Φ) - (51,33***λ) - (0,06h) - (0,33**d)	0,47	- 82	0,45	132,6	37,6
2	-1684,17*** + (21,18***Φ) - (59,62***λ) - (0,05h) - (0,52***d)	0,24	- 22	0,23	131,2	41,3
3	- 3456,83*** + (56,56***Φ) - (124,43***λ) - (0,12*h) - (1,47***d)	0,43	- 69	0,40	210,5	44,7
4	- 2829,94*** + (76,45***Φ) - (111,88***λ) - (0,12*h) - (1,56***d)	0,71	- 178	0,70	158,5	45,0
5	+ 151,41 + (34,19***Φ) - (13,66*λ) - (0,04h) - (0,41***d)	0,69	- 166	0,67	95,5	48,8
6	+ 1511,52*** + (12,46**Φ) + (33,82***λ) + (0,23h) + (0,19d)	0,38	- 55	0,37	129,4	87,3
7	+ 1666,60*** + (4,35Φ) + (24,04***λ) + (0,03h) + (0,17**d)	0,30	- 36	0,29	119,7	102,6
8	+ 967,69*** - (0,64Φ) + (24,04***λ) + (0,03h) + (0,17*d)	0,21	- 13	0,20	77,6	114,4
9	+ 265,38** - (4,44***Φ) + (6,86**λ) + (0,02h) + (0,01d)	0,13	- 2	0,14	35,4	73,4
10	- 471,81*** - (20,10***Φ) - (9,62***λ) + (0,02h) - (0,06d)	0,87	- 307	0,87	33,4	27,2
11	- 1993,20*** - (51,06***Φ) - (44,71***λ) + (0,04*h) - (0,21**d)	0,91	- 369	0,92	75,8	24,1
12	- 1967,75*** - (54,65***Φ) - (44,24***λ) + (0,16*h) - (0,83*d)	0,87	- 303	0,86	109,0	28,0
Ano	- 9505,69*** + (63,49***Φ) - (355,10***λ) - (0,17h) - (3,97***d)	0,35	- 48	0,33	564,4	19,5

***Significativo a 1% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade; *Significativo a 10% de probabilidade; r², coeficiente de determinação; REQM, raiz do erro quadrático médio; CBI, critério bayesiano de informação.

As equações de regressão de estimativa do índice de erosividade das chuvas ajustadas apresentam um bom desempenho, com valores de coeficiente de determinação (r²), raiz do erro quadrado médio (REQM) e critério bayesiano de informação (CBI), satisfatórios. O mês de setembro apresenta valor de r² (0,13) abaixo dos demais. O valor do CBI também apresenta desempenho muito baixo (-2) no nono mês do ano.

O melhor coeficiente de determinação é encontrado na equação de novembro, mês que com abril, maio e dezembro apresentam nas suas equações, produtos entre os valores de latitude (Φ), longitude (λ), altitude (h) e a menor distância ao litoral (d), que nestes meses os valores de erosividade são fortemente influenciados por estas variáveis. Os meses de outubro, novembro e dezembro, também apresentam bons coeficientes de determinação, e os menores percentuais para a REQM, além dos melhores valores do CBI. Cabe ressaltar

ainda, que nestes meses, as variáveis explicativas latitude e longitude são significativas, tendo grande influência nos valores de erosividade (Tabela 3).

Ao validar o coeficiente de determinação, os meses de junho a setembro apresentam os maiores percentuais para a REQM e os menores coeficientes de determinação, o que representa uma baixa correlação para este período.

Na análise da erosividade estimada é possível observar um bom ajuste do modelo para os meses de janeiro, março, maio, outubro, novembro e dezembro, uma vez que, estes meses apresentam os maiores valores do coeficiente de determinação.

A Figura 3 apresenta os gráficos da relação mensal entre a erosividade estimada e a medida, onde percebe-se que os meses de abril, maio, novembro e dezembro apresentam os melhores coeficientes de determinação.

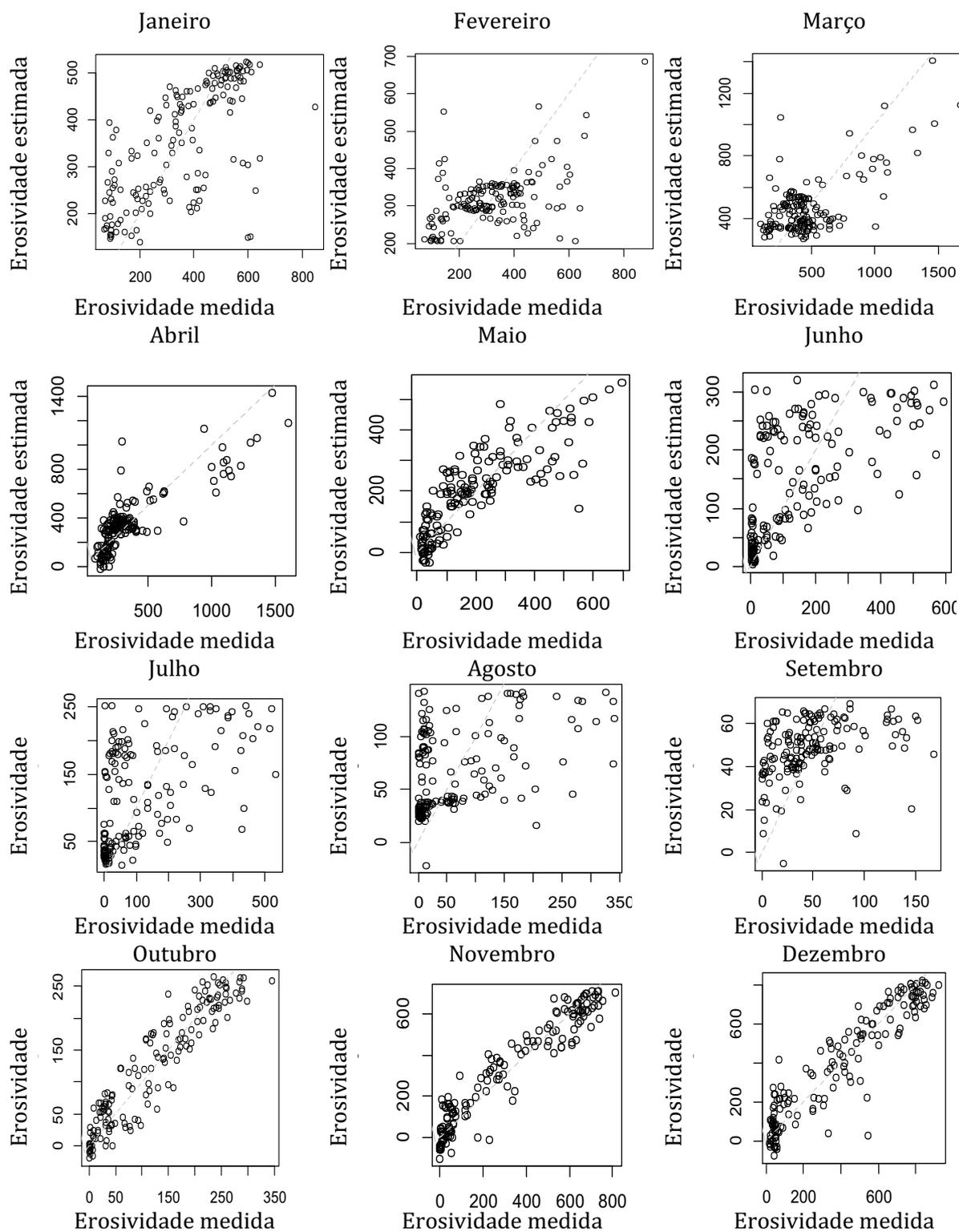


Figura 3. Relação mensal entre a erosividade estimada e a medida ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot mes^{-1}$).

Na Figura 4 são observados os mapas de espacialização da erosividade mensal a partir das equações ajustadas para o Semiárido Brasileiro. Através da análise para cada mês é possível constatar que, nos meses de janeiro e fevereiro ocorre aumento progressivo do valor da erosividade estimada. Os meses de março e abril apresentam os maiores valores estimados mensais. Nestes meses, é observada a

predominância das chuvas na área do semiárido (MOURA et al., 2007). O quarto mês alcançou o maior valor da erosividade ($1.412 MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot mes^{-1}$) e o maior coeficiente de determinação para o período chuvoso (0,71), enquanto entre os meses de agosto a outubro, os valores da erosividade espacializados os menores índices. O mês de agosto é o único no qual a latitude não se apresenta significativa para a

equação ajustada. Já o mês de setembro apresenta o menor valor máximo estimado (80 MJ.mm.ha⁻¹.mes⁻¹) e o menor coeficiente de determinação (0,13). Ressaltando que, este trimestre é o mais seco para a região (MOURA et al., 2007).

Nos últimos dois meses do ano, os valores de erosividade estimada aumentam acompanhando o aumento da pluviosidade,

evidenciando que o mês de dezembro apresenta para a região do estado de Minas Gerais o valor máximo de 827 MJ.mm.ha⁻¹.mes⁻¹. No mês de novembro tem por início o período chuvoso no norte de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 2010). O período também apresenta os melhores valores para o coeficiente de determinação, sendo 0,91 para o mês de novembro.

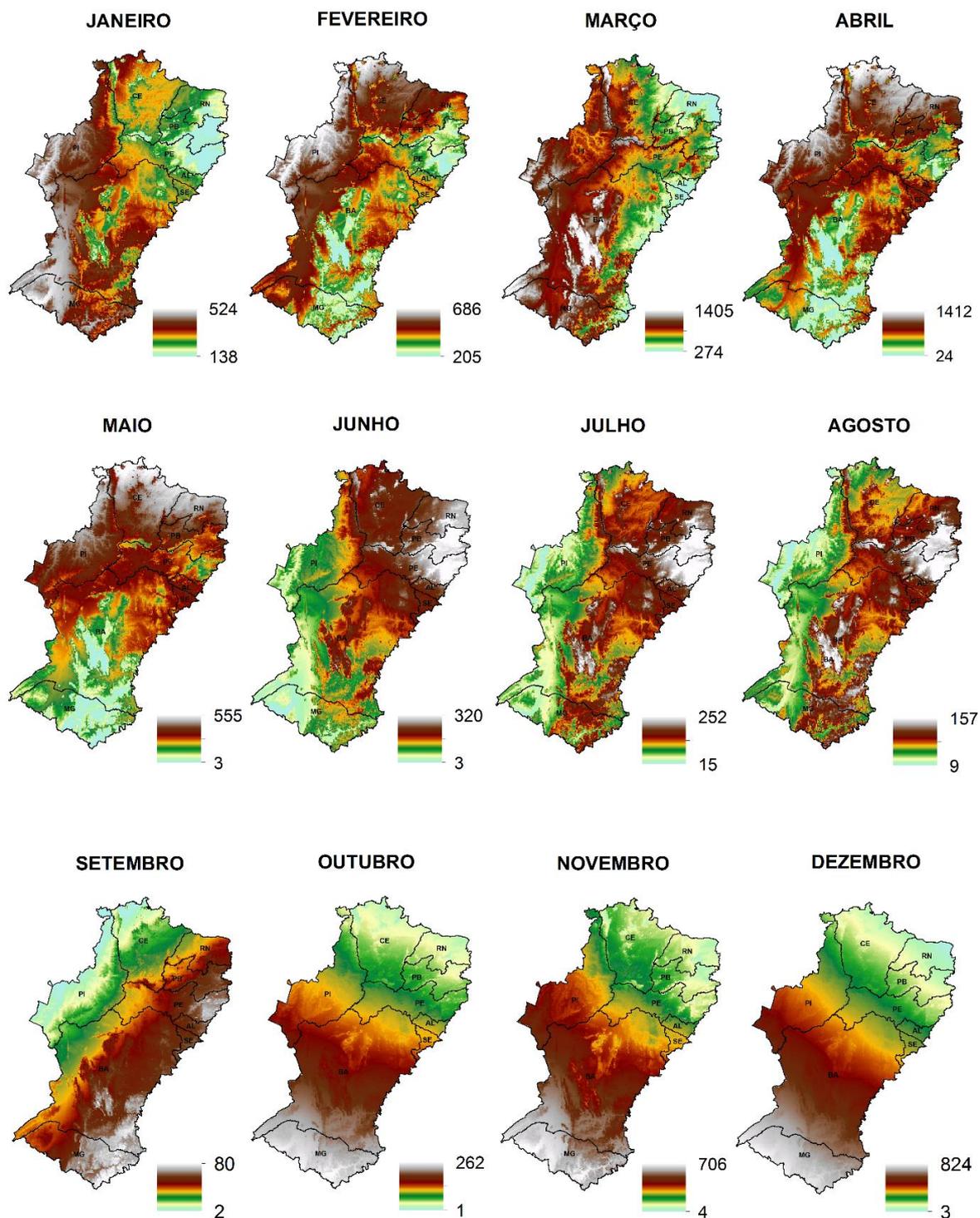


Figura 4. Mapas de erosividade mensal estimada (MJ.mm.ha⁻¹.mes⁻¹).

Na Figura 5 são apresentados os mapas da pluviosidade média mensal, onde na parte Norte do Semiárido é possível visualizar que o quadrimestre mais chuvoso compreende os meses de fevereiro a maio, resultado semelhante aos apresentados por Melo et al. (2002). Observa-se que na parte Sul do

Semiárido a estação chuvosa compreende os meses de novembro a janeiro, já na parte Leste os maiores índices são registrados no bimestre maio-junho e que o mês de março apresenta as maiores precipitações, resultados que são semelhantes aos apresentados por Molion e Bernardo (2000).

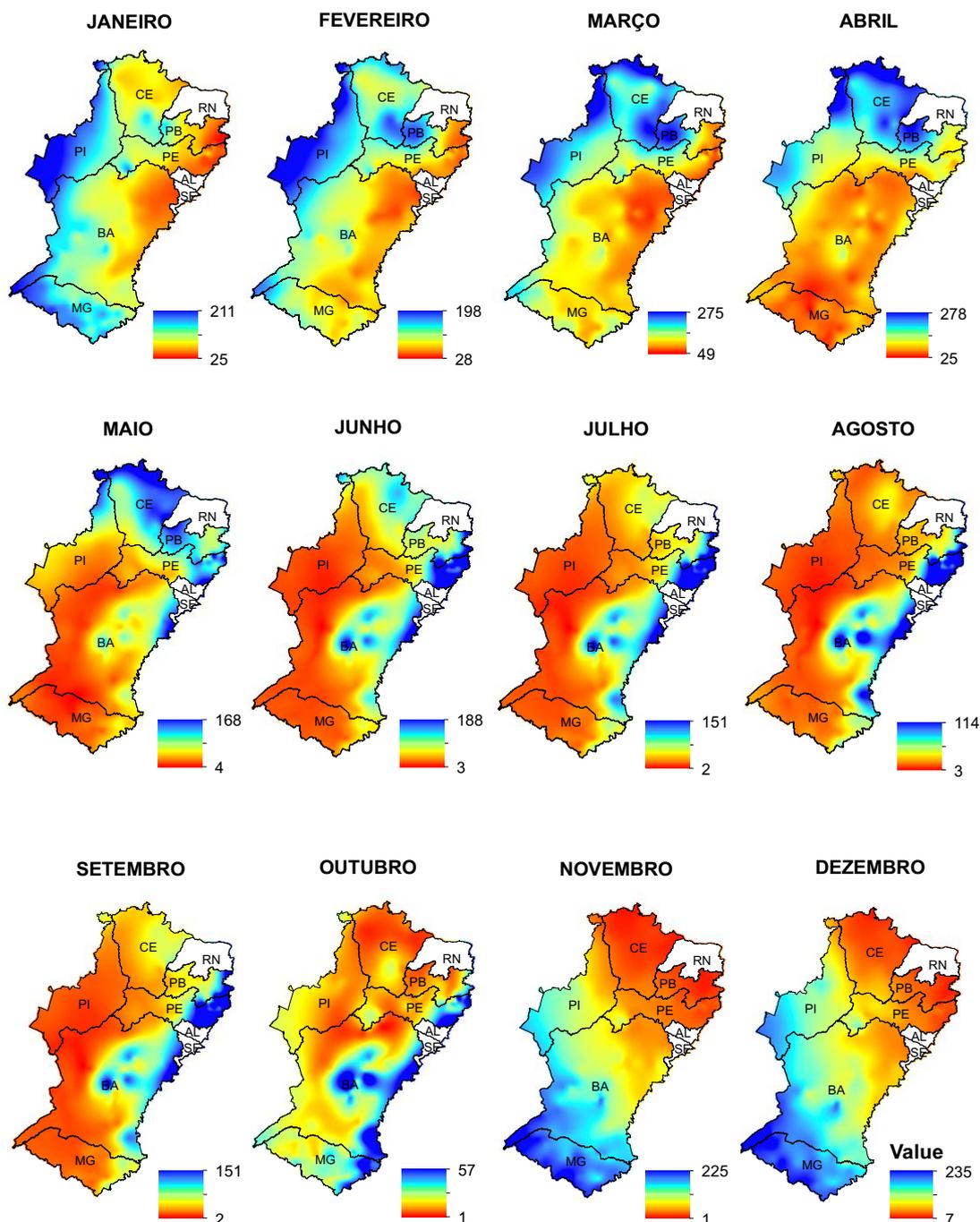


Figura 5. Mapas da pluviosidade média mensal (mm).

Na Figura 6 podem ser observados os mapas de precipitação pluvial anual e erosividade anual espacializada, obtido pela interpolação (método do inverso do quadrado

da distância, com expoente dois) dos valores de precipitação dos 158 postos pluviométricos, além do índice de erosividade, estimado pela equação ajustada neste estudo.

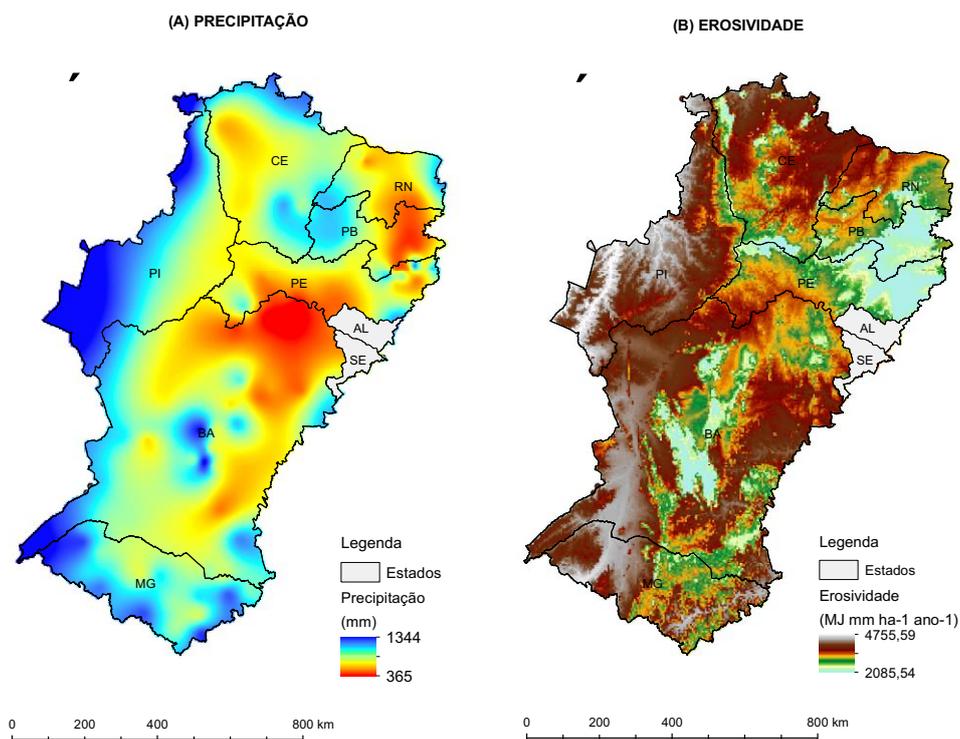


Figura 6. Mapa de precipitação pluvial anual (A) e erosividade anual (B) espacializada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.

Na parte oeste da região (Figura 6A) são encontrados os maiores valores precipitados, diferente do observado nas regiões centro e nordeste, com os menores valores de precipitação pluvial. Na parte central da Bahia e oeste da Paraíba, a presença de valores mais elevados de precipitação ocorre devido à formação de microclimas específicos pela presença de serras e montanhas (MOURA et al., 2007).

Ao realizar a interpolação (Figura 6B) da erosividade anual espacializada a para a região os valores estimados variam entre 2.085,54 e 4.755,59 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹.

Os menores valores estimados são apresentados nas regiões leste dos estados de Pernambuco e da Paraíba e na região central da Bahia. Por sua vez, os maiores valores tendem a ocorrer na região oeste do semiárido brasileiro, coincidindo com os maiores valores de precipitação.

Segundo a classificação do índice de erosividade proposta por Carvalho (2008), foram modeladas duas classes de erosividade

para a região (Figura 7), fraca (1) e moderada (2). Resultado que coincide com o cenário climático existente na região semiárida.

Os maiores valores do índice de erosividade e que possibilitam classificar a área como moderada estão presentes em uma área com cerca de 434.554 km², o que corresponde a 44% do semiárido brasileiro. Esta área engloba as regiões oeste do Rio Grande do Norte onde os valores são semelhantes aos encontrados por Santos (2015), além de abranger grande parte dos estados do Ceará, Piauí e as áreas de cerrado na Bahia e Minas Gerais. A área compreende também a bacia do Parnaíba, a região sul e o oeste da bacia do São Francisco e a parte norte da bacia Atlântico Nordeste oriental. Além de coincidir com a área classificada como afetada pelo processo de desertificação de modo grave nos estados da Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte (INSA, 2016).

A grande extensão da região com uma área aproximada de 546.157 km², a qual corresponde a 56% da região se enquadra na classe de erosividade fraca.

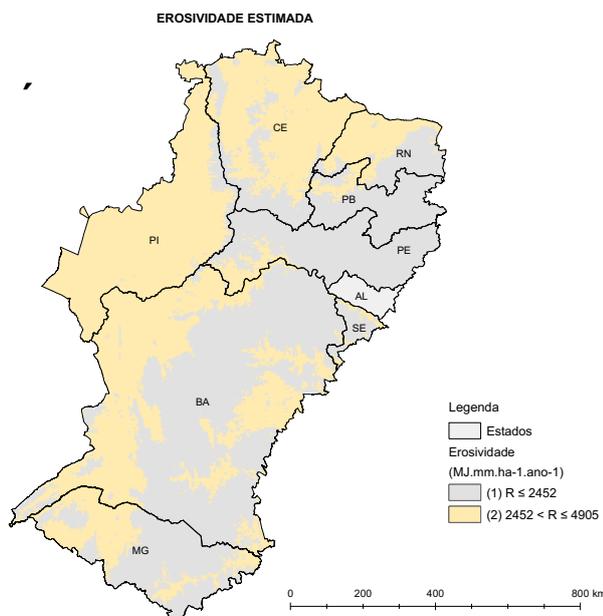


Figura 7. Mapa de erosividade anual classificada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.

Mesmo o semiárido brasileiro estando nas menores classes do índice de erosividade, práticas conservacionistas devem ser adotadas, visto que a agricultura praticada e a vegetação natural de Caatinga, contribuem para a perda de solos na região.

Conclusão

Diante do exposto pôde-se concluir que das variáveis explicativas analisadas, a longitude e principalmente a latitude apresentaram as maiores correlações com os valores do índice de erosividade no Semiárido Brasileiro.

A área de estudo se encontra na classe de erosividade fraca e moderada, fato que pode ser considerado de alerta para o risco de desertificação, do assoreamento dos corpos hídricos, além da remoção da camada fértil e o empobrecimento do solo.

No período considerado chuvoso para a parte Norte do Semiárido o mês de abril apresentou o melhor coeficiente de determinação. Por sua vez, o mês de novembro apresentou para a parte Sul da região altos índices de pluviosidade e o melhor coeficiente de determinação dentre todos os meses.

Modelos de estimativa da erosividade da chuva, gerados a partir de dados de latitude, longitude, altitude e a menor distância em relação ao litoral podem ser utilizados na estimativa deste índice para a região.

Referências

ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 2013.

AQUINO, R. F.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; SÁFADI, T.; CURI, N. Uso de modelos de séries temporais para predição da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.16, p.205-210, 2008.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.731-740, 2011.

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.243-252, 2013.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.235-244, 2010.

BERTOL, I. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC). 1ª Aproximação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.28, n.4, p.515-521, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 6ª ed. São Paulo: Ícone, 2008, 253p.

BRASIL. Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. *Diário Oficial da*

- República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 17 jan. 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8171.htm. Acesso em: 17 fev. 2017.
- CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. DOS S. B.; SILVA, M. D. R. DE O. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco - 1ª aproximação. *Revista Caatinga*, v.22, n.2, p.75-80, 2009.
- CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 600p.
- FRANCA-ROCHA, W.; SILVA, A. B.; NOLASCO, M. C.; LOBÃO, J.; BRITTO, D.; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis: INPE, 2007. p.2629-2636.
- EMILIANO, P. C. Fundamentos e aplicações dos critérios de informação: akaike e bayesiano. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.
- GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.269-276, 2006.
- GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 88p.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido. Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro. Acervo digital. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/sigsab/acervoDigital>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, F. R.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Agro@ambiente*, v.5, n.2, p.88-96, 2011.
- MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p.301-323.
- MANNAERTS, C. M.; GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil Tillage Research*, v.55, p.207-212, 2000.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006. 201p.
- MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 264p.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.6, p.1878-1891, 2012.
- MELLO, M. L. D.; NOBRE, P.; SANTANA, S. C. Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, SBMET, 2000. CD-ROM.
- MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.537-545, 2007.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206p.
- MIRANDA, E. E. de. (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>. Acesso em: 30 jan. 2017.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste brasileiro, In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SBMET, 2000. CD-ROM.
- MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.426-435, 2007.
- MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. A. C.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.1069-1076, 2006.
- MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro. v.1. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. p.37-59.
- PEJON, J. O.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETE, L. V. Impactos ambientais sobre o solo engenharia, natureza e recursos naturais. In: CALIJURI, M. C.;

- CUNHA, D. G. F. Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p.317-343.
- PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parcerias Estratégicas*, v.17, p.87-106, 2012.
- PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p.59-85.
- PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV, 2009. 279p.
- RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, v.157, p.287-306, 1994.
- SAITO, N. S.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Uso da geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. *Revista Verde*, v.4, n.2, p.51-63, 2009.
- SANTOS, W. O. Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte. 142f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2015.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.
- TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; SIMONETE, M. A. Predição da precipitação a partir das coordenadas geográficas no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.3, p.848-856, 2015.
- TEODORO, P. E.; CUNHA, E. R.; CORRÊA, C. C. G.; RIBEIRO, L. P.; TORRES, F. E.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; BACANI, V. M. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da chuva mensal no estado de Mato Grosso do Sul. *Bioscience Journal*, v.32, n.1, p.41-47, 2016.
- TROLEIS, A. L.; SANTOS, A. C. V. Estudos do Semiárido. 2. ed. Natal: EDUFRRN, 2011. 168p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 537p.

Capítulo 8

VAZÃO MÁSSICA DE DESCARGA EM SILO MODELO REDUZIDO

Gypson Dutra Junqueira Ayres¹
José Wallace Barbosa do Nascimento²
Paulo Roberto Megna Francisco³

¹Msc. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, fgypsond@gmail.com

²Dr. em Eng. Agrícola, Prof. Tit. UFCG, Campina Grande-PB, wallacebosa@hotmail.com

³Dr. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

Introdução

A agroindústria brasileira cresceu de forma acentuada nos últimos anos, garantindo ao país o destaque mundial, como reflexo da produção. O êxito da avicultura depende, basicamente, do fornecimento de uma alimentação balanceada, em todas as etapas de crescimento, para garantir uma boa conversão alimentar (NASCIMENTO, 1996). Os silos são utilizados em larga escala em fábricas de ração, por se tratar de estruturas que garantem, se bem projetadas, a qualidade do produto durante bom tempo e além de facilitar o processo de sua distribuição (NÓBREGA & NASCIMENTO, 2005).

De acordo com Lopes Neto et al. (2008) sabe-se, que as fábricas de ração possuem forte tendência à arquitetura vertical devido a carência de maior facilidade e rapidez nas etapas de produção interna. A ração avícola possui, em sua composição, teores energéticos e proteicos significativos, que lhe são adicionados por meio de óleos ou produtos oleaginosos que, por sua vez, proporcionam sérios problemas durante o processo de descarga dos silos (NÓBREGA & NASCIMENTO, 2005).

Lopes Neto (2005) afirma que, o tipo de fluxo desenvolvido por um sólido está intimamente relacionado com as características geométricas do silo, e pode, conforme Calil Júnior (1990), caracterizar o descarregamento do produto, o tipo de segregação, a formação ou não de zonas de estagnação de movimento, e se o silo pode ser esvaziado completamente. A forma como um produto escoar por gravidade em um silo é restringido, por um lado, pelas próprias propriedades físicas do produto e, por outro, pela geometria e estrutura da superfície de contato (atrito com a parede) da tremonha.

As características dos sólidos apresentam grande influência nas pressões exercidas nas paredes e fundo de um silo assim como no modelo de fluxo ocorrente, entretanto, pouco se conhece sobre as reais propriedades influentes e seus valores (LOPES NETO, 2005).

Bandeira et al. (1999) afirmam que, o conhecimento preciso do comportamento do fluxo é de essencial importância para dimensionar corretamente silos industriais para rações, permitindo um descarregamento uniforme, sem segregações, sem parada no processo industrial e desbalanceamento das rações; portanto, é necessário a utilização de fluxo de massa.

De acordo com Calil Júnior (1984), dentre os fatores que influenciam no tipo de fluxo a ser desenvolvidos por produtos sólidos em condição de armazenagem, destacam-se a dimensão das partículas, a temperatura, o teor de umidade do produto e o tempo de armazenamento.

Calil Júnior (1990) afirma que, o fluxo de um sólido decresce com o aumento do teor de umidade, alcançando um valor máximo de aproximadamente 80 a 90% de saturação. Acima deste teor de umidade, o sólido adquire propriedades viscosas, e testes de cisalhamento podem ser inaplicáveis (LOPES NETO, 2005).

Nóbrega e Nascimento (2005) afirmam que de acordo com Rotter (1998), existe a preocupação de muitos pesquisadores em desenvolver trabalhos experimentais que simulem, através de protótipos ou de modelos reduzidos, as formas mais desfavoráveis que ocorrem durante o armazenamento, para que se possa desenvolver silos que não acarretem problemas de fluxo. Geralmente, os testes são realizados em escala reduzida, não gerando adversidade quando a situação é convertida para prática. Os modelos reduzidos são muito utilizados devido ao baixo custo e permitem que se multipliquem todos os parâmetros que influenciam na descarga do silo, na situação real (GARNIER, 1998).

Este trabalho objetiva através da construção de um silo armazenador em escala reduzida, sua instrumentação por sensores e microcontroladores, e avaliar a vazão mássica de grãos de milho in natura e ração avícola.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande.

Neste trabalho foi construído um silo metálico protótipo armazenador de ração fabricado com zinco liso com dimensões de 83 cm de altura, sendo 42 cm de montante e 41 cm de corpo do silo, e 30 cm de diâmetro, com uma tremonha de seção cônica confeccionada em aço zincado de espessura nominal de 1,2 mm, com inclinação de 45°, e entre o corpo do silo, e a tremonha foi conectada uma extensão emborrachada que desobstrui caso haja a possível formação de arcos coesivos, onde a desobstrução foi montada utilizando-se um motor vibratório de baixa rotação.

O silo foi composto por três montantes que realizaram o apoio sobre uma base onde encontram-se as células de carga. Na base foram instaladas 3 células de cargas tipo A0455 de 20 kg cada, estando a mesma conectada ao sistema de aquisição de dados, permitindo obter assim obter a variação da massa de sólido no interior do silo ao longo dos ensaios.

Para a determinação das propriedades de fluxo no descarregamento do silo protótipo foi utilizado o milho in natura e ração avícola tipo final. Foram determinadas o teor de umidade conforme metodologia prescrita em RAS (BRASIL, 2009), granulometria pela NBR NM 248 (ABNT, 2001), tamanho médio conforme metodologia de Mohsenin (1986) e massa específica. O procedimento experimental de fluxo consistiu em carregar o silo e após 30 min onde efetuou-se o descarregamento realizado em 4 ensaios de aberturas da tremonha em 1/4, 1/2, 1/3, 1/1 em 4 repetições.

Nesta pesquisa foi utilizado a análise dimensional proposta por Beverloo et al. (1961) para os ensaios de vazão do silo protótipo em que, a vazão mássica (W) é proporcional a $\rho_B g^{1/2} d^{5/2}$, onde ρ_B e g são a densidade volumétrica e aceleração devido à gravidade, respectivamente, correlacionados conforme a Equação 1.

$$W = C \rho_B \sqrt{g} (d_o - kd)^{2,5} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: W – vazão mássica; $C = 0,59$ a $0,62$; ρ_B – massa específica do produto; g – aceleração da gravidade; $k = 1,4$; d_o – diâmetro da partícula; d

– diâmetro de saída.

Resultados e Discussão

Observa-se que o módulo de finura obtido é de 5,938 com diâmetro máximo de 9,6mm da peneira. Constata-se que o maior peso retido em percentagem está na peneira de 4,8mm com peso retido de 475,375 gramas de grãos e, portanto, classifica-se como granulção média.

Conforme classificação dos produtos sólidos em função das dimensões do diâmetro das partículas proposta por Calil Júnior (1984), pode-se considerar o milho como um produto de característica granular, pois sua granulometria resultou em valor superior a 1mm.

Lopes Neto e Nascimento (2013) realizando ensaios de granulometria para o milho em grãos em pesquisa das características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais observaram que possuiu quase a totalidade de suas partículas com dimensão imediatamente superior a 4,8mm. Resultado este, bem próximo a deste estudo.

De acordo com os testes para a determinação do teor de umidade, o milho em grãos in natura utilizado na determinação das propriedades de fluxo encontra-se com teor de umidade de 9,74%.

Segundo Coimbra (2007), o teor de água inicial das sementes é um fator primordial para a padronização dos testes de avaliação da qualidade fisiológica a serem realizados, ressaltando que o teor elevado de água pode favorecer o desempenho das sementes nos testes.

Sarmento et al. (2015) em experimento utilizando a mesma metodologia deste trabalho obteve para grãos de milho com 12,6% de umidade. Araújo et al. (2017) em determinação das propriedades físicas de grãos de milho, identificou um teor de água de 11,6% (b.u.). Harrington (1973) ressalta que, o teor de água ideal para armazenamento e comercialização de sementes amiláceas é de 6,0 a 12,0%.

Pode-se observar uma variação em função do comprimento (a), largura (b) e espessura (c) dos grãos, que variam de 12,08 a 13,34mm, 7,94 a 8,30mm e de 4,64 a 5,26mm, respectivamente. Tanto a média das dimensões obtidas, quanto o desvio padrão e o coeficiente de variação são maiores no comprimento dos grãos analisados. Para a esfericidade o coeficiente de variação apresenta 8,56% em

relação as amostras estudadas e suas repetições.

Verifica-se boa similaridade na esfericidade e na circularidade dos grãos. Para as 3 repetições apresentam-se valores que oscilam em torno de uma esfericidade média de 1.229,48 a 1.320,32 com um desvio padrão de 114,25. A importância da determinação da esfericidade está diretamente relacionada com o cálculo da velocidade terminal dos produtos (NAKA, 2010).

De acordo com Araújo et al. (2017), determinando as propriedades físicas de grãos de milho, observaram que a esfericidade média dos grãos encontrada foi de 65,9%, corroborando com os valores encontrados por Baraviera et al. (2014) ao avaliar as propriedades físicas de grãos de híbridos de milho que foi de 66,1% para o híbrido Dekalb 177 PRO 2.

Os resultados obtidos na determinação da massa específica nos grãos de milho apresentam o valor para a densidade volumétrica média de 759,076 (kg/m³) com uma variação entre 752,66 e 767,45 (kg/m³) em suas repetições.

Vários fatores podem interferir na massa específica dos grãos de milho, desde fatores associados à lavoura, como época de plantio, incidência de luz solar ou sombreamento excessivo, temperatura, densidade de plantio, época de colheita (MAZZUCO et al., 2002), transporte, secagem e armazenamento (MALLMANN et al., 2007), além de tipo de híbrido e maturação fisiológica (CAMILO et al., 2014).

De acordo com os cálculos elaborados para o volume do silo protótipo os resultados apresentam um valor de 0,036587 m³. Com o

valor obtido no cálculo do volume total do silo e pela densidade do milho obtida de 759,07 kg/m³ o resultado apresenta-se com um valor de 27,77 kg.

De acordo com as leituras obtidas durante os ensaios de vazão no silo, observa-se valores médios de 27,00 kg, próximo ao valor de 27,77 kg estimados pelo cálculo da massa específica total, portanto observa-se que, essa diferença se dá entre os espaços vazios que ficam entre os grãos de milho armazenados no silo.

O estudo da vazão mássica é importante para o processo de descarregamento de silos para entender o comportamento da descarga em função da inclinação do orifício de descarga da tremonha, ângulo de atrito interno, peso específico consolidado e teor de umidade.

Para a abertura de 1/4 a área obtida pelos cálculos é de 15,35462 cm² correspondente à uma circunferência de diâmetro de 4,4 cm. Para a abertura de 1/2 a área encontrada é de 39,2699 cm² correspondente à uma circunferência de diâmetro de 7,0710 cm. Para a abertura de 1/3 a área obtida é de 63,1852 cm² correspondente à uma circunferência de diâmetro de 8,9638 cm. Para a abertura de 1/1 (100%) obteve-se o valor de 78,53982 cm² correspondente à uma circunferência de diâmetro de 10,00 cm (Tabela 1).

Pela Tabela 1 pode-se observar a vazão mássica calculada pelo método de Beverloo et al. (1961), onde com a tremonha aberta em 1,00 de sua capacidade total apresenta o valor de 1,617 (kg/s) e com a abertura em 0,25 de sua capacidade a vazão mássica prevista de 0,038 (kg/s).

Tabela 1. Vazão mássica em relação a abertura dos orifícios de descarga

Orifício de descarga (cm ²)	Orifício de descarga Ø (cm)	Abertura do orifício em proporção	Vazão mássica Beverloo (kg/s)	Vazão mássica (kg/s)
78,53	10,00	1/1	1,617	2,13624
63,18	8,96	1/3	0,654	1,68710
39,26	7,07	1/2	0,156	1,30244
15,35	4,40	1/4	0,038	0,65027

Batista (2009) afirma que, o modelo de Beverloo et al. (1961) apresentou boa aproximação para grande parte dos dados experimentais, sendo este ineficiente para as saídas com inclinação diferente de 0°, principalmente para a inclinação de saída 30°. O modelo de Beverloo et al. (1961) é amplamente

utilizado para descrever a descarga de sólidos em silos (MANKOC, 2007; HUANG et al., 2009), o que justificaria de certa forma a sua boa aproximação aos resultados experimentais.

Para o estudo realizado com a vazão mássica, utilizou-se o milho (grão) por ser classificado como granular associado à

tremonha com inclinação de 37° observa-se que, não ocorre obstrução do fluxo, onde foi possível determinar experimentalmente a vazão mássica para as quatro áreas de orifícios de descarga.

Na Figura 1 pode-se observar a vazão mássica do grão de milho obtida com o orifício

aberto em ¼ (4,4 cm) da descarga comparada com a prevista pela metodologia de Beverloo. De acordo com o gráfico e a Tabela 1, pode-se observar que, o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 0,650 (kg/s), valores maiores do que a prevista pelo método de Beverloo de 0,038 (kg/s).

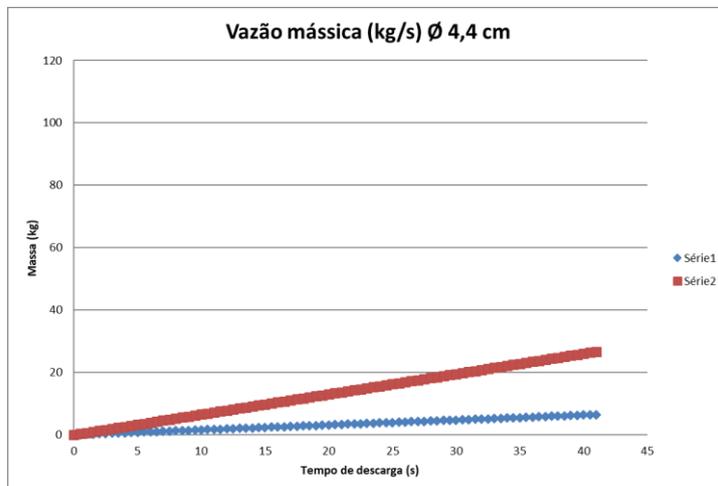


Figura 1. Curva de vazão em ¼ de abertura versus Beverloo.

Pela Figura 2 observa-se a vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/2 (7,07 cm) comparada com Beverloo. Observando-se a Tabela 1 nota-se

que, o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 1,30 (kg/s), valores maiores do que o prevista pelo método de Beverloo de 0,156 (kg/s).

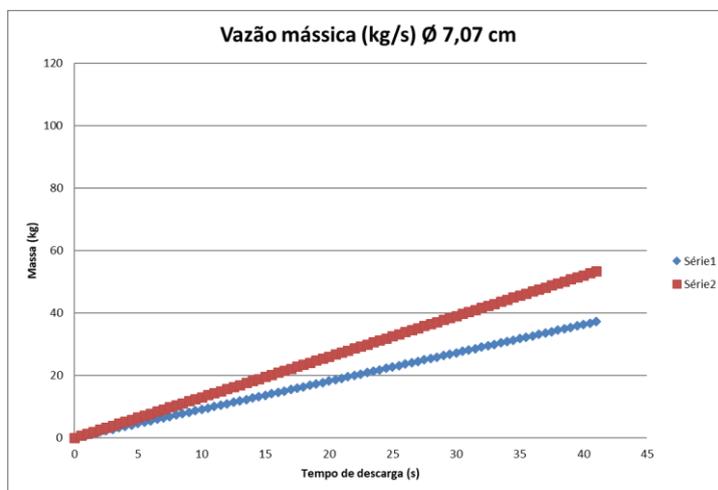


Figura 2. Curva de vazão em ½ de abertura versus Beverloo.

Na Figura 3 com representação da vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/3 (8,96 cm) comparada com Beverloo, pode-se constatar que, o ensaio

realizado apresenta uma vazão mássica de 1,68 (kg/s), valores menores do que o previsto de 0,654 (kg/s).

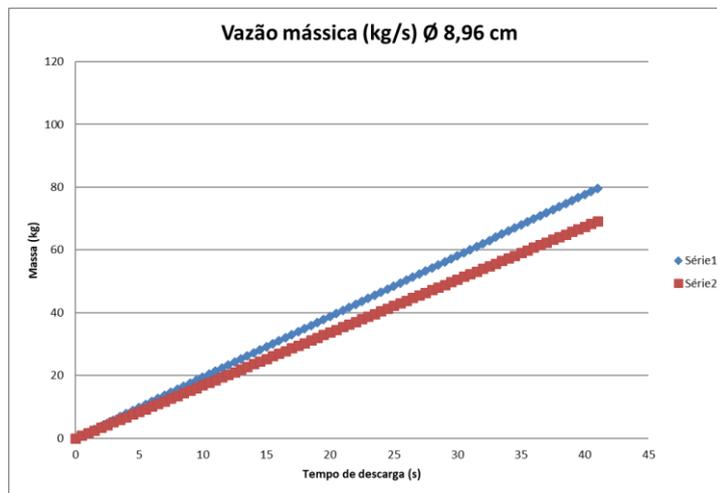


Figura 3. Curva de vazão em 1/3 de abertura versus Beverloo.

Através da Figura 4, com representação da vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/1 (10 cm) comparada com Beverloo, pode-se constatar que, o ensaio

realizado apresenta uma vazão mássica de 2,13 (kg/s), valores menores do que o previsto de 1,617 (kg/s).

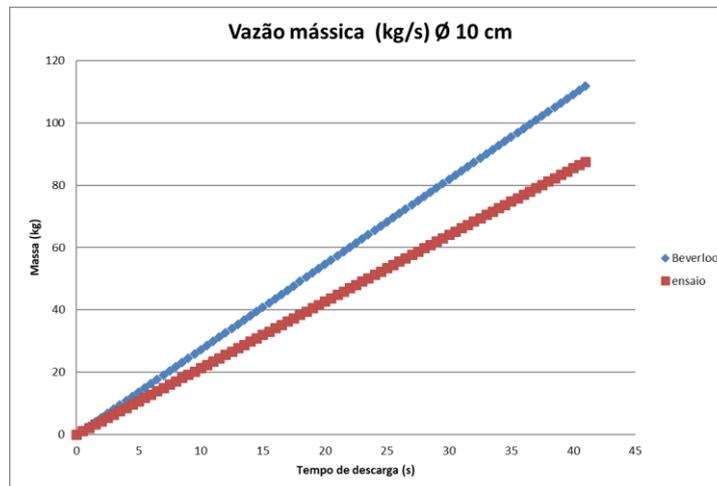


Figura 4. Curva de vazão em 1/1 de abertura versus Beverloo.

O modo como o produto flui por gravidade em um silo é governado, por um lado, pelas propriedades de fluxo do produto e, por outro lado, pela geometria e estrutura da superfície da tremonha (NÓBREGA, 2003). No entanto, uma variável que interfere significativamente no tipo de fluxo é a dimensão das partículas (LOPES NETO et al., 2009).

Por este trabalho pode-se constatar um comportamento da vazão constante durante a descarga em cada abertura estudada. Esses resultados concordam com Wang et al. (1995) ao concluírem que, com o aumento da área do orifício de descarga do silo, a vazão da farinha de soja aumentou significativamente.

Batista (2009) estudando a vazão mássica de painço, farelo de milho e areia fina, relata que o comportamento da vazão de

descarga é bastante semelhante e independente da rugosidade usada nas paredes do silo. Ainda Batista (2009), observou que a vazão mássica durante o descarregamento, apresentou uma tendência a manter-se constante, e com valores próximos, entre as diferentes inclinações de saída da tremonha.

Apesar das variações do fluxo de massa demonstradas nas Figuras 1 a 4, a inclinação da tremonha foi suficiente para promover a descarga do silo por completo validando o modelo reduzido desenvolvido para esta pesquisa. Quanto aos orifícios de descarga a metodologia aplicada apresentou-se conservadora.

Conclusão

O protótipo desenvolvido cumpriu com suas funções, foi capaz de obter dados e fornecer com segurança e rapidez ao sistema de aplicativo desenvolvido sobre a carga e descarga, além de ter sido satisfatório nos ensaios de vazão mássica.

As menores vazões de descarregamento do milho foram registradas quando se utilizou a tremonha com abertura de 1/4.

A vazão mássica apresentou proporcionalidade entre as aberturas utilizadas da tremonha nos ensaios e suas repetições.

O tempo médio de descarga entre todas os ensaios e as aberturas da tremonha adotada foi de 27,15 segundos.

O modelo de Beverloo apresentou boa aproximação para os dados experimentais.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

ABNT. NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica. 2001. Rio de Janeiro.

ARAÚJO, K. T. A.; CORREIA, F. G.; SILVA, R. C. DA; SANTOS, F. S. DOS. Determinação das propriedades físicas de grãos de milho (*Zea mays* L.). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 4, 2017, Belém. Anais...Belém, 2017.

Bandeira, I. S. A. et al. Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos industriais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.233-238, 1999.

BARAVIERA, C. M. C.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Avaliação de propriedades físicas de grãos de híbridos de milho. Enciclopédia Biosfera, v.10, n.19, p.291-297, 2014.

BATISTA, C. DA S. Estudo teórico e experimental do fluxo de sólidos particulares em silos verticais. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 2009. 309p.

BEVERLOO, W. A.; LENIGER, H. A.; VAN DE VELDE, J. The flow of granular solids through orifices. Chemical Engineering Science, v.15, p.260-269, 1961.

BMHB. British Materials Handling Board. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. Berkshire, 1985. 143p.

BUCKLIN, R. A.; THOMPSON, S. A.; ROSS, I. J.; BIGGS, R. H. Apparent coeficiente of wheat on bin wall material. Transactions of the ASAE, v.35, n.5, p.1769-1773, 1989.

CALIL JUNIOR, C. Recomendações de fluxo e de cargas para o projeto de silos verticais. São Carlos: USP, 1990. 197p.

CAMILO, L. J.; CORADI, P. C.; BRENTAN, L. O. Propriedades físicas de grãos de milho armazenados em diferentes condições. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43, 2014, Campo Grande. Anais...Campo Grande, 2014.

CHANG, C. S.; CONVERSE, H. H. Flow rates of wheat and sorghum through horizontal orifices. Transactions of the ASAE, v.31, n.1, p.300-304, 1998.

COIMBRA, R. A. Teste de germinação com acondicionamento dos rolos de papel em sacos plásticos. Revista Brasileira de Sementes, v.29, n.1, p.92-97, 2007.

GARNIER, J. Classification of silo tests. In: Silos fundamentals of theory, behaviour and design. 1. ed. London: Routledge Editora, p.612-619. 1998.

GAYLORD, E. H.; GAYLORD, C. N. Design of steel bins for storage of bulk solids. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. 359p.

HARRINGTON, J. F. Biochemical basis of seed longevity. Seed Science and Technology, v.1, n.2, p.453-461, 1973.

LOPES NETO, J. P. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; CALIL JUNIOR, C. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. Ciênc. Agrotec., v.32, n.4, p.1252-1258, 2008.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R. DA; LOPES, F. F. DE M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. Ciência Agrotec., v.31, n.3, p.851-859, 2007.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. Engenharia Agrícola, v.29, p.518-527, 2009.

MALLMANN, C. A.; DILKIN, P.; GIACOMINI, L. Z.; RAUBER, R. H.; PEREIRA, C. E. Micotoxinas em ingredientes para alimento balanceado de aves. In: Congresso Latinoamericano de Avicultura, 20,

2007, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2007.
MAZZUCO, H.; LORINI, I.; BRUM, P. A. R.; ZANOTTO, D. L.; JUNIOR, W. B.; AVILA, V. S. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.6, p.2216-2220, 2002.
MOHSENIN, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
NAKA, S. Determinação das propriedades físicas dos grãos de mamona guarani visando armazenagem em silos verticais. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.
NASCIMENTO, J. W. B. Estudos de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos.

Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.
NÓBREGA, M. V. DA; NASCIMENTO, J. W. B. DO. Fluxo de ração avícola em silos prismáticos com tremonha excêntrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, p.413-419, 2005.
ROTTER, J. M. Challenges for the future in numerical simulation. In: *Silos: fundamentals of theory, Behaviour and design*. London: Routledge Ed. p.584-604. 1998.
SARMENTO, H. G. DOS S.; DAVID, A. M. S. DE S.; BARBOSA, M. G.; NOBRE, D. A. C. N.; AMARO, H. T. R. Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-manso por métodos alternativos. *Energ. Agric.*, v.30, n.3, p.249-256, 2015.
SIELAMOWICZ, I. Statistical modeling of discharge process of granular materials from silos. PARTEC 2007. Nuremberg, Germany. 2007.

Capítulo 9

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE RABANETE: EFEITO DO COMPOSTO ORGÂNICO E BIOCARVÃO

Gilvanise Alves Tito¹
Lúcia Helena Garófalo Chaves²
Josely Dantas Fernandes³
Edilma Rodrigues Bento Dantas⁴

¹Dra. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, gilvanisetito@yahoo.com.br

²Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, lhgarofalo@hotmail.com

³Dr. em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, joselysolo@yahoo.com.br

⁴Dra. em Engenharia Ambiental, UEPB, Campina Grande-PB, edilma.dantas@hotmail.com

Introdução

O uso intensivo de fertilizantes químicos, altamente solúveis, corresponde a uma grande parte dos custos de produção em sistemas agrícolas e pode causar impactos no meio ambiente (GLIESSMAN, 2005). Por outro lado, o crescimento, no Brasil, da demanda para produção de alimentos mais saudáveis e de maneira sustentável, vem buscando adubação alternativa que possam contribuir de forma benéfica ao desenvolvimento sustentável (SOUSA & FIGUEIREDO, 2016). A utilização de resíduos como fonte de nutrientes para as plantas e melhorador da qualidade do solo constitui-se como uma forma de disposição segura no ambiente. Pois, os resíduos orgânicos se manejados adequadamente como por processo de compostagem, podem ser utilizados como fonte de nutrientes (FEITOSA et al., 2015). Por outro lado, são fundamentais os estudos para conhecer a dinâmica da decomposição desses resíduos orgânicos nos solos.

Outra forma de utilização desses resíduos orgânicos é através da pirólise desse material, tornando com isso, uma maior estabilidade de carbono (C) no biocarvão produzido, em comparação à biomassa original (LEHMANN et al., 2006). O biocarvão é o termo dado ao material resultante da degradação térmica (pirólise) de matéria orgânica com pouco ou nenhum oxigênio presente (LEHMANN et al., 2011), de forma rápida ou lenta.

A incorporação de biocarvão ao solo resulta em um aumento nos teores de carbono total devido a sua capacidade de reter carbono orgânico durante a pirólise, contribuindo com o sequestro de carbono no solo e consequentemente diminuindo a concentração do CO₂ na atmosfera (WOOLF et al., 2010).

A composição e as propriedades do biocarvão variam em função das diferentes condições de pirólise (temperatura, taxa de aquecimento e pressão) e do tipo de matéria-prima utilizada (CHAN & XU, 2009). Durante a pirólise, com aumento da temperatura, ocorre via volatilização, a perda de elementos como N, P e cátions, que é acompanhada por alterações complexas nas formas estruturais de carbono e microporosidade dos materiais de biocarvão (CHUN et al., 2004; SHINOGI, 2004). No entanto, normalmente há aumento na capacidade de trocas catiônicas, macronutrientes, micronutrientes e pH (JEFFERY et al., 2011; AGRAFIOTI et al., 2013).

No Brasil, destaca-se o uso de cama de aviário na produção de biocarvão em função da grande oferta desse material. A cama de aviário é uma alternativa de grande viabilidade no uso agrícola por estar disponível nas propriedades agrícolas a baixo custo (COSTA et al., 2009). No entanto, existem preocupações com a segurança alimentar e ambiental sobre sua aplicação em terras agrícolas em forma “natural”, ou seja, não modificadas (WILKINSON, 2003; CHAN et al., 2007a). De acordo com Chan et al. (2008), vários estudos, como por exemplo Vories et al. (2001) e Chan et al. (2007), mostraram um maior risco potencial de contaminação por fósforo nas águas superficiais quando a cama de aviário foi aplicado ao solo. Por isso, a conversão da cama de aviário em biocarvão, usando pirólise, representa uma alternativa para reciclagem desse resíduo, mais segura e eficaz, para ser utilizado na agricultura.

De acordo com os autores Sousa e Figueiredo (2016) e Faria et al. (2018), o uso do biocarvão na agricultura promove um aumento da produtividade das culturas devido a maior absorção de nutrientes pelas plantas. O

rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma planta herbácea pertencente à família Brassicaceae, produzida como hortaliça, cujas raízes apresentam alto valor alimentício. O desenvolvimento do rabanete é dependente da qualidade da matéria orgânica do solo e seu ciclo vegetativo é relativamente curto, cerca de 30 dias (FILGUEIRA, 2003). Devido ao seu rápido desenvolvimento, o rabanete requer altos níveis de fertilidade do solo, demandando grandes quantidades de nutrientes em um curto período de tempo (COUTINHO NETO et al., 2010). Mesmo possuindo um ciclo curto, esta cultura requer grande quantidade de potássio e nitrogênio, quando incrementa altas quantidades de massa no órgão vegetativo (OLIVEIRA et al., 2014). Conforme Chan et al. (2008), utilizando doses crescentes de biocarvão, proveniente de cama de aviário, no plantio de rabanete, observaram um aumento médio de 42% da matéria seca desta planta cultivada a 10 t ha⁻¹ quando comparada com o controle, ou seja, zero de biocarvão.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar o efeito do biocarvão e do composto orgânico, produzido pela cama de aviário, na cultura do rabanete (*Raphanus sativus*).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de janeiro a fevereiro 2020 em vasos, em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil (7°13'11" S; 35°53'31" W). Foi utilizado no experimento um Argissolo Acizentado distrófico coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar e peneirado com malha de 2,0mm com as seguintes características físico-químicas conforme Teixeira et al. (2017): apresentando classificação textural como areia franca; 869,6 g kg⁻¹ de areia; 90,4g kg⁻¹ de silte e 40,0 g kg⁻¹ de argila, densidade do solo = 1,46 g cm³; densidade das partículas = 2,69 g cm³; porosidade total = 45,73%; pH (H₂O) = 5,42; Ca = 2,20 cmol_c kg⁻¹; Mg = 2,40 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,04 cmol_c kg⁻¹; K = 0,11 cmol_c kg⁻¹; H + Al = 2,38 cmol_c kg⁻¹; MO = 17,9 g kg⁻¹; P = 3,8 mg kg⁻¹; CTC = 7,13 cmol_c kg⁻¹.

A cama de aviário foi acondicionada em cadinho tampado, para diminuir o O₂, e levado a uma mufla, em temperatura de 350°C durante 3 horas. O biocarvão produzido, foi retirado da mufla somente após o resfriamento total, em torno de 24 horas, foi peneirado em peneira com malha 2mm.

Para decompor e formar um material húmico (composto orgânico) a cama de aviário foi colocada em um recipiente com umidade próxima a capacidade de campo, revirado periodicamente e umedecido quando necessário, durante 120 dias. Após esse período o composto orgânico foi seco ao ar, destorroado, peneirado em malha de 2mm.

De acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2014) o biocarvão foi caracterizado quimicamente apresentando os seguintes resultados: Nitrogênio Total (%) = 3,06; Fósforo (P₂O₅) Total (%) = 5,76; Potássio (K₂O) (%) = 6,61; Ca (%) = 5,27; Mg (%) = 1,08; pH = 8,97; Carbono orgânico (%) = 40,02; Relação Carbono/Nitrogênio = 13,08 e CTC (mmol_c kg⁻¹) = 586,13. Da mesma forma, o composto orgânico caracterizado apresentou os seguintes resultados: Nitrogênio Total (%) = 2,40; Fósforo (P₂O₅) Total (%) = 5,71; Potássio (K₂O) (%) = 4,19; Ca (%) = 6,22; Mg (%) = 1,08; pH = 9,37; Carbono orgânico (%) = 23,73; Relação Carbono/Nitrogênio = 9,93 e CTC (mmol_c kg⁻¹) = 824,73.

As unidades experimentais, correspondentes a vasos plásticos, foram preparadas com 2 kg de solo, previamente seco, peneirado e misturado com os seguintes tratamentos: doses crescentes de biocarvão e de composto orgânico (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 t ha⁻¹), identificados como substratos, com três repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Depois do preparo das unidades experimentais, o material (solo + substrato) foi incubado durante 10 dias mantendo a umidade próxima a capacidade de campo. Após este período, a planta teste, rabanete (*Raphanus sativus*), foi semeado nas próprias unidades experimentais e, em seguida, após 10 dias da germinação (DAG) foi feito o desbaste, deixando uma planta por vaso (Figura 1).



Figura 1. Vista das unidades experimentais com 10 dias após a germinação, antes do desbaste.

A cultura não recebeu adubos minerais para não mascarar os efeitos dos tratamentos. A irrigação das unidades experimentais foi feita com água de abastecimento, mantendo-se a umidade do solo próximo a capacidade de campo.

As plantas, colhidas aos 30 DAG, foram avaliadas através da biomassa fresca das folhas (BFF) e dos rabanetes (BFR), diâmetro transversal (DT) e diâmetro longitudinal (DL); em seguida, juntamente com a parte aérea, foram colocados em estufa com 65°C para determinação da biomassa seca dos rabanetes (BSR) e das folhas (BSF). Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão por polinômios ortogonais utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

Resultados do diâmetro transversal dos rabanetes não se ajustam aos testes paramétricos, por isso são avaliados pelo teste

não-paramétrico de Kruskal-Wallis, o qual mostra a diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2). Os menores valores do diâmetro transversal dos rabanetes são observados com a testemunha, ou seja, na ausência dos substratos e a medida em que as doses destes aumentam os diâmetros também aumentam atingindo o maior valor 40,6mm, com 10 t ha⁻¹ do composto orgânico. É interessante observar que, mesmo não tendo diferenças significativas entre algumas doses, os diâmetros transversais dos rabanetes com composto orgânico são maiores do que aqueles com biocarvão.

Baseado nas médias observadas (Figura 2), as doses 10 t ha⁻¹ de biocarvão e de composto orgânico comparado com as doses 0 t ha⁻¹ de cada substrato (testemunhas), promovem um acréscimo de 98,39 e de 106,09%, respectivamente, devido, provavelmente pelo enriquecimento do solo com a aplicação dos substratos.

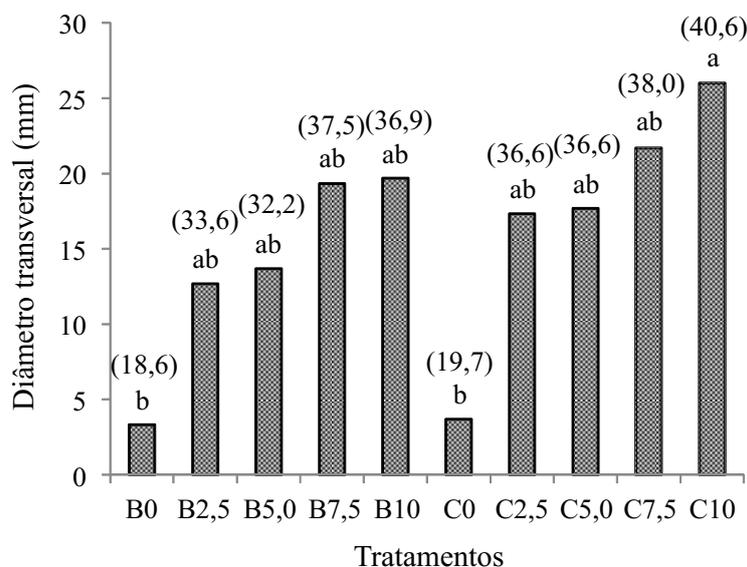


Figura 2. Diâmetro transversal do rabanete cultivado com doses crescentes de biocarvão (B) e composto orgânico (C) produzidos com cama de aviário. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses correspondem às médias observadas.

Conforme a análise de variância verifica-se que os substratos têm efeito significativo, a nível de ($p < 0,05$), apenas na biomassa fresca das folhas (BFF) e no diâmetro longitudinal (DL), enquanto que todas as variáveis em estudo são influenciadas significativamente ($p < 0,01$) pelas doses crescentes dos dois substratos, e, não são influenciadas pela interação substrato *versus* doses (Tabela 1). Segundo Costa et al. (2006), avaliando o efeito de aplicação de doses de húmus de minhoca e de esterco bovino no crescimento de rabanete, observaram que as fontes (adubos) e as doses

pouco influenciaram na produtividade total e comercial de raízes. Neste estudo, não há diferença significativa entre os substratos na produção do rabanete porque a composição química do biocarvão e do composto orgânico, produzidos a partir da cama de aviário, é muito semelhante, de acordo com o descrito nos dados iniciais constantes na metodologia. Da mesma forma, talvez a incubação desses substratos foi pequena, não havendo tempo suficiente para que ocorra uma maior mineralização dos mesmos, diferenciando os efeitos dos mesmos nos cultivos.

Tabela 1. Análise de variância da biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do rabanete (BFR), diâmetro longitudinal (DL), biomassa seca das folhas (BSF) e biomassa seca do rabanete (BSR) com doses crescentes de biocarvão e de composto orgânico, produzidos com cama de aviário

FV	GL	Quadrado Médio				
		BFF ¹ -----g-----	BFR ² -----g-----	DL ³ mm	BSF -----g-----	BSR ⁴ -----g-----
Substrato	1	6982,4*	16958,0ns	5657115,9*	0,04ns	0,91ns
Doses	4	41931,4**	183810,3**	27556669,8**	2,92**	12,9**
Substrato x Dose	4	2386,4ns	12012,5ns	1450329,0ns	0,03ns	0,41ns
Resíduo	20	1464,27	11038,78	1147724,33	0,07	0,26
CV		25,31	27,87	24,13	18,47	26,70
Média		151,20	377,04	4440,03	1,46	1,93

* e ** significativo a nível de 5 e 1%, ns não significativo e os valores transformado ¹ = $(X^{2,3989} - 1)/2,3989$; ² = $(X^{2,045} - 1)/2,045$; ³ = $(X^{2,5} - 1)/2,5$ e ⁴ = $(X^{1,5404} - 1)/1,5404$.

Os valores das variáveis biomassa fresca das folhas (BFF) e diâmetro longitudinal (DL) dos rabanetes cultivados com biocarvão são maiores do que aqueles cultivados com composto orgânico, havendo diferenças

significativas entre os mesmos, conforme Figuras 3A e 3B, respectivamente. A aplicação de biocarvão em comparação com composto orgânico há acréscimos de 8,77 e de 8,24% na BFF e DL, respectivamente.

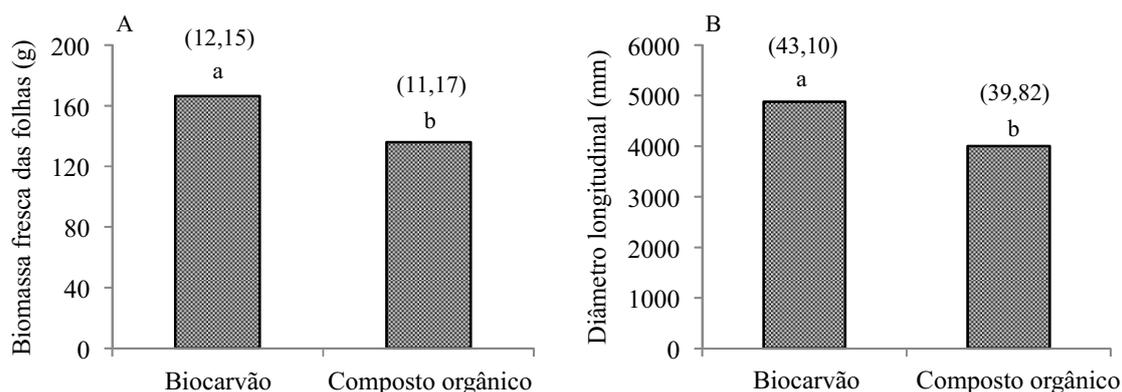


Figura 3. Biomassa fresca das folhas (BFF) e diâmetro longitudinal (DL) do rabanete em função de biocarvão e composto orgânico. Dados entre parênteses correspondem aos dados não transformados.

De acordo com os tratamentos, verifica-se que a biomassa fresca das folhas (BFF) cresce de forma quadrática, em que a produção máxima de BFF é 219,2 g (13,63 g, dado não transformado) na dose 8,6 t ha⁻¹ favorecendo um aumento de 908% em relação a testemunha (Figura 4A). Esse acréscimo deve ser devido ao aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes pelo biocarvão (GUNES et al., 2014) e composto orgânico (FILGUEIRA, 2003), melhorando o desenvolvimento das plantas. Jeffery et al. (2011) verificaram que as culturas com melhores respostas agrônômicas após a aplicação de biocarvão foram soja e rabanete em doses de 100 t ha⁻¹. Por outro lado, no presente trabalho, a biomassa seca das folhas (BSF) cresce linearmente, variando de 0,61g (0 t ha⁻¹ de adubos) a 2,31g (10 t ha⁻¹ dos adubos), favorecendo um acréscimo de 278,68% entre a maior e menor dose (Figura 4B). Resultado semelhante foi encontrado por Sousa e Figueiredo (2016) usando a dose 62 Mg ha⁻¹ de biocarvão produzido com lodo de esgoto na cultura do rabanete. Resultado inferior é obtido por Chan et al. (2007) que obtiveram produção de massa seca da parte aérea de rabanete de 1,0 e 1,2 g/planta, com doses de 50 e 100 Mg ha⁻¹ de biocarvão de resíduos verdes, respectivamente. Tito et al. (2019) avaliaram o desempenho do rabanete cultivado com vermicompostagem enriquecido com pó de rocha e encontraram para maior dose, 25 t ha⁻¹, a biomassa seca da folha de 1,74g.

As doses dos adubos influenciam significativamente a biomassa fresca do rabanete (BFR) (Figura 4C) em que, o rendimento máximo da BFR é 520,7 g (30,24 g, dado não transformado) na dose 8,5 t ha⁻¹. Por outro lado, o valor máximo da biomassa seca do rabanete é 4,01g (3,59 g, dado não

transformado) numa dose superestimada 17,4 t ha⁻¹ (Figura 4D). Em ambos os casos, as doses crescentes dos substratos favorecem um acréscimo de 416,8 e 668,6% quando se compara a testemunha com a máxima dose, respectivamente. Vitti et al. (2007) estudando a resposta do rabanete a adubação orgânica com doses diferentes de vermicomposto bovino, verificaram que a maior dose (20 g/vaso) propiciou um aumento significativo na fitomassa seca e fresca das raízes. Chan et al. (2007), estudando o efeito do biocarvão produzido a partir de resíduos verdes sobre a produção de rabanete, verificaram que não ocorreu aumento no rendimento de matéria seca de rabanete, mesmo na maior dose aplicada, 100 t ha⁻¹. No entanto, Chan et al. (2008) usando biocarvão, produzido com cama de galinha, no plantio de rabanete, observaram efeito significativo na matéria seca total das plantas, obtendo em torno de 5g/vaso com 10 t ha⁻¹ de biocarvão. Essa produção é semelhante a encontrada no presente trabalho, uma vez que, com 10 t ha⁻¹ as BSF e BSR, correspondem a 2,31 e 3,38g/vaso, respectivamente, totalizando 5,69 g/vaso como matéria seca total da planta. Segundo Chan et al. (2008), o rendimento de rabanete poderia ser melhorado mesmo com a aplicação menor de 10 t ha⁻¹ de biocarvão e aumentaria ainda mais o rendimento com o aumento da quantidade aplicada.

As doses dos substratos também influenciam o diâmetro longitudinal apresentando um crescimento de forma quadrática, atingindo seu ponto máximo (6128,2mm) (47,22mm, dado não transformado) com a dose 8,1 t ha⁻¹, vindo a decrescer com o aumento das doses (Figura 4E).

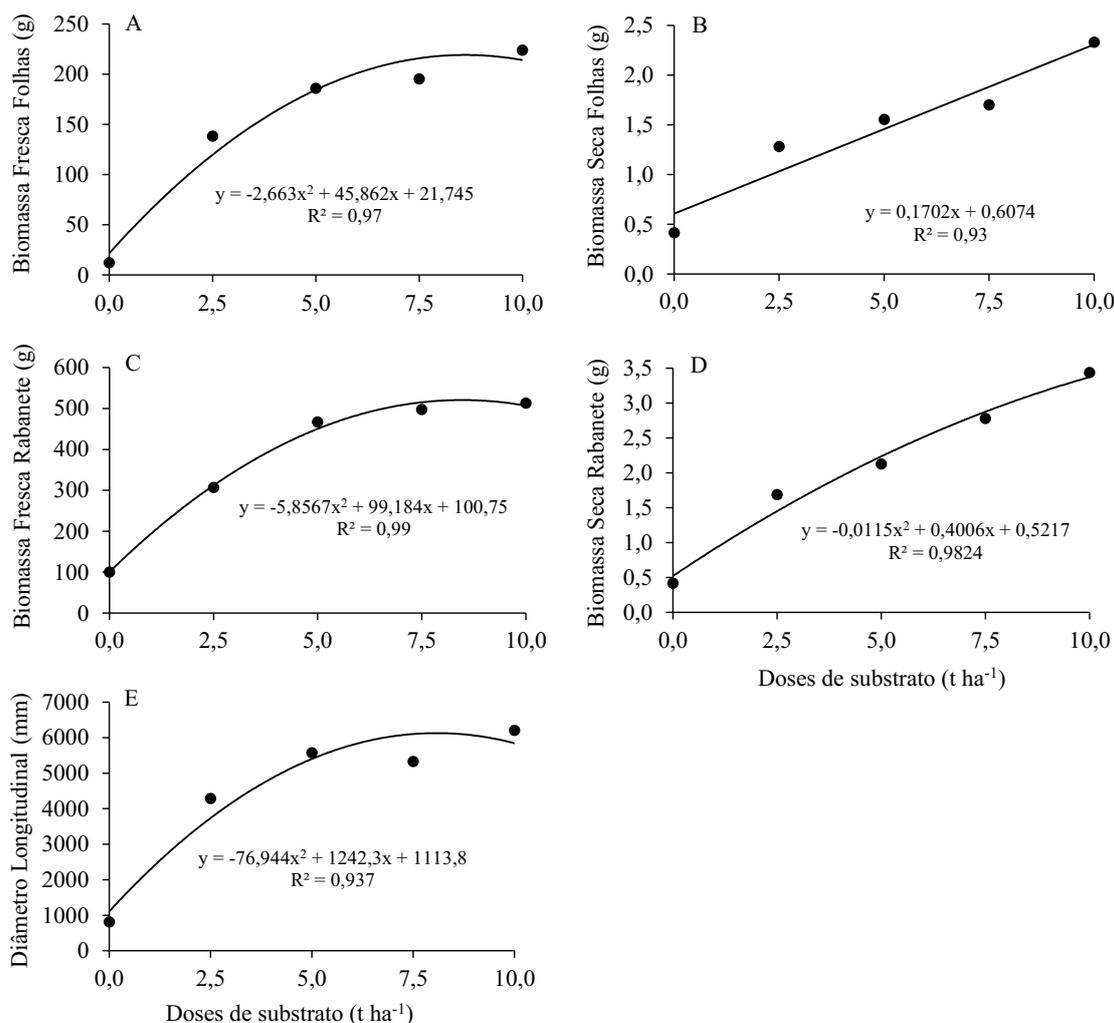


Figura 4. Biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa seca das folhas (BSF), biomassa fresca do rabanete (BFR), biomassa seca do rabanete (BSR) e diâmetro longitudinal (DL) do rabanete cultivado com doses crescentes de biocarvão e composto orgânico.

De modo geral, o aumento das variáveis de crescimento e produção do rabanete, pode ter ocorrido devido à vários fatores, como por exemplo, presença de nitrogênio e fósforo disponível nos substratos, os quais podem ter sido liberados para o solo durante a incubação desses materiais, por causa da mineralização dos mesmos (CHAN et al., 2008); o efeito de calagem desses substratos no solo por causa do aumento do pH do solo (VAN ZWIETEN et al., 2007) e, provavelmente, da neutralização de alumínio trocável, além da presença de outros nutrientes, como potássio, cálcio e magnésio.

Conclusão

Os aumentos das variáveis de crescimento e produção do rabanete foram em grande parte devido a capacidade dos substratos, biocarvão e composto orgânico, em aumentar a disponibilidade de nutrientes para o solo.

Por este trabalho destacou-se a importância da matéria-prima (cama de aviário) e das condições dos processos durante a compostagem e a pirólise na determinação das características químicas do composto orgânico e biocarvão que influenciam nos solos.

Conforme a semelhança das características químicas, os substratos composto orgânico e o biocarvão, podem ser utilizados igualmente na agricultura, no entanto, para o agricultor, a facilidade da compostagem do resíduo, cama de aviário, deverá ser maior do que a pirólise, só que com a pirólise, a reciclagem deste resíduo pode aumentar a estabilidade do carbono no biocarvão, sendo mais segura e eficaz na agricultura.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -

CNPq, pela concessão de bolsas à primeira autora

Referências

- AGRAFIOTI, E.; BOURAS, G.; KALDERIS, D.; DIAMADOPOULOS, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.101, p.72-78, 2013.
- BRASIL. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação de Apoio Laboratorial. (Org.) VERAS, M. C. M. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, v.45, n.8, p.629-634, 2007.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, D. S. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, v.46, n.5, p.437-444, 2008.
- CHAN, K. Y.; XU, Z. H. Biochar - nutrient properties and their enhancement. (Eds). LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management. Earthscan Publisher: London, 2009.
- CHUN, Y.; SHENG, G.; CHIOU, C. T.; XING, B. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. *Environmental Science & Technology*, v.38, n.17, p.4649-4655, 2004.
- COSTA, A. M.; BORGES, E. N.; SILVA, A. A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de aviário. *Ciência Agrotecnológica*, v.33, Ed. Esp., p.1991-1998, 2009.
- COSTA, C. C.; OLIVEIRA, C. D.; SILVA, C. J.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, I. C. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. *Horticultura Brasileira*, v.24, n.1, p.118-122, 2006.
- COUTINHO NETO, A. M.; ORIOLI JÚNIOR, V.; CARDOSO, S. S.; COUTINHO, E. L. M. Produção de matéria seca e estado nutricional do rabanete em função da adubação nitrogenada e potássica. *Revista Núcleos*, v.7, n.2, p.105-114, 2010.
- FARIA, W. M.; FIGUEIREDO, C. C. de; COSER, T. R.; VALE, A. T.; SCHNEIDER, B. G. Is sewage biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two - year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.64, n.4, p.505-519, 2018.
- FEITOSA, M. M.; MARTINS, T. S.; TANIGUCHI, C. A. K.; SOUZA, H. A. Mineralização do carbono de composto de orgânico proveniente de resíduos da produção e abate de pequenos ruminantes em Neossolo Flúvico. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais... Natal, 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência Agrária*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. UFV, Viçosa-MG, 2003. 290p.
- GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 3ª ed. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2005. p.33-59.
- GUNES, A.; INAL, A.; TASKIN, M. B.; SAHIN, O.; KAYA, E. C.; ATAKOL, A. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*, v.30, n.2, p.182-188, 2014.
- JEFFERY, L. S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.144, n.1, p.175-187, 2011.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.11, p.403-427, 2006.
- LEHMANN, J.; RILLIG, M.; THIES, J.; MASIELLO, C.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota: a review. *Soil Biology & Biochemistry*, v.43, n.6, p.1812-1836, 2011.
- SHINOBI, Y. Nutrient leaching from carbon products of sludge. In: ASAE/CSAE Annual International Meeting, 2004, Ontario. Anais...Ontario, Canada, 2004.
- SOUZA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, v.32, n.2, p.127-138, 2015.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, Brasília, DF, 2017. 573p.
- TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; SOUZA, F. G.; CAVALCANTE, A. R.; FERNANDES, J. D.; VASCONCELOS, A. C. F. Efeito do vermicomposto

enriquecido com pó de rochas na química do solo e cultura de rabanete. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.14, n.4, p.506-511, 2019.

VITTI, M. R.; VIDAL, M. B.; MORSELLI, T. B. G. A.; FARIA, J. L. C. Resposta do rabanete a adubação orgânica em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2, n.1, p.1158-1161, 2007.

OLIVEIRA, G. Q.; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; JESUS, M. P.; FILHO, P. S. V. Aspectos produtivos do rabanete em função da adubação nitrogenada com e sem hidrogel. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, n.1, p.89-100, 2014.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; DOWNIE, A.; CHAN, K. Y.; COWIE, A.; WAINBERG, R.; MORRIS, S. Papermill Char: Benefits to soil health and plant production. In: *International Char*

Initiative Conference, 2007, Terrigal. *Anais...Terrigal, NSW*, 2007.

VORIES, E. D.; COSTELLO, T.A.; GLOVER, R. E. Runoff from cotton fields fertilized with poultry litter. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.44, n.6, p.1495-1502, 2001.

WILKINSON, K. Strategies for the safe use of poultry litter in food crop production. Final report for project VG01049 Horticulture. Australia, Department of Primary Industries, Victoria. 2003.

WOOLF, D.; AMONETTE J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMMAN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, v.1, n.56, p.1-9, 2010.

Capítulo 10

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE RABANETE: EFEITO RESIDUAL DO COMPOSTO ORGÂNICO E BIOCÁRVÃO

Gilvanise Alves Tito¹
Lúcia Helena Garófalo Chaves²
Josely Dantas Fernandes³
Edilma Rodrigues Bento Dantas⁴

¹Dra. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, gilvanisetito@yahoo.com.br

²Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, lhgarofalo@hotmail.com

³Dr. em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, joselysolo@yahoo.com.br

⁴Dra. em Engenharia Ambiental, UEPB, Campina Grande-PB, edilma.dantas@hotmail.com

Introdução

Uma prática comumente adotada para aumentar a produção, principalmente de hortaliças, é o uso de adubos orgânicos os quais repõem os nutrientes nos solos retirados pelas plantas. Além disso, esses adubos podem contribuir para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1985).

Com a intensificação da produção de frangos de corte no Brasil, o volume de resíduos gerados por essa atividade, a cama de galinha, também aumentou, gerando em torno de 6,8 milhões de m³ (CORRÊA & MIELE, 2011). Isso faz com que, a cama de galinha como adubo pode ser utilizado diretamente no solo agrícola ou após a compostagem desse resíduo, embora pouco tem sido estudado sobre o uso da cama de galinha no cultivo de hortaliças (LEMOS et al., 2014).

De acordo com Souza et al. (2012), os resíduos se manejados adequadamente como por processo de compostagem, podem ser utilizados como fonte de nutrientes e uma forma de disposição segura no ambiente.

Outra forma de aproveitamento da cama de aviário é através da pirólise desse material, tornando com isso uma maior estabilidade de carbono (C) no biocárvão produzido, em comparação à biomassa original (LEHMANN et al., 2006). A adição de biocárvão ao solo pode contribuir para a redução de problemas de emissão e favorecer a fertilidade do solo, devido a presença de carbono altamente estável e seu conteúdo de nutrientes inorgânicos (FILIBERTO & GAUNT, 2013; LEHMANN et al., 2006; SOHI et al., 2010). No entanto, o efeito do biocárvão sobre a fertilidade do solo e produtividade das culturas depende de vários

fatores, sendo um deles, o período de avaliação, curto ou longo período (TIAN et al., 2018).

De acordo com o grau de decomposição de compostos orgânicos e/ou biocárvões adicionados ao solo, pode ter efeito imediato no solo e/ou efeito residual por meio de um processo mais lento de decomposição (VIDIGAL et al., 1997).

O rabanete, *Raphanus sativus* L., é uma brassicácea de porte reduzido, raízes globulares, de coloração escarlate brilhante, polpa branca e sabor levemente picante. Apresenta importância nutricional, uma vez que é fonte de vitamina A, complexo B, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, sódio e ferro (CARDOSO & HIRAKI, 2001), assim como ácido fólico, altas quantidades de fibras alimentares, e apresenta baixa quantidade de calorias (CAMARGO et al., 2007). Por ser uma das culturas de ciclo mais curto dentre as hortaliças, aproximadamente 30 dias, se torna uma opção ao produtor rural cultivando rabanete entre duas culturas de ciclo mais longo. Essa cultura é exigente quanto à fertilidade do solo e dependente da qualidade da matéria orgânica do solo (FILGUEIRA, 2003), ou seja, ela necessita de grandes aportes de nutrientes em pequeno espaço de tempo.

Vários trabalhos têm mostrado o efeito favorável da adubação orgânica sobre a fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produção das culturas, no entanto, devido à complexidade das formas como os nutrientes estão presentes nesses materiais, restam dúvidas sobre a disponibilidade desses nutrientes para as plantas e sobre o seu efeito residual no solo (FACHINI, 2018). Segundo Bonela et al. (2017), ainda são escassas as pesquisas que retratam o uso residual da adubação orgânica para culturas subsequentes.

Neste sentido, objetiva-se com este trabalho avaliar o efeito residual do composto orgânico e do biocarvão, produzidos pela cama de aviário, no desenvolvimento e produção da cultura do rabanete.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil (7°13'11" S; 35°53'31" W). Foi utilizado no experimento um Argissolo Acizentado distrófico coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar e peneirado com malha de 2,0mm com as seguintes características físico-químicas conforme Teixeira et al. (2017): apresentando classificação textural como areia franca; 869,6 g kg⁻¹ de areia; 90,4g kg⁻¹ de silte e 40,0 g kg⁻¹ de argila, densidade do solo = 1,46 g cm³; densidade das partículas = 2,69 g cm³; porosidade total = 45,73 %; pH (H₂O) = 5,42; Ca = 2,20 cmol_c kg⁻¹; Mg = 2,40 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,04 cmol_c kg⁻¹; K = 0,11 cmol_c kg⁻¹; H + Al = 2,38 cmol_c kg⁻¹; MO = 17,9 g kg⁻¹; P = 3,8 mg kg⁻¹; CTC = 7,13 cmol_c kg⁻¹.

A cama de aviário foi acondicionada em cadinho tampado, para diminuir o O₂, e levado a uma mufla, em temperatura de 350°C durante 3 horas. O biocarvão produzido, retirado da mufla somente após o resfriamento total, em torno de 24 horas, foi peneirado em malha 2mm.

Para decompor e formar um material húmico (composto orgânico) a cama de aviário foi colocada em um recipiente com umidade próxima a capacidade de campo, revirado periodicamente e umedecido quando necessário, durante 120 dias. Após esse período o composto orgânico foi seco ao ar, destorroado, peneirado em malha de 2mm.

De acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (BRASIL, 2014) o biocarvão foi caracterizado quimicamente apresentando os seguintes resultados: Nitrogênio Total (%) = 3,06; Fósforo (P₂O₅) Total (%) = 5,76; Potássio (K₂O) (%) =

6,61; Ca (%) = 5,27; Mg (%) = 1,08; pH = 8,97; Carbono orgânico (%) = 40,02; Relação Carbono/Nitrogênio = 13,08 e CTC (mmol_c kg⁻¹) = 586,13. Da mesma forma, o composto orgânico caracterizado apresentou os seguintes resultados: Nitrogênio Total (%) = 2,40; Fósforo (P₂O₅) Total (%) = 5,71; Potássio (K₂O) (%) = 4,19; Ca (%) = 6,22; Mg (%) = 1,08; pH = 9,37; Carbono orgânico (%) = 23,73; Relação Carbono/Nitrogênio = 9,93 e CTC (mmol_c kg⁻¹) = 824,73.

Em janeiro de 2020 foram preparadas as unidades experimentais, correspondentes a vasos plásticos com 2,0 kg de solo, previamente seco, peneirado e misturado com os seguintes tratamentos: doses crescentes de biocarvão e de composto orgânico (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 t ha⁻¹), identificados como substratos, com três repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Esse material (solo + substrato) foi incubado durante 10 dias e após este período, foi semeado o rabanete (*Raphanus sativus*) e colhido aos 30 DAG. Após 10 dias desta colheita, com intuito de avaliar o efeito residual da aplicação de biocarvão e do composto orgânico ao solo, foi semeado novamente o rabanete mantendo o mesmo delineamento experimental. Após 10 dias da germinação (DAG) foi feito o desbaste, deixando uma planta por vaso. Da mesma forma que na cultura anterior, a atual não recebeu adubos minerais e foi irrigada com água de abastecimento, mantendo-se a umidade do solo próximo a capacidade de campo.

As plantas, colhidas aos 30 DAG, foram avaliadas através da biomassa fresca das folhas (BFF) e dos rabanetes (BFR), diâmetro transversal (DT) e diâmetro longitudinal (DL); em seguida, juntamente com a parte aérea, foram colocados em estufa com 65°C para determinação da biomassa seca dos rabanetes (BSR) e das folhas (BSF). Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão por polinômios ortogonais utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).



Figura 1. Vista das unidades experimentais aos 30 dias após a germinação, no dia da colheita.

Resultados e Discussão

As variáveis estudadas, biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do rabanete (BFR), altura da planta (HP), diâmetro transversal (DT) e biomassa seca das folhas

(BSF) são influenciadas significativamente pelos substratos (composto orgânico e biocarvão), pelas doses utilizadas e pela interação destes fatores (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância da biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do rabanete (BFR), altura da planta (HP), diâmetro transversal (DT) e biomassa seca das folhas (BSF), com doses crescentes do biocarvão e composto orgânico, produzido com cama de aviário

FV	GL	Quadrado Médio				
		BFF	BFR	HP	DT	BSF ⁽¹⁾
Substrato(S)	1	24,12**	727,47**	15,84*	315,96**	0,23**
Dose (D)	4	48,44**	788,13**	43,39**	273,15**	0,19**
S x D	4	18,19**	102,04**	14,18**	70,34*	0,05**
Dose dentro de S1:						
Linear	1	95,48**	1441,58**	103,78**	602,29**	0,32**
Quadrática	1	64,58**	29,87ns	3,78ns	6,49ns	0,04*
Desvio	2	15,63**	3,41ns	7,95ns	50,49ns	0,03ns
Dose dentro de S2:						
Linear	1	61,55**	1420,03**	37,63**	224,80**	0,33**
Quadrática	1	5,25ns	276,79**	9,14ns	142,15**	0,13**
Desvio	2	4,23 ns	192,80**	30,02**	48,61ns	0,04*
Resíduo		2,01	20,16	2,75	15,93	0,009
CV		16,41	18,26	11,15	11,57	23,44
MG		8,89	24,83	15,68	34,54	1,06

*, ** significativo a nível de $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente e ns não significativo. ⁽¹⁾ Dados transformados $1/\sqrt{x}$. S1 e S2 substratos: biocarvão e composto orgânico, respectivamente.

A biomassa fresca da folha (BFF) se ajusta melhor ao modelo de regressão quadrático e linear para o biocarvão e composto orgânico, respectivamente, onde as maiores biomassas, 14,04 e 12,66 g, são obtidas na dose 10 t ha⁻¹ para os dois substratos, promovendo um aumento da BFF de 103,4% (biocarvão) e 82,9% (composto orgânico), quando se compara com a testemunha (Figura 2A). Resultado inferior é observado em ensaio realizado por Bonela et al. (2017), onde avaliaram o efeito residual de fontes de matéria orgânica (esterco bovino,

camada de aviário, esterco de suíno) no desenvolvimento e produção de três cultivares de rabanete. Esses autores encontraram para a BFF um valor médio de 4,31g. Por outro lado, Jeffery et al. (2010), verificaram que as culturas com melhores respostas agrônômicas após a aplicação de biocarvão foram soja e rabanete.

Com exceção da testemunha, todas as doses dos substratos promovem diferenças significativas na BFF, sendo que o biocarvão só tem resultado superior ao composto orgânico com o residual da dose 10 t ha⁻¹ (Figura 2B).

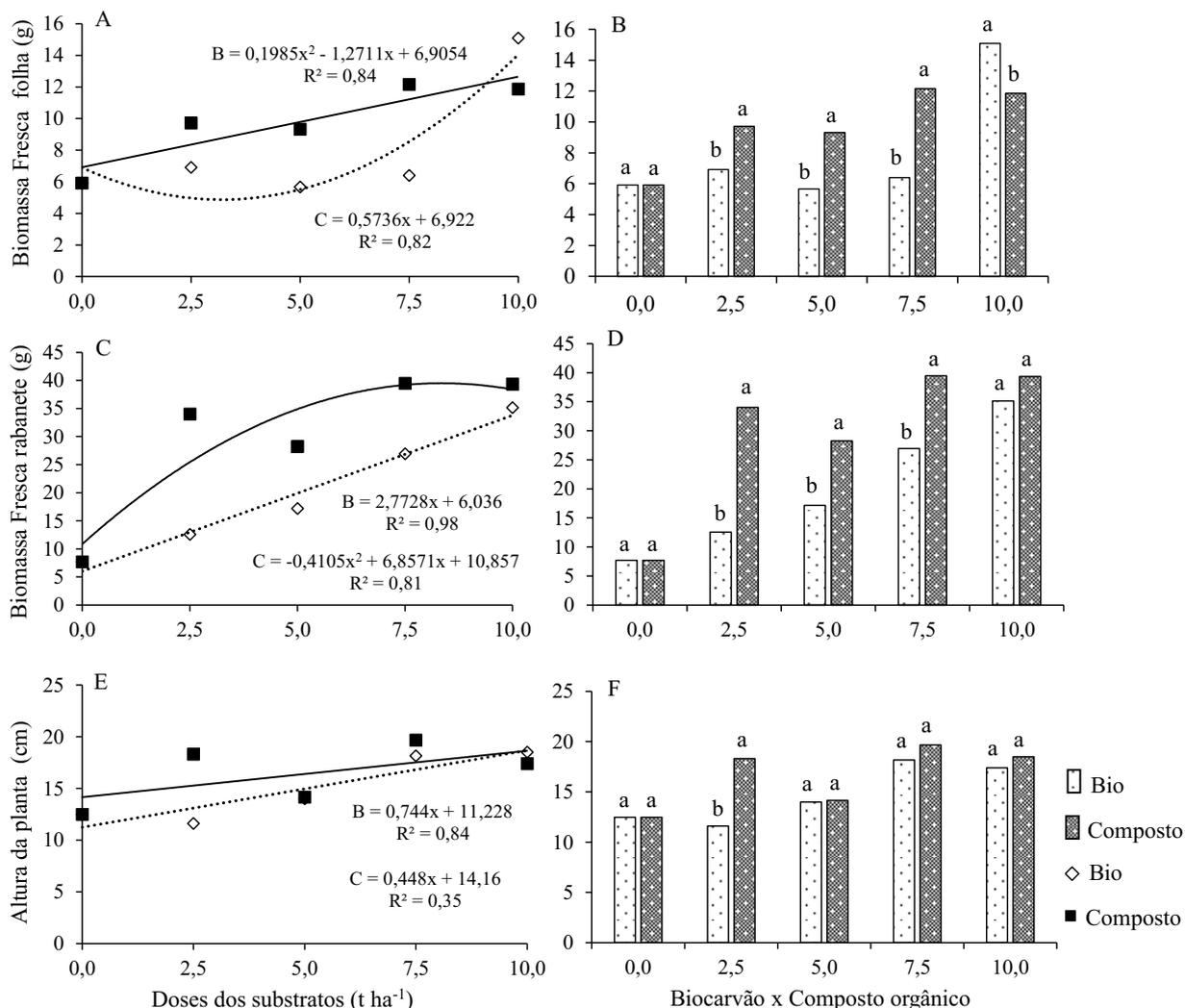


Figura 2. Biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do rabanete (BFR), altura da planta (HP) e do rabanete cultivado com doses crescentes de biocarvão e composto orgânico.

Em relação a biomassa fresca do rabanete (BFR) (Figura 2C), verifica-se um comportamento linear para o biocarvão e quadrático para o composto orgânico, variando de 6,04 (testemunha) a 33,76 g (dose de 10 t ha⁻¹) e de 10,86 (testemunha) a 38,38 g (dose de 10 t ha⁻¹), respectivamente, gerando um acréscimo de 458,9 e 253,4% quando compara-se o máximo valor com a testemunha de cada

substrato. Com base nestes dados observa-se que o valor médio da BFR está em torno de 19,9g para o biocarvão e 24,62g para o composto orgânico. Estes valores são maiores do que 3,86; 2,92 e 5,18g das BFR das cultivares n°25, Vip Crimson e Red Jewel F1, respectivamente, cultivadas com material residual de matéria orgânica (BONELA et al., 2017), no entanto, são menores do que 38,73g

da BFR cultivado com vermicomposto enriquecido com o pó de rochas (MB4) (TITO et al., 2019). Entretanto, aplicação ao solo de 10; 50 e 100 t ha⁻¹ de biocarvão, produzido a partir de resíduos verdes, não aumentou a produção de rabanete (CHAN et al., 2007), mas, diferentes doses de biocarvão, proveniente de lodo de esgoto, no desenvolvimento da cultura do rabanete, foram capazes de fornecer nutrientes (especialmente fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio) para as plantas, resultando em maior produtividade desta cultura (SOUSA & FIGUEIREDO, 2016).

Conforme a Figura 2D, a BFR com as doses 2,5; 5,0 e 7,5 t ha⁻¹ de composto orgânico é significativamente superior com as de biocarvão corroborando com Shulz e Glaser (2012). Estes autores verificaram maior produtividade de aveia (*Avena sativa* L.) utilizando composto orgânico quando comparado com o uso de biocarvão.

O residual das doses dos substratos promove um acréscimo linear na altura da planta (HP) variando de 11,23 a 18,67 cm (biocarvão) e de 14,16 a 18,64 cm (composto orgânico), favorecendo um aumento de 66,3 e 31,6% da altura da planta para esses valores (Figura 2E). Da mesma forma, altura da planta de rabanete, cultivado sob o residual remanescente da cultura da alface adubada com 3 doses de vermicomposto bovino, variou de

14,4 a 17,6 cm (RODRIGUEZ et al., 2017). No entanto, vários autores encontraram valores diferentes das alturas das plantas de rabanete, o que pode ser justificado pelo tipo de material orgânico aplicado ao solo, como por exemplo, húmus de minhoca e esterco bovino (PEREIRA et al., 2011), e biocarvão, proveniente de lodo de esgoto (SOUSA & FIGUEIREDO, 2016). Conforme a Figura 2F, apenas a dose 2,5 t ha⁻¹ influencia significativamente entre os substratos.

De acordo com o residual dos substratos, verifica-se que o diâmetro transversal (DT) do rabanete é influenciado de forma linear com o biocarvão variando de 22,93 a 40,05mm e de forma quadrática com o composto orgânico, atingindo seu ponto máximo (43,25mm) com a dose 7,6 t ha⁻¹, vindo a decrescer com o aumento da mesma. Os residuais dos substratos favorecem um acréscimo de 74,7 e 57,5%, respectivamente, quando se compara a testemunha com o maior valor (Figura 3A). Rodrigues et al. (2013) obtiveram resultado inferior quando utilizaram adubo orgânico em substituição da adubação mineral na cultura do rabanete, obtendo diâmetro de 31,7mm com esterco de galinha. No caso do comparativo entre os substratos para o diâmetro transversal (Figura 3B), observa-se que apenas a dose 2,5 t ha⁻¹ foi significativamente diferente.

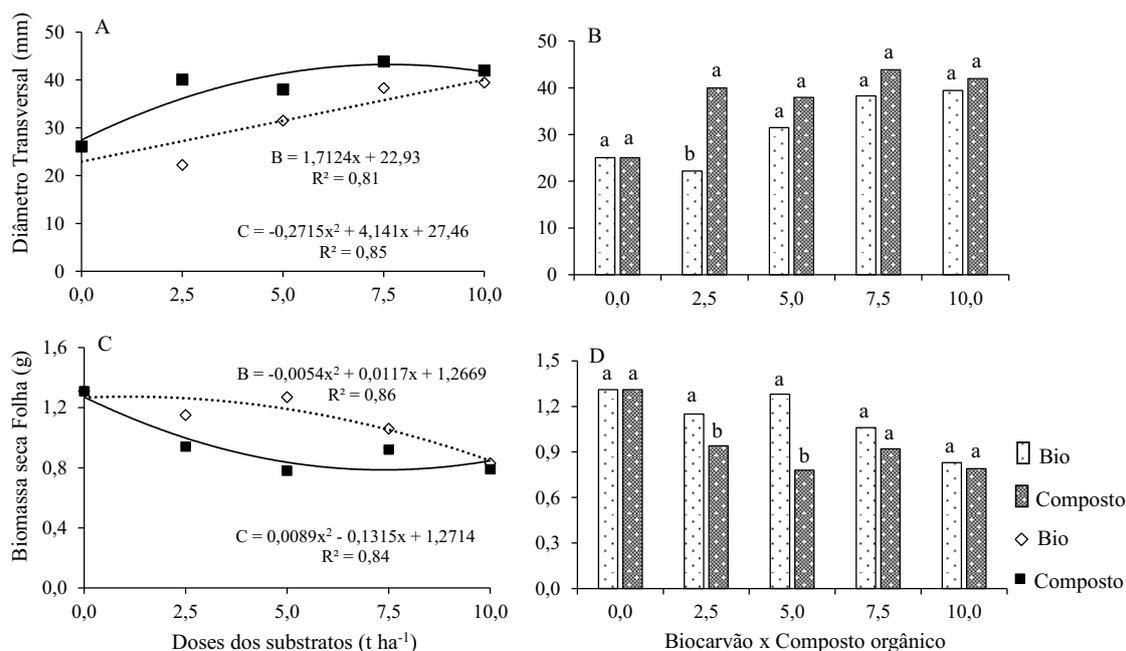


Figura 3. Diâmetro transversal (DT) e biomassa seca das folhas (BSF), do rabanete cultivado com doses crescentes de biocarvão e composto orgânico.

A biomassa seca da folha é influenciada de forma quadrática decrescente (dados transformados $1/\sqrt{x}$), tanto para o biocarvão, quanto para o composto orgânico, conforme pode ser observado na Figura 3C. No entanto, os dados originais da BSF se comportam de forma quadrática crescente, ou seja, a BSF aumenta em função das doses de biocarvão atingindo com 10 t ha^{-1} , $1,47\text{g}$, apresentando um aumento de $160,9\%$ quando comparado este valor com a testemunha ($0,56\text{g}$). Em função das doses crescentes do composto orgânico, o valor máximo de BSF é $1,54 \text{ g}$ com $7,7 \text{ t ha}^{-1}$, apresentando um aumento de $179,3\%$ em relação a testemunha ($0,55 \text{ g}$). Segundo Van Zwieten et al. (2010), comparando a biomassa seca de rabanete (bolbo + brotos) produzido com dois tipos de biocarvões, derivados da pirólise lenta dos resíduos da fábrica de papel, e com fertilizantes, observaram que houve pouca resposta dos biocarvões na ausência de

fertilizantes. De acordo com Albuquerque et al. (2014), isso ocorre quando o biocarvão é obtido a partir de matéria-prima pobre em nutrientes, apresentando benefícios limitados para a fertilidade do solo e efeitos de curto prazo, produzindo pequena melhoria no crescimento e desenvolvimento das culturas.

Na Figura 3D, pode ser observado que o residual do composto orgânico influencia melhor a BSF do que o biocarvão, havendo diferenças significativas entre os dois substratos somente nas doses $2,5$ e $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 3D).

O diâmetro longitudinal e a biomassa seca do rabanete não se ajustam ao teste t, por isso foram analisados pelo teste Kruskal-Wallis a nível de significância ($\alpha = 0,05$), cujas médias em função das doses de substratos são apresentadas nas Figuras 4A e 4B, respectivamente.

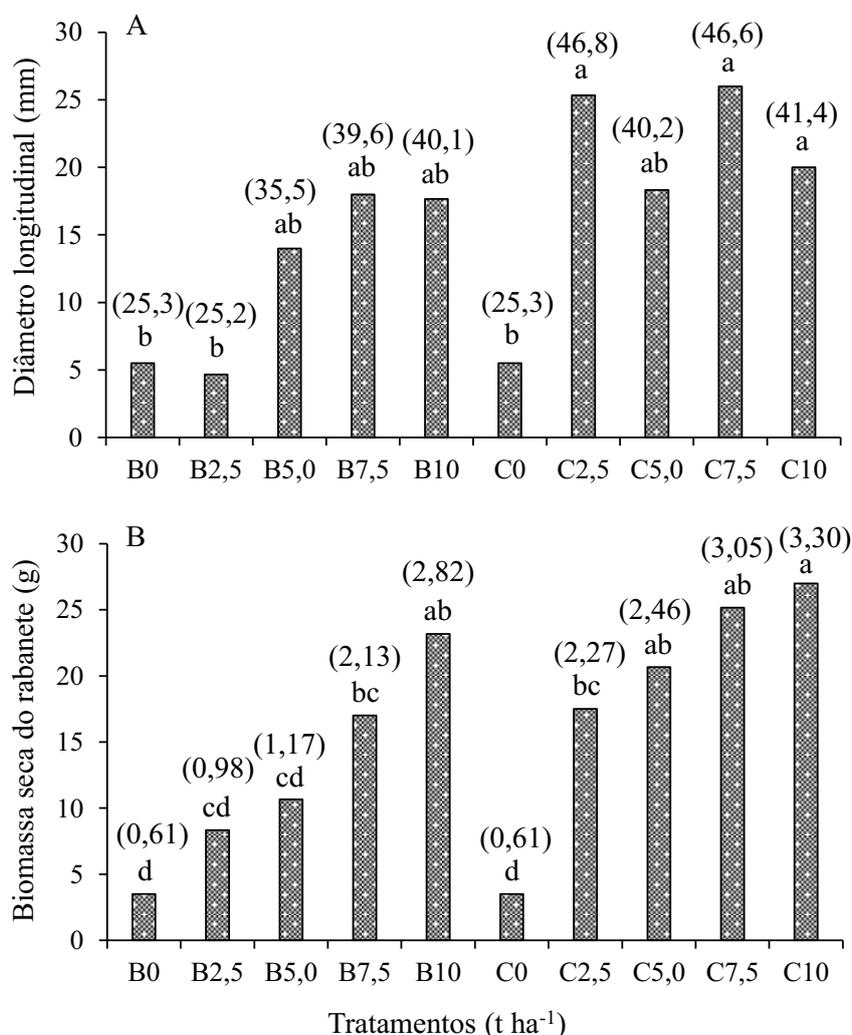


Figura 4. Diâmetro longitudinal (DL) e a biomassa seca do rabanete (BSR) cultivado com o residual das doses crescentes de biocarvão (B) e composto orgânico (C) ambos produzidos com cama de aviário. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses correspondem às médias observadas.

O composto orgânico promove maiores valores de diâmetro longitudinal dos rabanetes apesar de não ter diferença significativa entre as doses 2,5; 7,5 e 10 t ha⁻¹. Com o uso do biocarvão, doses 5,0; 7,5 e 10 t ha⁻¹, não influenciam significativamente entre si no diâmetro longitudinal, contudo atingem os maiores valores com este substrato (Figura 4A).

A biomassa seca do rabanete aumenta em função das doses, independentemente do substrato utilizado. As menores médias são obtidas na ausência de biocarvão e composto orgânico. O uso de 5,0; 7,5 e 10 t ha⁻¹ de composto orgânico e 10 t ha⁻¹ de biocarvão (Figura 5) promovem as maiores biomassas secas dos rabanetes, entretanto, suas médias não diferem entre si (Figura 4B).



Figura 5. Vista do rabanete, 30 dias após a germinação, cultivado com resíduo de 10 t ha⁻¹ de biocarvão

Os valores da biomassa, tanto seca como fresca dos rabanetes, têm mostrado os benefícios residuais dos substratos biocarvão e composto orgânico, ambos produzidos a partir da cama de aviário, pois os mesmos aumentam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, fato observado pelo crescimento das características agrônômicas do rabanete.

O composto orgânico proporciona resultados ora maior ora igual ao biocarvão.

Isso sugere, pouco tempo para sua mineralização do biocarvão, para se tornarem disponíveis às plantas. No entanto, seu efeito no solo é mais durável, pois segundo Chen et al. (2014), o biocarvão possui uma forte estrutura aromática e por isso é mais recalcitrante do que muitos outros tipos de matéria orgânica no solo com estabilidade a longo prazo no solo (KUZUYAKOV et al., 2014).



Figura 6. Vista dos rabanetes, 30 dias após a germinação, cultivados com os resíduos dos tratamentos.

Conclusão

A adubação com composto orgânico e biocarvão exerceu efeito residual significativo sobre o desenvolvimento (variáveis de crescimento) e a produção do rabanete.

No geral, o efeito residual da adubação com composto orgânico teve melhor desempenho nos caracteres agrônômicos do rabanete em comparação com o biocarvão.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsas à primeira autora.

Referências

- ALBUQUERQUE, J. A.; CALERO, J. M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M. C. D.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.177, n.1, p.16–25, 2014.
- BONELA, G. D.; SANTOS, W. P.; SOBRINHO, E. A.; GOMES, E. J. C. Produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes residuais de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.7, n.2, p.66-74, 2017.
- BRASIL. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação de Apoio Laboratorial. (Org.) VERAS, M. C. M. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.
- CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I. C. S.; MIELI, J.; SASSAKI, E. K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.1, n.2, p.181-195, 2007.
- CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. *Horticultura Brasileira*, v.19, n.3, p.328-331, 2001.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, v.45, n.8, p.629-634, 2007.
- CHEN, D.; ZHOU, J.; ZHANG, Q. Bioresource Technology Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of moso bamboo. *Bioresource Technology*, v.169, p.313-319, 2014.
- CORRÊA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). *Manejo ambiental na avicultura*. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, 2011. (Documentos, 149).
- FACHINI, J. Efeitos residuais do biochar de lodo de esgoto nas propriedades químicas e biológicas do solo, na nutrição e produtividade do milho. 106f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília. Brasília, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência Agrária*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.
- FILIBERTO, D. M.; GAUNT, J. L. Practicality of biochar additions to enhance soil and crop productivity. *Agriculture*, v.3, p.715–725, 2013.
- JEFFERY, L. S.; COLIINS, H. P.; BAILEY, V. L. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology & Biochemistry*, v.42, p.2345-2347, 2010.
- KIEHL, E. J. *Fertilizantes Orgânicos*, Piracicaba, SP: Ceres, 1985. 492 p.
- KUZYAKOV, Y.; BOGOMOLOVA, I.; GLASER, B. Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ¹⁴C analysis. *Soil Biology & Biochemistry*, v.70, p.229-236, 2014.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.11, p.403-427, 2006.
- LEMONS, M. S.; MAIA, E.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Uso da cama de frango como adubo na agricultura. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, v.3, n.1, p.57-68, 2014.
- PEREIRA, K. S.; SANTOS, C. H. B.; NASCIMENTO, W. A.; ARMOND, C.; SILVA, F.; CASA, J. Crescimento de rabanete (*Raphanus sativus* L.) em resposta a adubação orgânica e biofertilizantes em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v.29, S4414-S4420, 2011.
- RODRIGUES, J. F.; REIS, J. M. R.; REIS, M. A. Utilização de esterco em substituição a adubação mineral na cultura do rabanete. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, v.7, n.2, p.160-168, 2013.
- RODRIGUEZ, D. P.; TONIETTO, S. M.; PIESANTI, S. R.; HENRIQUEZ, J. M. O.; SCHUBERT, R.; MORSELLI, T.B.G.A. Produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) sob o residual do cultivo orgânico da alface. *Revista da 14ª Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa*, v.14, n.14, p.2329-2340, 2017.
- SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.175, n.3, p.410-422, 2012.
- SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. Review of biochar and its use and function in

soil. *Advances in Agronomy*, v.105, n.1, p.47-82, 2010.

SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, v.32, n.2, p.127-138, 2016.

SOUZA, M. D. B.; NASCIMENTO, A. D.; RAMOS, A. B. Produção orgânica de rabanete sob diferentes fontes de adubos orgânicos. *Cadernos de Agroecologia*, v.7, n.2, p.1-4, 2012.

TIAN, X.; LI, C.; ZHANG, M.; WAN, Y.; XIE, Z.; CHEN, B.; LI, W. Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PLoS ONE*, v.13, n.1, e0189924, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, Brasília, DF, 2017. 573p.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; SOUZA, F. G.; CAVALCANTE, A. R.; FERNANDES, J. D.; VASCONCELOS, A. C. F. Efeito do vermicomposto enriquecido com pó de rochas na química do solo e cultura de rabanete. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.14, n.4, p.506-511, 2019.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, v.327, n.1, p.235-246, 2010.

VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; MATOS, A. T. Produção de alface cultivada com diferentes compostos orgânicos e dejetos suínos. *Horticultura Brasileira*, v.15, n.1, p.35-39, 1997.

Capítulo 11

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS

Paulo Roberto Megna Francisco¹

Djail Santos²

George do Nascimento Ribeiro³

Layane Carmem Arruda da Rocha⁴

Nayanne Maria Gonçalves Leite⁵

¹Dr. em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. Prof. Tit. CCA/UFPB, Areia-PB, santosdj@cca.ufpb.br

³Dr. Prof. UAEB/CDSA/UFCG, Sumé-PB, george@ufcg.edu.br

⁴Mestranda, PPEAMB/UFRPE, Recife-PE, layrocha8@gmail.com

⁵Mestranda, ProfÁgua/UFCG, Sumé-PB, nayannegl@hotmail.com

Introdução

O desenvolvimento agrícola de uma região, principalmente em países tropicais, depende primordialmente de seus recursos naturais. As condições adversas do meio ambiente, associadas ao desenvolvimento de atividades econômicas ainda bastante rudimentares, e a extrema vulnerabilidade do sistema produtivo, se constituem em aspectos desfavoráveis à produção agrícola e ao manejo dos recursos naturais nas regiões semiáridas (FERNANDES, 1997). Sendo assim, é essencial o conhecimento, utilização e manejo adequado desses recursos, bem como de suas limitações.

A agricultura é uma atividade econômica dependente, em grande parte, do meio físico. Uma região apresenta várias sub-regiões com distintas condições de solo e clima e, portanto, com distintas aptidões para produzir diferentes bens agrícolas (GLERIANI, 2000). Em grande parte do Estado da Paraíba predomina o clima semiárido (PAN-BRASIL, 2005) onde a instabilidade do sistema solo-clima-vegetação é naturalmente mais acentuada que em outras regiões de clima mais ameno, onde a informação sobre a aptidão edáfica das culturas torna-se ainda mais valiosa (RAMALHO FILHO & PEREIRA, 1999).

A produção agrícola no semiárido da Paraíba é fortemente dependente da precipitação pluviométrica, e, por conseguinte, as suas variações provocam graves prejuízos na agricultura do Estado. A Paraíba tem, como características climáticas marcantes, as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, do seu regime de chuvas. Essas condições climáticas interferem diretamente na

produção de alimentos, fazendo com que haja a necessidade de se aumentar a produção e produtividade das culturas, mas para que haja esse aumento é indispensável que sejam aplicadas tecnologias já adaptadas para cada região, bem como, pesquisar novas tecnologias (MENEZES et al., 2010; GUEDES FILHO et al., 2010).

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. No Nordeste do Brasil, em especial na região semiárida, que frequentemente enfrenta os problemas da seca e estiagens prolongadas dentro do período chuvoso, estas condições se tornam ainda mais graves (NOBRE et al., 2004). A seca é hoje a que causa maior impacto, e as deficiências hídricas associadas aos períodos de longa estiagem constituem uma das principais causas das quebras de safras (MAPA, 2008). A produção agrícola no semiárido é fortemente dependente da precipitação pluviométrica, e, por conseguinte, as suas variações provocam graves prejuízos na agricultura (MENEZES et al., 2008).

De acordo com Amorim Neto et al. (1997), técnicas de identificações de áreas aptas com base em informações do solo e clima possibilitam a definição dos ambientes agroecologicamente favoráveis para exploração agrícola, contribuindo com a redução dos riscos de degradação do ambiente. O conhecimento da aptidão de terras é fator de grande importância para propiciar o uso adequado da oferta ambiental e, sobretudo, evitar possível sobre utilização dos recursos naturais (EMBRAPA, 2006).

De acordo com Zhao e Yang (2018) e Maluf et al. (1995), o zoneamento agrícola constitui um importante subsídio às atividades que dependem direta ou indiretamente do meio ambiente, pois possibilita o conhecimento de áreas com potencial agrícola para estabelecimento de culturas, minimizando riscos causados por adversidades. Para Monteiro (2009) e Assad (2009), o zoneamento determina a aptidão ou risco agrícola das regiões de um país, estado ou município, definindo desenvolvimento de melhores políticas agrícolas, financiamento, e maior produção. Permite definir em cada região, a aptidão para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas, agro edáficas dos cultivos e as informações micro e macroeconômicas. Francisco et al. (2011) e Francisco e Santos (2017a) utilizaram a metodologia para os municípios de Picuí e São João do Cariri, respectivamente e obtiveram bons resultados no mapeamento e na distribuição das áreas indicadas e não indicadas ao cultivo.

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias, do Sistema de Informações Geográficas, a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental, tem proporcionado excelentes resultados no processo de automação da

maioria dos trabalhos executados de forma convencional e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (CARVALHO et al., 2009; CÂMARA & MEDEIROS, 1996; FERNANDES et al., 1998). Neste contexto, o sistema de informação geográfica é uma tecnologia que abrange cada vez mais projetos ambientais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão (SÁ et al., 2010).

Este trabalho objetiva mapear a aptidão agrícola de risco climático para o município de Sousa-PB objetivando a exploração racional e como consequência, seu desenvolvimento sustentável, visando oferecer meios para o planejamento e conseqüentemente, seu crescimento econômico.

Material e Métodos

A área de estudo compreende o município de Sousa, Estado da Paraíba, onde apresenta uma área de 810,57 km² (IBGE, 2018). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°59' e 6°95' de latitude sul e entre os meridianos de 38°07' e 38°37' de longitude oeste. Está inserido na bacia do Rio do Peixe, Região Geográfica do Sertão, limitando-se com os municípios de Lastro, Santa Cruz, São Francisco, Aparecida, S. José de Lagoa, Nazarezinho, Marizópolis, São João do Rio do Peixe e Veirópolis, como se observa na Figura 1.

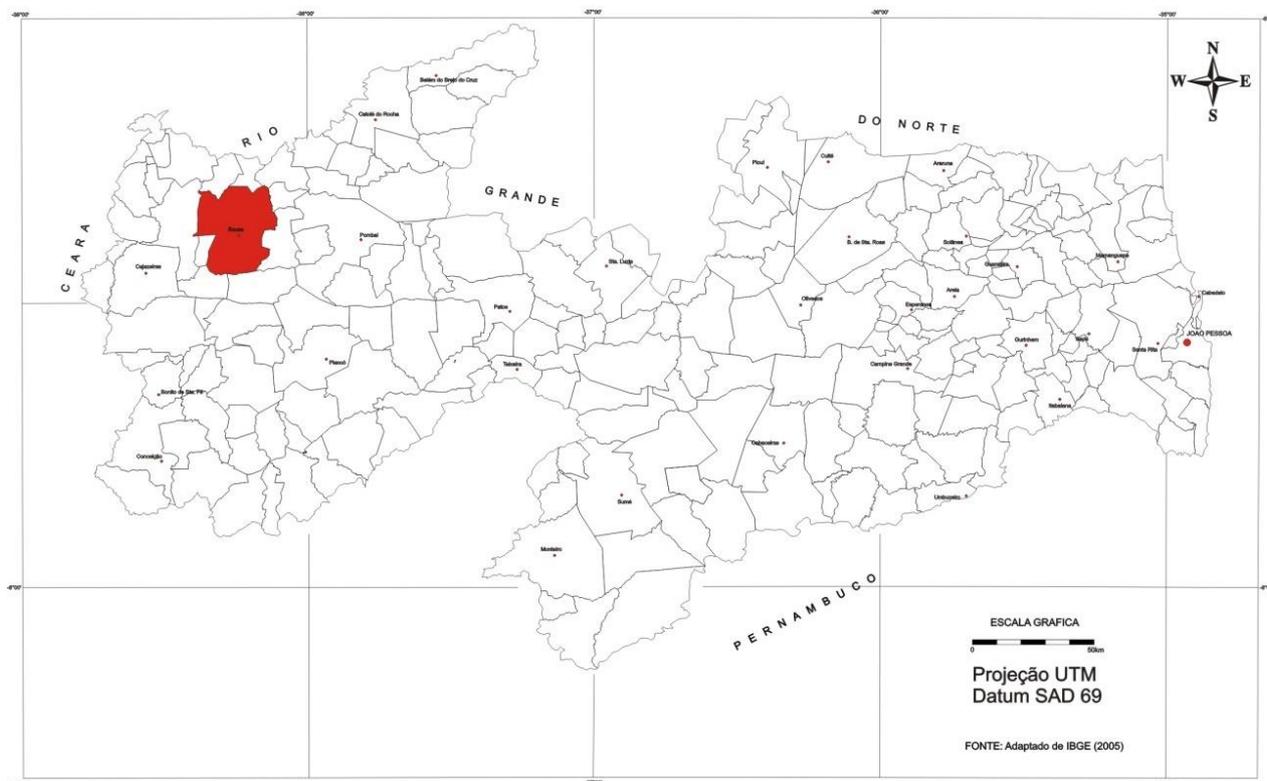


Figura 6. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009).

De acordo com a classificação de Köppen o clima é considerado do tipo Aw' – Tropical Quente e Úmido com chuvas de verão-outono, nas áreas mais altas da depressão e em todos os contrafortes e topo do Planalto de Princesa ao sul, divisa com Pernambuco, e na área a oeste, com o Estado do Ceará (FRANCISCO, 2010). De acordo com Francisco et al. (2016) esta região apresenta média diária anual acima de 8 horas

de insolação. Conforme Francisco et al. (2018) a temperatura oscila anualmente entre 23 a 27°C.

Na Tabela 1 pode-se observar os dados climatológicos mensais e anuais do município, os quais representam médias de, no mínimo, trinta anos de dados, e na Figura 2 o balanço hídrico normal mensal (FRANCISCO et al., 2018).

Tabela 1. Dados de precipitação média mensal e anual

Município/Posto	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Sousa	97,5	147,9	214,2	157,5	77,3	32,1	13,4	4,8	3,0	9,7	11,3	34,0	802,6

Fonte: Francisco et al. (2018).

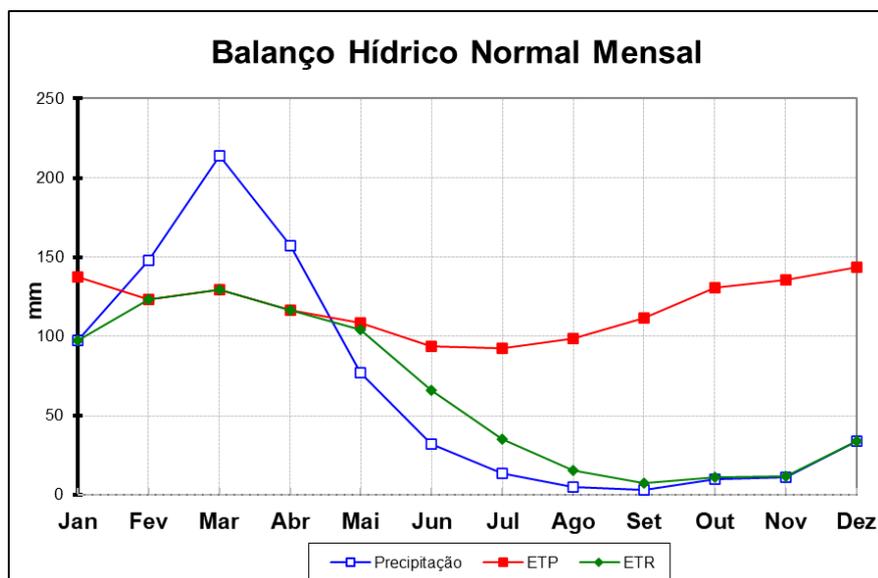


Figura 2. Balanço hídrico normal mensal da área de estudo. Fonte: Francisco et al. (2018).

De acordo com Francisco (2010) a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila. A área encontra-se inserido na unidade geomorfológica denominada Depressão Sertaneja de formas tabulares (PARAÍBA, 2006). A altitude da região é quase sempre é inferior a 350 m (FRANCISCO,

2010), ocorrendo a presença dos solos reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Neossolos Regolíticos Eutróficos léptico, Vertissolo Cromado Órtico solódico, Planossolo Nátrico Órtico típico, Argissolo Vermelho Eutrófico típico e do Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico (Figura 3).

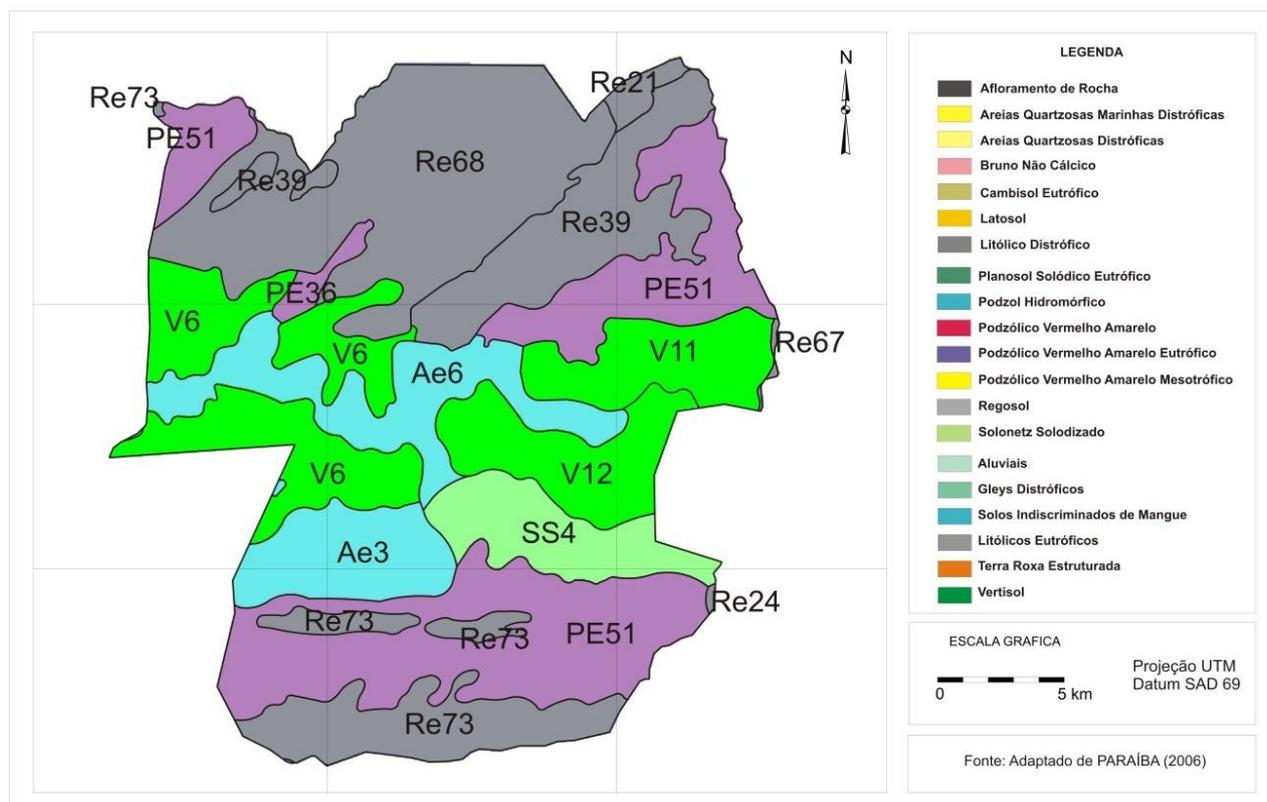


Figura 3. Solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o programa SPRING 5.4 na base de dados na projeção UTM/SAD69 de Francisco (2010) e atualizadas por Francisco et al. (2014), onde foram elaborados os mapas e calculados as suas respectivas áreas.

Através das informações contidas na metodologia fornecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e na metodologia de trabalho baseada na proposta de Francisco et al. (2011) onde através do Relatório do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), consta a descrição dos polígonos de solos e suas respectivas classes de capacidade de uso que contém as chaves de interpretações em relação aos solos, foi possível classificar e elaborar o mapa de Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a área em estudo.

Foram adotados os parâmetros exigidos pelo MAPA conforme as especificações e recomendações contidas na Instrução Normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008 sobre as características dos solos, considerados aptos ao plantio das culturas recomendadas, que são agrupados em três categorias quanto à sua capacidade de retenção de água assim descritos: do Tipo 1: com teor de argila maior

que 10% e menor ou igual a 15; do Tipo 2: com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia; do Tipo 3: com solos com teor de argila maior que 35%; e Área Proibida: sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matações ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno.

Para facilitar a interpretação das recomendações e orientações do MAPA, foram obtidas através das portarias disponíveis no site das culturas zoneadas para o município, foi adotado períodos de semeadura (Tabela 2), e, de forma simplificada foi elaborada uma tabela resumo.

As culturas zoneadas pelo MAPA (2019) e estudadas neste trabalho são a do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r *latifolium* Hutch), milho (*Zea Mays* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e do milho de 1.a safra consorciado com braquiária (*Brachiaria spp*).

Tabela 2. Períodos indicados para semeadura

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 28	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30
Meses	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril		
Períodos	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Maio			Junho			Julho			Agosto		
Períodos	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro		

Fonte: MAPA (2019).

Resultados e Discussão

Na Tabela 3 constam os períodos de semeadura das culturas para cada grupo, levando em consideração os tipos de solos encontrados na área de estudo.

O mapa de zoneamento de risco climático (Figura 4) e Tabela 4 apresentam a distribuição espacial na área de estudo.

Tabela 3. Período de semeadura da cultura do algodão herbáceo para cada grupo e tipo de solo

Cultura	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Algodão herbáceo	3 a 6	3 a 7	3 a 8	3 a 4	3 a 6	3 a 6	3 a 4	3 a 5	3 a 6
Amendoim	3 a 7	3 a 8	3 a 9	3 a 5	2 a 7	2 a 7	3 a 5	2 a 6	2 a 7
Milho	1 a 7	1 a 8	1 a 10	1 a 5	1 a 6	1 a 7	1 a 4	1 a 5	1 a 5
Milho 1.a safra consorciado com braquiária	4 a 6	4 a 8	4 a 9	4	3 a 6	3 a 6	*	3 a 4	3 a 5

Fonte: Adaptado de MAPA (2019). Obs. * Não recomendado.

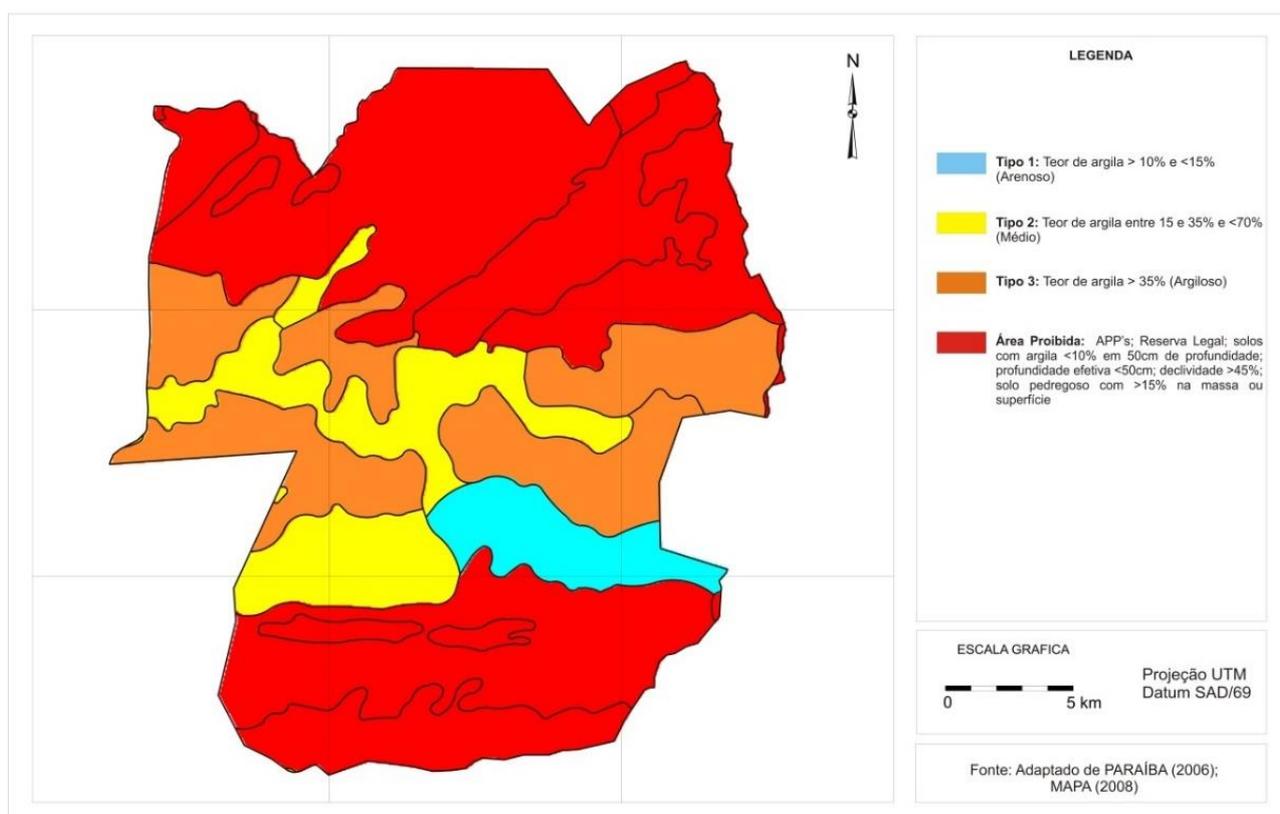


Figura 3. Zoneamento de risco climático da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); MAPA (2019).

Tabela 4. Distribuição das classes de risco climático

Classes de risco climático		km ²	%
Tipo 1	Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%	41,83	5,66
Tipo 2	Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia	112,45	15,23
Tipo 3	Com solos com teor de argila maior que 35%	173,93	23,55
Área Proibida	Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matacões ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno	410,33	55,56
Total		738,54	100,00

Identifica-se 41,83 km² de terras do tipo 1 representando 5,66% da área total (Tabela 4) localizada ao centro do município na região leste (Figura 3). É uma área composta pelo Planossolo Nátrico Órtico típico cujas principais limitações ao uso agrícola destes solos, são os elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais (CAVALCANTE et al., 2005).

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 1, atendidas as indicações e recomendações, as culturas do algodão herbáceo, milho, amendoim com exceção para a do milho de 1.a safra consorciado com braquiária referente ao grupo III para a área do município (Tabela 3).

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a maioria das culturas recomendadas inicia-se no 3.º decênio (janeiro) estendendo-se até o final do mês de março (9.º decênio) isto devido a maior pluviosidade conforme Francisco et al. (2018) (Tabela 1 e Figura 2).

Identifica-se áreas de terras do tipo 2 que perfazem um total de 112,45 km², representando 15,23% da área total (Tabela 4) distribuídas na região centro oeste do município (Figura 3). Áreas estas compostas pelo Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico, que conforme Cavalcante et al. (2005), são solos de grande importância, no que diz respeito à exploração agrícola e pecuária da região semiárida, porém apresentam limitações muito fortes pela falta d'água. Com auxílio da irrigação podem ser utilizados para o cultivo intensivo de forrageiras e diversas outras culturas. São áreas de cotas regionais mais baixas, onde se acumulam as águas provenientes das circunvizinhanças e os solos já possuem Na⁺ trocável. Estes fatores reunidos concorrem para

que estes solos sejam muito susceptíveis à salinização.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 2, todas as culturas estudadas atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para o município, para todos os 3 grupos.

Identifica-se áreas de terras do tipo 3 que perfazem um total de 173,93 km², representando 23,55% da área total (Tabela 4), distribuídas no terço médio central compostas pelo Vertissolo Cromado Órtico típico, que de acordo com Jacomine (2009) são solos com permeabilidade lenta ou muito lenta, para Francisco (2010) são solos descritos como imperfeitamente drenados em BRASIL (1972).

Para Cavalcante et al. (2005) estes são solos imperfeitamente drenados são normalmente pouco profundos e apresentam horizontes subsuperficiais com má condição física, associados a elevados teores de sódio trocável. De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Vertissolos são solos muito susceptíveis à salinização. São facilmente erodíveis e em alguns locais são muito rasos e não se prestam para irrigação. Apesar da fertilidade ser alta, de um modo geral, estes solos possuem baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A principal limitação ao uso agrícola dos mesmos é a falta d'água, que é muito forte, em face do clima ter um longo período seco, com forte evaporação.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 3, todas as culturas estudadas. Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a maioria das culturas recomendadas, a indicação apresenta uma janela de aproveitamento maior para a cultura do milho iniciando-se no 1.º decênio (janeiro) e

estendendo-se até o início do mês de abril (10.º decênio) representando uma menor ocorrência do risco de perdas.

As áreas identificadas como Proibidas perfazem um total de 410,33 km², representando 55,56% da área situadas no terço superior e inferior do município em estudo localizados em região com maior declividade. São áreas compostas pelos Neossolos Regolíticos Eutróficos léptico, que conforme Cavalcante et al. (2005), estes solos quase não são cultivados. A própria vegetação natural é aproveitada para pecuária extensiva em condições precárias. Estes solos possuem fortes limitações ao uso agrícola, principalmente por deficiência de água e impedimentos ao uso de implementos, provocados pela pedregosidade, rochividade e pequena profundidade dos solos.

Área estas constituídas também pelo Argissolo Vermelho Eutrófico típico que conforme Cavalcante et al. (2005), São solos que apesar de apresentarem fertilidade alta, possuem fortes limitações pela falta d'água, pelos impedimentos à mecanização da lavoura e erosão, em decorrência do relevo. Sugere-se o aproveitamento destes solos com pastagens, reflorestamento e culturas perenes, adaptadas a uma longa estação seca.

De acordo com Oliveira (1992) o Argissolo Vermelho Eutrófico típico são solos minerais hidromórficos ou com séria restrição à percolação de água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentarem expressiva plintilização. A grande concentração de plintita na superfície limita o uso de implementos agrícolas. Se for distrófico ou álico haverá restrição ao enraizamento em profundidade. O teor de fósforo é baixo em condições naturais. Do ponto de vista agrônomo, portanto, podem ser desde solos com alto potencial nutricional até muito baixo, inclusive com problemas de toxicidade por alumínio, como nos álicos. Quando a petroplintita se encontra pouco profunda e formando uma camada contínua e espessa, as limitações para a utilização agrícola do solo tornam-se mais sérias, pois a permeabilidade, a restrição ao enraizamento das plantas e o entrave ao uso de equipamentos agrícolas podem se tornar críticos.

Francisco et al. (2011) afirmam que se relaciona a esta inaptidão, principalmente, com as condições climáticas e/ou condições edáficas

exigidas por estas culturas, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

EMBRAPA (2009) afirma que o alto risco da agricultura de sequeiro e obtenção de baixas produtividades das culturas exploradas, ocorrendo deficiência hídrica no estágio crítico da cultura, em função dos menores valores de armazenamento de água no solo. Conforme o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2013), verifica que na prática, ocorrem em algumas áreas de plantio temporário de pequenas lavouras, onde o agricultor corre o risco de perder as culturas relacionadas devido à irregularidade das precipitações no período de condução das lavouras.

O MAPA (2019a) afirma que o algodão (*Gossypium hirsutum L. r latifolium Hutch*) necessita para seu crescimento, desenvolvimento e boa produtividade, de condições adequadas de temperatura, umidade do solo e luminosidade. Temperaturas entre 18 e 30°C, com mínimas superiores a 14°C e máximas inferiores a 35°C proporcionam boas condições para a germinação. Dependendo do clima e da duração do ciclo, o algodoeiro necessita de 700 a 1.300mm de precipitação pluvial para seu bom desenvolvimento.

Estudando a aptidão edáfica dos solos do Estado da Paraíba para o algodão herbáceo, Francisco et al. (2017b) identificando áreas aptas na região do alto sertão, onde este estudo é contemplado, observaram que as condições climáticas indicam não haver limitações para a cultura; no entanto, as características edáficas informam que estas terras constituem áreas com classes e/ou associações de classes de capacidade de uso que são próprias para a cultura, com limitações ligeiras de utilização, agrupadas com áreas apropriadas para pastagens, ou com restrições moderadas de utilização associadas com classes apropriadas para pastagens. Resultados estes reafirmando o encontrado por Paraíba (1978).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento afirma que o milho (*Zea mays L*) é um dos cereais mais cultivados do mundo. A sua importância se dá devido a sua grande adaptação às diferentes condições ambientais, onde vários fatores contribuem para a produtividade do milho, sendo os mais importantes a disponibilidade de água. Para a obtenção de boas produtividades a cultura requer temperaturas entre 24 e 30°C, radiação solar elevada e necessita de um mínimo de 400 a 600mm de precipitação pluvial durante o ciclo

(MAPA, 2019b). De acordo com o IBGE (2018) a quantidade produzida em 2017 foi de 789 toneladas numa área plantada de 986 ha com rendimento médio de 800 kg/ha.

Francisco (2010) afirma que na bacia do Rio do Peixe, com ocorrência no nível médio de altitude o Planossolo Nátrico e Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico textura argilosa cascalhenta e raso textura média cascalhenta, e o Vertissolo Háptico relevo plano na bacia sedimentar do Rio do Peixe, afluente do rio Piranhas, que corta a cidade de Sousa. Em todo o Alto Sertão, pela mais alta precipitação (>650 mm.ano⁻¹), fertilidade dos solos e predominância de relevo suave ondulado são áreas de cultivo do milho, feijão e algodão associadas à criação de gado, sendo frequente nas várzeas, o cultivo do arroz.

No caso do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) adapta-se a uma larga faixa de climas, desde os equatoriais até os temperados. A cultura desenvolve-se melhor, com produtividade mais elevada, em climas quentes. Temperaturas de 30°C, ou ligeiramente superiores, são as mais benéficas para a germinação, desenvolvimento inicial das plantas e, também, na formação do óleo. Em cultivo de sequeiro, o amendoim necessita de precipitação pluvial acima de 500mm, bem distribuída ao longo do período total de crescimento, e de umidade suficiente nos dois primeiros meses do período vegetativo, sem deficiência hídrica no solo (MAPA, 2019c).

O consórcio do milho com a braquiária é possível graças ao diferencial de tempo e espaço no acúmulo de biomassa entre as espécies. A associação entre o sistema plantio direto e o consórcio entre culturas anuais e pastagens é uma das opções que apresenta maiores benefícios, como maior reciclagem de nutrientes, acúmulo de palha na superfície, melhoria da parte física do solo, pela ação conjunta dos sistemas radiculares e pela incorporação e acúmulo de matéria orgânica, além de ser mais sustentável em relação ao cultivo convencional (MAPA, 2019d).

De acordo com o IBGE (2018) observa-se que o município de Sousa apresenta a produção de arroz, cana de açúcar, feijão e milho, de 98 t, 400 t, 302 t e 789 t, respectivamente. Portanto não tendo historicamente dados de produção de amendoim, mesmo o clima sendo apto a tal, conforme a EMBRAPA (2018).

Conclusão

Neste trabalho não se levou em conta as áreas de preservação permanente, de acordo com a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 devido estar diretamente relacionada ao nível imposto pela escala do levantamento de solo, base deste trabalho.

A metodologia utilizada mostrou-se adequada para o mapeamento das áreas de risco a produção agrícola em região semiárida.

Identificou-se 328,21 km² de terras do tipo 1, do tipo 2, e do tipo 3 representando 44,44%; áreas proibidas em 410,33 km² (55,56%).

As maiores limitações observadas são devidas aos solos predominantes na área em relação a profundidade efetiva, pedregosidade, rochiosidade e declividade.

Referências

- AMORIM NETO, M. DA S.; BELTRÃO, N. E. DE M.; MEDEIROS, J. DA C. Indicadores edafoclimáticos para o zoneamento do algodoeiro arbóreo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, 1997, Piracicaba. Anais...Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.369-371.
- Análise comparativa de modelos que estimam a evapotranspiração de referência (ET₀) nas condições climáticas de Areia-PB. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 39, 2010, Vitória. Anais...Vitória, 2010.
- ASSAD, E. D. Metodologias para zoneamento de riscos climáticos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999, Florianópolis. Anais...Florianópolis: SBA, 1999. p.79-85.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil. Brasília-DF, 2005, 213p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE. São José dos Campos, 1996. 39p.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6 n.1, p.45-50, 2006.
- CARVALHO, C. C. N.; ROCHA, W. F.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.1, p.46-55, 2009.
- CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a

utilização dos principais solos no estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.4, n.8, p.1-10, 2005.

DEMATTE, J. A. Planejamento do uso da terra - Ciência do Solo IV. USP - Piracicaba. Outubro, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERNANDES, E. N.; FERNANDEZ FILHO, E. I.; SILVA E. Integração de sistemas de informações geográficas e sistemas especialistas para avaliação de aptidão das terras em bacias hidrográficas. *Revista Árvore*, v.23, n.1, p.75-82, 1999.

FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. DA. O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.2, p.195-198, 1998.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D. Balanço hídrico climatológico para a capacidade de campo de 100 mm - Estado da Paraíba. Campina Grande, PB. EDUFCCG: 2018. 257p.

FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia*, v.33, n.1, p.248-262, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; MEDEIROS, R. M. de; SÁ, T. F. de. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, p.1043-1055, 2011.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Aptidão edáfica da cultura do algodão arbóreo no Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.12, p.30-36, 2017b.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Zoneamento agrícola de risco climático do município de São João do Cariri-PB. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.1, p.21-28, 2017a.

GLERIANI, J. M. Concordância da aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo elaborada nos anos setenta com os dados do Censo Agropecuário do IBGE ano 95/96. INPE. São José dos Campos. 2000.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de março de 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola - Lavoura Temporária*. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sousa/pesquisa/14/10212>. Acesso em: 17 de maio de 2020.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação Brasileira de solos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, v.5 e 6, p.161-179, 2008-2009.

MALUF, J. R.; MATZENAUER, R.; CAIAFFO, M. Zoneamento agroclimático da cultura do milho por épocas de semeadura no estado do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Ciência e Tecnologia. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. 1995.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 129, de 13 de agosto de 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do algodão herbáceo. 2019a.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria 312, de 5 de novembro de 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho. 2019b.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 162, de 22 de agosto de 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de amendoim. 2019c.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 355, de 17 de dezembro de 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho consorciado com braquiária. 2019d.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Instrução Normativa Nº 2, de 9 de outubro de 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Portarias segmentadas. 2019. Disponível em:

<http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 9 de maio de 2020.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. DE; LIMA, R. A. F. DE A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.181-186, 2010.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. DE; SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, L. L. DA. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, n.2, p.152-161, 2008.

MONTEIRO, J. E. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530p.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intra-sazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998 – 2000. *Revista Climanálise*, v.2, n.1, p.01-10, 2004.

OLIVEIRA, J. B. Pedologia aplicada. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574p.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eleto Consult Ltda. 1978. 448p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.a ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

SÁ, T. F. F. DE; COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; BRAGA JÚNIOR, J. M. Sistema de informações geográficas (SIG) para a gestão ambiental de bacias hidrográficas. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. Anais...Recife, 2010.

ZHAO, J.; YANG, X. Distribution of high-yield and high-yield-stability zones for maize yield potential in the main growing regions in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.248, p.511-517, 2018.

Curriculum dos Organizadores

Paulo Roberto Megna Francisco: Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Agrícola pela UFCG. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

Djail Santos: Engenheiro Agrônomo (UENP-Campus Luiz Meneghel, 1990), Mestre em Solos e Nutrição de Plantas (UFLA, 1993) e Doutor em Crop and Soil Sciences ((Michigan State University, MSU, 1998). Professor Titular do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), atuando na área de Manejo e Conservação de Solo e Água. Atualmente, é vice-Coordenador do PPG em Ciência do Solo. Atuou como Assessor de Pesquisa, vice-Coordenador do PPG em Manejo de Solo e Água, Coordenador do Curso de Agronomia e Diretor do CCA/UFPB. Membro do corpo docente do PPG em Ciência do Solo e do PPG em Agronomia, ministrando as disciplinas de Manejo e Conservação do Solo e Sistemas de Produção Orgânicos e Convencionais. Atuou como membro do Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável (CEDRS-PB) e do Conselho Técnico Administrativo da EMATER-PB. Tem experiência na execução e coordenação de diversos programas e projetos vinculados a SECAD/MEC (Conexões de Saberes), SESu/MEC (PROEXT), INCRA/MDA (PRONERA), PNPd/CAPES com atuação em comunidades rurais e urbanas. Tem atuação em ensino, pesquisa e extensão com ênfase em manejo e conservação de solo e água, qualidade do solo, aptidão agrícola das terras, sistemas de produção, agricultura orgânica.

Lúcia Helena Garófalo Chaves: Possui graduação em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1977), mestrado em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1983) e doutorado em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1985). Atualmente é professora titular da Universidade Federal de Campina Grande com Pós-Doutorado na Universidade do Arizona, USA (2004). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Química do Solo, atuando principalmente nos seguintes temas: fertilidade, salinidade, propriedades químicas e uso de rejeitos.



® Portal Tecnológico
de Divulgação Científica
Eventos, Pesquisas e Inovação



 **CNPq**
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico


CAPES

