

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

RODRIGO SOUZA D'ÁVILA

APLICAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NA ANÁLISE DA DINÂMICA DE
CÁTIONS TROCÁVEIS EM UM SISTEMA SOLO-PLANTA IRRIGADO COM ÁGUA
RESIDUÁRIA

PONTA GROSSA

2013

RODRIGO SOUZA D'ÁVILA

APLICAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NA ANÁLISE DA DINÂMICA DE
CÁTIONS TROCÁVEIS EM UM SISTEMA SOLO-PLANTA IRRIGADO COM ÁGUA
RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada na Universidade Estadual de Ponta Grossa - Área de Concentração: Computação para Tecnologias em Agricultura.

Orientação: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

PONTA GROSSA

2013

A minha mãe que, sempre foi exemplo e
incentivo em minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares que sempre apoiaram e incentivaram minhas caminhadas: Cláudia (mãe), Alessandra (irmã) e a pequena Maria Eloise (sobrinha).

Aos amigos: Sérgio Delfino, pelos momentos de alegria e um dos principais incentivadores para seguir na carreira acadêmica. Em especial ao “amigo-irmão” Wellington Dias, que foi fundamental e importante para que essa empreitada fosse realizada com sucesso, muito obrigado meu “irmão”.

Ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pela excelente orientação e por mostrar que o caminho do pesquisador é árduo, mas é louvável.

Aos amigos de Mestrado: Joaquim, Cristian, Alisson, Thalita, Karine, Regiane, Marinaldo e Marcos que mostraram o verdadeiro valor de uma amizade.

Aos amigos do Laboratório de Nutrição de Plantas: Fabrício, Jéssica, Flavia, Luana, Augusto, Eduardo, Silvano, Simone, Gabriel, Elton e Verônica pelo auxílio nos trabalhos.

À família Zapparoli, em especial para Silvana e Leozilda pela ajuda, incentivo e reconhecimento do esforço empreendido.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, pela oportunidade de cursar o Mestrado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, pelo aprendizado e convivência científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), pelo apoio financeiro e fornecimento dos dados meteorológicos desta pesquisa.

RESUMO

A concorrência de água entre o setor agrícola e as necessidades humanas em diversas regiões do mundo tem ocasionado restrições no incremento da produção de alimentos, implicando em buscas por fontes alternativas. A utilização de efluente de tratamento secundário de esgoto (ETSE) tem sido uma prática comum em várias situações sazonais. Objetivou-se neste trabalho: (i) criar modelos de regressão para auxiliar no entendimento da dinâmica da acidez (troável e total), bases troáveis e percentual de sódio troável (PST) no solo, através do uso de regressão linear múltipla (RLM), considerando variáveis de solo, solução no solo, planta, ETSE, meteorológicas e variáveis complementares; e (ii) comparar os modelos gerados com método padrão e os modelos gerados com seleção de variáveis. Para construção dos modelos de RLM foram utilizados o método de seleção de variáveis stepwise, forward e backward e comparados com o método padrão, através dos índices de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e do fator de inflação de variância (FIV). Os modelos desenvolvidos a partir do método de seleção de variáveis foram os mais indicados. Todos os atributos nos cenários e camadas de solos estudados não foram explicadas por um mesmo grupo de variáveis. De modo geral, os resultados foram coerentes, pois na medida em que o pH aumentou, as concentrações H^+ e Al diminuíram e as de Ca e Mg foram incrementadas. O baixo teor de K no solo, evidenciou que o aporte desse nutriente pela irrigação com ETSE pouco influenciou as concentrações desse elemento. Devido à alta razão de adsorção de sódio (RAS) no ETSE as concentrações deste elemento, bem como PST foram aumentadas ao longo do tempo no solo. O acúmulo e a exportação de Na pelas plantas não foi suficiente para evitar o incremento nas concentrações de Na troável e PST em todos os cenários e camadas estudados.

Palavras-chave: modelo de regressão, estatística multivariada, efluente de tratamento de esgoto, reação no solo, solo tropical.

ABSTRACT

The competition of water in different regions of the world, between agriculture and the human needs, has led to restrictions in the increase of food production, resulting in search for alternative sources. The use of effluent from secondary treatment of sewage (ETSE) has been a common practice in several seasonal situations. The aims of this work were: (i) create regression models to assist in the understanding of the dynamics of acidity (current, exchangeable and total), the exchangeable bases and the exchangeable sodium percentage (ESP) in the soil, through the use of multiple linear regression (RLM), considering variables of soil, soil solution, plant, ETSE, weather and complementary variables, and (ii) compare the generated models with the standard method and the models generated from selecting variables. For the construction of the MLR models, the method of stepwise variable selection, forward and backward were used and compared with the standard method through the index adjusted determination coefficient (R^2_{adj}) and the variance inflation factor (VIF). The models developed from the method of variables selection were the most indicated. All the attributes in the scenarios and layers of the studied soils were not explained by the same group of variables. In general the results were consistent as far as the pH increased, the H + Al (total acidity) and Al (potential acidity) concentration decreased and Ca (calcium), Mg (magnesium) were increased. Because of the low-K (potassium) in the soil, the contribution of this nutrient by irrigation with ETSE cause little influence in the concentrations of this element. Due to the high sodium absorption ratio (SAR) in the effluent concentrations of this element, as well as PST were increased over time in soil. The accumulation and export of Na (sodium) by plants was not sufficient to prevent the increase in the concentrations of exchangeable Na and ESP in all studied scenarios and layers.

Keywords: model regression, multivariate statistic, treated sewage effluent, soil reaction, tropical soil.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Variáveis de solo {acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), potássio trocável (K), sódio trocável (Na), percentual de Na trocável (PST), potencial de hidrogênio iônico (pH) em cloreto de cálcio [pH(CaCl₂)] e pH em água [pH(H₂O)]} e pH da solução no solo medidas em diferentes camadas e tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla. 12
- Tabela 2 – Variáveis de planta [acúmulos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) na parte aérea], efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) [alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻), alumínio (Al), Ca, Mg, K e Na], meteorológicas [temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e precipitação] e complementares (cenário, bloco, tempo de experimentação em campo, irrigação com água convencional e irrigação com ETSE) medidas em diferentes tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla. 13
- Tabela 3 – Valores de coeficiente de determinação ajustado (R²adj), dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise* (a), *forward* (b) e *backward* (c), para os atributos acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM). 16
- Tabela 4 – Valores de coeficiente de determinação ajustado (R²adj), dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise* (a), *forward* (b) e *backward* (c), para os atributos potássio trocável (K), sódio trocável (Na) e percentual de Na trocável (PST), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM). 18
- Tabela 5 – Coeficiente de determinação ajustado (R²-adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM). 20
- Tabela 6 – Coeficiente de determinação ajustado (R²-adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg), em

diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	21
Tabela 7 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos potássio trocável (K), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM)..	22
Tabela 8 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos de percentual de Na trocável (PST), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	23
Tabela 9 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para acidez total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	26
Tabela 10 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para alumínio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	29
Tabela 11 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para cálcio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	32
Tabela 12 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para magnésio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	35
Tabela 13 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para potássio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à	

irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).....	38
Tabela 14 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para sódio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).....	41
Tabela 15 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para percentual de sódio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MATERIAL E MÉTODOS	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1	ESCOLHA DO MÉTODO PARA MODELAGEM.....	15
3.2	MODELAGEM DA ACIDEZ TOTAL E TROCÁVEL NO SOLO	24
3.3	MODELAGEM DAS BASES TROCÁVEIS	30
4	CONCLUSÕES.....	45
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola tem demandado 70% da água de superfície disponível, por causa do constante incremento na produção de alimentos (ONU, 2012). Essa demanda tem ocasionado restrição, em diversas regiões do mundo, à disponibilidade de água para as necessidades humanas (RAZZOLINI e GUNTHER, 2008).

Uma das alternativas para minimizar a concorrência da água de qualidade entre os fins consumo humano e agrícola tem sido o reúso de água. Dentre as formas de reúso, a irrigação das plantas com efluente de tratamento de esgoto (ETE) tem sido prática comum em diversos países e, mais recentemente, no Brasil (DA FONSECA et al., 2007b; LEAL et al., 2011; RIBEIRO et al., 2012).

O ETE enquadra-se como fonte alternativa de água e nutrientes às plantas (DA FONSECA et al., 2007b; LEAL et al., 2011; RIBEIRO et al., 2012), pode fornecer diminuição dos riscos de poluição pela liberação direta no ambiente (RIBAS e NETO, 2008), e possibilita que recursos hídricos de melhor qualidade sejam utilizados para fins mais nobres, como exemplo, abastecimento humano (WEBER et al., 2010).

A aplicação de ETE no sistema solo-planta pode alterar os atributos químicos (BOND, 1998), físicos (BALKS et al., 1998) e biológicos do solo (FRIEDEL et al., 2000), além de influenciar o rendimento (GRATTAN et al., 2004) e a qualidade/nutrição das plantas (DA FONSECA et al., 2007b). Uma das culturas que tem respondido positivamente à aplicação de ETE tem sido a pastagem de capim-Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis Vanderyst*) (DA FONSECA et al., 2007a). Entretanto, os efeitos da aplicação de ETE ainda não são bem compreendidos nos atributos do solo. Em solos tropicais a aplicação de efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) tem resultado em um decréscimo da acidez total e potencial, as concentrações de Na e PST no solo sofreram alterações significativas devido à irrigação com efluente fazendo com que os teores de Ca, Mg e K amenizem o efeito nocivo do Na no sistema solo-planta (DA FONSECA et al., 2005b). Outro ponto a se discutir é que a irrigação com ETSE, isoladamente, não é aconselhável, pois as concentrações dos macronutrientes e micronutrientes estão em proporção desequilibrada nesta água residual para nutrição das plantas (PEREIRA et al., 2011). Portanto, associações entre irrigação com ETE e doses de fertilizantes tem sido o mais adequado para maximizar o sistema solo-planta empregado no reúso agrícola de água (DA FONSECA et al., 2007b).

Todavia, as alterações no sistema solo-planta submetidas à irrigação com ETSE são complexas, implicando na necessidade de estudos que expliquem melhor a dinâmica destes elementos, principalmente porque o clima (sazonalidade) tem sido um dos fatores que governam

a quantidade de irrigação. Pesquisas de FANG et al., (1998) e KNOPS e TILMAN, (2000) utilizando regressão múltipla (RM) tem conseguido explicar as variações sazonais. Estudos utilizando RM têm sido aplicados em estudos relacionados à (i) compreensão das funções fisiológicas de árvores (no Uruguai) (LEITES et al., 2012) (ii) compreensão do carbono orgânico do solo em camadas profundas do solo (SHI, et al., 2012); (iii) estudo sobre o impacto dos metais pesados existentes no lixo urbano orgânico em solos (POULSEN, et al., 2012). Apesar de relevante, o uso de regressão múltipla não tem sido estudado em solo tropical sob pastagem submetida à irrigação com ETSE.

Todos os tipos de regressão buscam encontrar uma equação (conhecida como equação de regressão ou modelo de regressão) preditiva de valores de uma ou mais variáveis de resposta através de um conjunto de variáveis explicativas (HAIR, et al., 2009). A equação de regressão linear múltipla (RLM) utilizada no presente estudo é representada por:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

onde: Y é a variável resposta, X₁, X₂, ..., e X_k são as k variáveis conhecidas, sobre as quais se basearão as previsões e b₀, b₁, b₂, ..., e b_k são constantes numéricas a serem determinadas com bases nos dados observados (FREUND, 2006).

Entre os métodos para o desenvolvimento de modelos de regressão destacam-se o método padrão (LACERDA e ABBAD, 2003) e os métodos de seleção de variáveis: (i) *forward* – método que inicia o modelo sem qualquer variável e então acrescenta variáveis baseando-se em sua contribuição na previsão; (ii) *stepwise* – seleciona o melhor preditor da variável dependente, variáveis independentes são acrescentadas desde que seus coeficientes de correlação parcial sejam estatisticamente significativas, e podem ser eliminadas se seu poder de predição cair como a acréscimo de outra variável ao modelo; (iii) *backward* – inicia o modelo com todas variáveis independentes e então elimina as que não oferecem um contribuição estatística para a previsão (HAIR, et al., 2009).

No presente estudo, buscou-se modelar cenários incluindo sistemas solo-pastagem submetidos à irrigação (com água convencional ou ETSE) e doses (0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹) de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM), mediante ao uso de RLM. Objetivou-se neste trabalho: (i) criar modelos de regressão para auxiliar no entendimento da dinâmica da acidez (atual, trocável e total), bases trocáveis e percentual de sódio trocável (PST) no solo, através do uso de RLM, considerando variáveis de solo, solução no solo, planta, ETSE, meteorológicas e variáveis complementares; e (ii) comparar os modelos gerados com método padrão e os modelos gerados com seleção de variáveis, visando evitar super ajuste dos modelos (*overffiting*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nos dados de Da Fonseca (2005a) e Da Fonseca et al. (2007a; 2011), em delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições, envolvendo estudo de fontes de água para irrigação e doses de NFM (nitrogênio via fertilizante mineral), realizado na comarca de Lins, Estado de São Paulo (longitude: 49°50'W; latitude: 22°21'S; altitude média: 440 m; declividade média de 0,1 m m⁻¹). O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho distrófico Latossólico, de textura média-argilosa, cultivado com capim-Tifton 85.

Foram considerados cinco cenários de pastagem irrigada com água convencional ou ETSE, empregando doses de NFM: C1 – irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2 – irrigação com ETSE, sem adição de NFM; C3 – irrigação com ETSE e adição de 171,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C4 – irrigação com ETSE e adição de 343,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C5 – irrigação com ETSE e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM. Informações adicionais como qualidade da água ou ETSE, irrigação e manejo de culturas estão descritos em Da Fonseca et al. (2007a).

O conjunto de dados utilizado possuía 480 registros para cada atributo apresentado nas Tabelas 1 e 2, em um total de 3360 instâncias. Os modelos foram desenvolvidos para cada camada (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) do solo, em cada cenário (C1–C5) estudado.

Tabela 1 – Variáveis de solo {acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), potássio trocável (K), sódio trocável (Na), percentual de Na trocável (PST), potencial de hidrogênio iônico (pH) em cloreto de cálcio [pH(CaCl₂)] e pH em água [pH(H₂O)] e pH da solução no solo medidas em diferentes camadas e tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.

Atributo	Unidade	Representação no modelo	Intervalo de valores
<i>Solo</i>			
H+Al	mmol _c kg ⁻¹	AT	0,40 – 8,00
Al	mmol _c kg ⁻¹	Al	<LD – 12,00
Ca	mmol _c kg ⁻¹	Ca	2,25 – 20,80
Mg	mmol _c kg ⁻¹	Mg	1,36 – 9,96
K	mmol _c kg ⁻¹	K	0,17 – 5,47
Na	mmol _c kg ⁻¹	Na	0,10 – 12,80
PST	%	PST	0,29 – 30,36
pH(CaCl ₂)	-	pH ₁	3,79 – 5,81
pH(H ₂ O)	-	pH ₂	4,40 – 6,95
<i>Solução no solo</i>			
pH	-	pH ₃	3,89 – 7,98

As camadas estudadas foram de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem às avaliações realizadas aos 6, 12, 18 e 24 meses, respectivamente, após o início do experimento. pH(CaCl₂): pH do extrato solo:solução (1:2,5) em solução de cloreto de cálcio, 0,1mmol L⁻¹. pH(H₂O): pH do extrato solo:solução (1:2,5) em água. LD: Limite de detecção (0,1mmol_c kg⁻¹).

Para modelagem dos atributos da acidez total (H+Al) e percentual de sódio trocável (PST) foram utilizadas como variáveis independentes cenário (C), bloco (B), tempo de experimentação em campo (t), temperatura mínima do ar (T_{\min}), temperatura máxima do ar (T_{\max}), precipitação (P_p), doses aplicadas de NFM (dNFM), irrigação com água convencional (iH₂O), irrigação com ETSE (iETSE), potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato do solo:solução em solução de cloreto de cálcio (pH₁), pH do extrato solução:solo em água (pH₂), pH da solução no solo (pH₃) e alcalinidade como bicarbonato (HCO_3^-) (ALK_{ETSE}). Para os elementos alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na), as variáveis utilizadas para modelagem foram: C, B, t, T_{\min} , T_{\max} , P_p , dNFM, iH₂O, iETSE, pH₁, pH₂, pH₃, ALK_{ETSE} , Al presente no ETSE (Al_{ETSE}), Ca presente no ETSE (Ca_{ETSE}), Ca extraído pela planta (Ca_{pl}), Mg presente no ETSE (Mg_{ETSE}), Mg extraído pela planta (Mg_{pl}), K presente no ETSE (K_{ETSE}), K extraído pela planta (K_{pl}), Na presente no ETSE (Na_{ETSE}) e Na extraído pela planta (Na_{pl}) respectivamente.

Tabela 2 – Variáveis de planta [acúmulos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) na parte aérea], efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) [alcalinidade como bicarbonato (HCO_3^-), alumínio (Al), Ca, Mg, K e Na], meteorológicas [temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e precipitação] e complementares (cenário, bloco, tempo de experimentação em campo, irrigação com água convencional e irrigação com ETSE) medidas em diferentes tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.

Atributo	Unidade	Representação no modelo	Intervalo de valores
<i>Planta</i>			
Ca	kg ha ⁻¹	Ca_{pl}	29,20 – 132,15
Mg	kg ha ⁻¹	Mg_{pl}	12,52 – 69,53
K	kg ha ⁻¹	K_{pl}	128,72 – 460,06
Na	kg ha ⁻¹	Na_{pl}	8,42 – 83,38
<i>ETSE</i>			
HCO_3^-	mg L ⁻¹	ALK_{ETSE}	39,48 – 170,86
Al	mg L ⁻¹	Al_{ETSE}	0,01 – 0,03
Ca	mg L ⁻¹	Ca_{ETSE}	0,16 – 7,20
Mg	mg L ⁻¹	Mg_{ETSE}	0,03 – 1,70
K	mg L ⁻¹	K_{ETSE}	0,18 – 14,83
Na	mg L ⁻¹	Na_{ETSE}	23,64 – 130,11
<i>Meteorológico</i>			
Temperatura mínima	°C	T_{\min}	16,4 – 18,30
Temperatura máxima	°C	T_{\max}	27,43 – 28,71
Precipitação	mm	P_p	422,4 – 788,3
<i>Complementar</i>			
Cenário	-	C	
Bloco	-	B	
Tempo de experimentação em campo	semestre	t	
Dose de nitrogênio via fertilizante mineral	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	dNFM	0,00 – 520,00
Irrigação com água convencional	-	iH ₂ O	
Irrigação com ETSE	-	iETSE	

Para os atributos de planta, os atributos de ETSE e os atributos meteorológicos, os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem aos acúmulos de nutrientes, ao aporte e as médias, respectivamente durante o 1º, 2º, 3º e 4º semestre, respectivamente. Os atributos complementares foram considerados como classificatórios. Nesse caso, iH₂O e iETSE foram instanciados por valores 0 (ausência) ou 1 (presença), conforme cada cenário.

Os dados foram analisados pela RLM empregando o método de regressão padrão e os métodos de seleção de variáveis *stepwise*, *forward* e *backward* para a geração dos modelos. Entretanto, para evitar embate na estimativa dos modelos tornou-se necessário selecionar os modelos desenvolvidos com os métodos de seleção de variáveis e compará-los aos modelos gerados com o método de regressão padrão.

A peculiaridade dos modelos foi provada pelos índices de coeficientes de determinação (R^2) e pelo grau de liberdade de resíduos (GLR) (ABBAD E TORRES, 2002). Esses fatores foram analisados através do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) – parâmetro indicado na escolha de modelos (MYNBAEV e LEMOS, 2004). Após análise dos valores de R^2_{adj} foi realizada a escolha dos modelos desenvolvidos com os métodos de seleção de variáveis. A comparação entre os modelos gerados com o método padrão e os com seleção de variáveis foi realizada pela análise dos parâmetros R^2_{adj} e da multicolinearidade entre as variáveis (HAIR et al., 2009).

A multicolinearidade foi aferida pelo fator de inflação de variância (FIV) (LAM, 2010) e calculada a média para cada modelo, conforme Sallum et al. (2012). Quando o valor FIV tender para sumo, a multicolinearidade entre as variáveis aumenta (HAIR et al., 2009). Os valores de FIV foram considerados aceitável e ideal quando os mesmos forem menores que 10 e 4, respectivamente (O'BRIEN,2007).

No decorrer deste trabalho os valores de r^2 foram considerados como ótimo ($>0,85$), muito bom (0,76–0,85), bom (0,66–0,75), mediano (0,61–0,65), sofrível (0,51–0,60), ruim (0,41–0,50) e péssimo ($\leq 0,40$), embasado em estudo (no Brasil) realizado em pastagem tropical, com uso de RLM (DA CRUZ et al., 2011).

A variância justificada pelos modelos foi analisada pela estatística-F e sua razão comparado sua significância pela tabela de Distribuição F de Fisher (HAIR et al., 2009), considerando $P < 0,05$ e $P < 0,01$. Todas as análises estatísticas foram realizadas através do programa SAS[®] versão 9.1.3 (SAS Institute, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESCOLHA DO MÉTODO PARA MODELAGEM

Após análise dos valores de R^2_{adj} para os modelos da acidez total (H+Al) no solo (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 40-60 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 20-40, 40-60 e 60-80 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10 e 10-20 cm; no *C4*, o método de seleção de variáveis não foi indicado para as camadas estudadas; no *C5*, para as camadas de 20-40, 40-60 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 10-20, 20-40 e 60-80 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 80-100 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10, 60-80 e 80-100 cm; no *C4*, para as camadas de 20-40, 60-80 e 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 40-60 e 80-100 cm. O método *backward* não foi indicado no *C1* para as camadas estudadas; no *C2*, para as camadas de 20-40 e 60-80 cm; no *C3*, para as camadas de 10-20, 20-40 e 40-60 cm; no *C4*, para as camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 40-60 e 60-80 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *forward* para *C2* (camadas de 0-10 e 40-60 cm), *C3* (camada de 0-10 cm) e *C5* (camada de 80-100 cm). Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *backward* para *C2* (camada de 60-80 cm) e *C3* (camada de 10-20 cm). Os três métodos *stepwise*, *forward* e *backward* geraram modelos iguais para *C2* (camada de 20-40 cm) e *C5* (camada de 40-60 cm).

Para os modelos da acidez trocável (Al) no solo, mediante análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para as camadas de 20-40 e 60-80 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20 e 40-60 cm; no *C3*, para as camadas de 10-20 e 80-100 cm; no *C4*, para as camadas de 60-80 e 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 10-20, 60-80 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para todas as camadas, exceto de 0-10 e 40-60 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 60-80 e 80-100 cm; no *C3*, para todas as camadas, com exceção de 0-10 e 40-60 cm; no *C4*, para todas as camadas, exceto de 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 40-60 e 60-80 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 40-60 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20, 20-40 e 40-60 cm; no *C3*, para todas as camadas, com exceção de 20-40 e 60-80 cm; no *C4*, para as camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 80-100 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *forward* para *C1* (camadas de 20-40 e 60-80 cm), *C2* (camada de 10-20 e 40-60 cm) e *C5* (camada de 60-80 cm). Os métodos *forward* e *backward* geraram modelos iguais para *C1* (camada de 80-100 cm) e *C4* (camada de 40-60 cm). Os métodos *stepwise* e *backward* geraram modelos iguais para *C5* (camada de 80-100 cm). Os três

métodos *stepwise*, *forward* e *backward* geraram modelos iguais para C3 (camadas de 10-20 e 80-100 cm) e C4 (camada de 60-80 cm).

Tabela 3 – Valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise* (a), *forward* (b) e *backward* (c), para os atributos acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	H+Al			Al			Ca			Mg		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	cm												
C1	0-10	0,29 [€]	0,27	-	0,47	0,48	0,51 [€]	0,77	0,81	0,83 [€]	0,95 [€]	0,95 [€]	0,94
	10-20	0,36	0,42 [€]	0,41	-	0,15 [€]	-	0,29	0,31	0,38 [€]	0,86 [€]	0,85	0,86 [€]
	20-40	0,48	0,49 [€]	0,42	0,70 [€]	0,70 [€]	0,63	-	0,02 [€]	-	0,77	0,78 [€]	0,71
	40-60	0,28 [€]	0,25	0,18	0,64	0,62	0,65 [€]	0,72 [€]	0,72 [€]	0,64	0,59 [€]	0,57	0,59 [€]
	60-80	0,32	0,34 [€]	0,32	0,71 [€]	0,71 [€]	0,70	0,83	0,84	0,85 [€]	0,52	0,55 [€]	0,52
	80-100	0,17 [€]	0,14	-	0,48	0,55 [€]	0,55 [€]	0,27	0,34 [€]	0,15	0,27	0,42	0,46 [€]
C2	0-10	0,82 [€]	0,82 [€]	0,81	0,66	0,68 [€]	0,67	0,48	0,48	0,49 [€]	0,24	0,36 [€]	0,31
	10-20	0,36	0,37 [€]	0,31	0,32 [€]	0,31	0,32 [€]	0,58 [€]	0,57	0,58 [€]	0,63	0,69	0,72 [€]
	20-40	0,33 [€]	0,33 [€]	0,33 [€]	0,58	0,59	0,61 [€]	0,58	0,61 [€]	0,59	0,73	0,84 [€]	0,79
	40-60	0,25 [€]	0,25 [€]	-	0,74 [€]	0,72	0,74 [€]	0,60	0,62 [€]	0,55	0,69 [€]	0,68	0,69 [€]
	60-80	0,61 [€]	0,60	0,61 [€]	0,50	0,57 [€]	0,48	0,52 [€]	0,52 [€]	0,45	0,24	0,50 [€]	0,50 [€]
	80-100	0,19	0,35 [€]	0,19	0,15	0,20 [€]	0,15	0,71	0,73 [€]	0,71	0,72 [€]	0,72 [€]	0,68
C3	0-10	0,67 [€]	0,67 [€]	0,62	0,52	0,50	0,77 [€]	0,67	0,69	0,70 [€]	0,95 [€]	0,94	0,95 [€]
	10-20	0,74 [€]	0,72	0,74 [€]	0,75 [€]	0,75 [€]	0,75 [€]	0,32 [€]	0,32 [€]	0,23	0,76 [€]	0,75	0,73
	20-40	0,66	0,62	0,68 [€]	0,79	0,85 [€]	0,79	0,69 [€]	0,68	0,65	0,79 [€]	0,78	0,76
	40-60	0,56	0,60	0,62 [€]	0,67	0,67	0,68 [€]	0,11	0,21 [€]	-	0,62	0,63 [€]	0,61
	60-80	0,54	0,55 [€]	0,54	0,33	0,34 [€]	0,23	0,31	0,42	0,52 [€]	0,40	0,75	0,80 [€]
	80-100	0,56	0,61 [€]	0,58	0,50 [€]	0,50 [€]	0,50 [€]	0,33	0,63 [€]	0,43	0,61	0,61	0,68 [€]
C4	0-10	0,48	0,48	0,53 [€]	0,86	0,88 [€]	0,84	0,87	0,88 [€]	0,86	0,78	0,79 [€]	0,78
	10-20	0,58	0,57	0,66 [€]	0,78	0,79 [€]	0,77	0,52	0,58 [€]	0,52	0,91	0,92 [€]	0,91
	20-40	0,56	0,68 [€]	0,67	0,71	0,75 [€]	0,72	0,65 [€]	0,65 [€]	0,59	0,76	0,77 [€]	0,70
	40-60	0,82	0,82	0,83 [€]	0,48	0,50 [€]	0,50 [€]	0,73 [€]	0,73 [€]	0,65	0,77	0,77	0,79 [€]
	60-80	0,42	0,58 [€]	0,58	0,66 [€]	0,66 [€]	0,66 [€]	0,72	0,72	0,77 [€]	0,69	0,70	0,71 [€]
	80-100	-	0,21 [€]	-	0,29 [€]	0,26	0,29 [€]	0,52	0,54	0,57 [€]	0,33 [€]	0,32	0,23
C5	0-10	-	0,13 [€]	-	0,72	0,70	0,73 [€]	0,85	0,86 [€]	0,83	0,76	0,82	0,84 [€]
	10-20	0,48	0,71	0,74 [€]	0,56 [€]	0,55	0,48	-	0,04 [€]	-	0,81 [€]	0,80	0,80
	20-40	0,46 [€]	0,44	0,40	0,74	0,72	0,76 [€]	0,25	0,26	0,37 [€]	0,51	0,54	0,60 [€]
	40-60	0,61 [€]	0,61 [€]	0,61 [€]	0,41	0,43 [€]	0,41	-	0,03 [€]	-	0,85	0,86	0,90 [€]
	60-80	0,24	0,37	0,38 [€]	0,40 [€]	0,40 [€]	0,31	0,10	0,18	0,27 [€]	0,77	0,81 [€]	0,78
	80-100	0,54 [€]	0,54 [€]	0,43	0,46 [€]	0,45	0,46 [€]	0,17	0,19 [€]	0,18	0,63 [€]	0,61	0,57

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

€ modelo selecionado com base no maior valor de R^2_{adj} . Valores iguais de R^2_{adj} , na mesma camada e cenário indica que o modelo escolhido foi gerado igualmente pelo uso de diferentes métodos de seleção de variáveis.

Depois de analisado os valores de R^2_{adj} dos modelos para Ca no solo (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no C1, para a camada de 40-60 cm; no C2, para as camadas de 10-20 e 60-80 cm; no C3, para as camadas de 10-20 e 20-40 cm; no C4, para as camadas de 20-40 e 40-60 cm; no C5, o método de seleção de variáveis não foi indicado para as camadas estudadas. O método *forward* foi indicado no C1, para as camadas de 20-40, 40-60 e

80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm; no *C3*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm; no *C4*, para as camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 60-80 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 10-20, 40-60 e 80-100 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 10-20 e 60-80 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10 e 10-20 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10 e 60-80 cm; no *C4*, para as camadas de 60-80 e 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 20-40 e 60-80 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos de *stepwise* e *forward* para *C1* (camada de 40-60 cm), *C3* (camada de 10-20 cm) e *C4* (camadas de 20-40 e 40-60 cm). Os métodos *stepwise* e *backward* geraram modelos iguais para *C2* (camada de 10-20 cm). Os métodos *forward* e *backward* geraram modelos iguais para *C2* (camada de 60-80 cm).

Para os modelos para Mg no solo, por meio da análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm; no *C2*, para as camadas de 40-60 e 80-100 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm; no *C4*, apenas para a camada de 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 10-20 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 60-80 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 20-40, 60-80 e 80-100 cm; no *C3*, apenas para a camada de 40-60 cm; no *C4*, para as camadas de 0-10, 10-20, 20-40 cm; no *C5*, apenas para a camada de 60-80 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 60-80 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10, 60-80 e 80-100 cm; no *C4*, para as camadas de 40-60 e 60-80 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 40-60 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *forward* para *C1* (camada de 0-10 cm) e *C2* (camada de 80-100 cm). Os métodos *stepwise* e *backward* geraram modelos iguais para *C1* (camadas de 10-20 e 40-60 cm) e *C2* (camada de 40-60 cm). Os métodos *forward* e *backward* geraram modelos iguais para *C2* (camada de 60-80 cm).

Para os modelos para K no solo, mediante a análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 4), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para as camadas de 10-20 e 40-60 cm; no *C2*, para as camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm; no *C3*, o método de seleção de variáveis não foi indicado para as camadas estudadas; no *C4*, apenas para a camada de 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 10-20, 60-80 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10 e 20-40 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 60-80 cm; no *C3*, para as camadas de 10-20, 60-80 e 80-100 cm; no *C4* apenas para a camada de 80-100 cm; no *C5*, para as camadas de 10-20 e 60-80 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 60-80 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 40-60 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 40-60 cm; no *C4*, apenas para a camada de 0-10 cm; no *C5*, para as camadas de 40-60 e 80-100 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e

forward para C2 (camada de 60-80 cm). Os três métodos *stepwise*, *forward* e *backward* geraram modelos iguais para C2 (camada de 40-60 cm).

Tabela 4 – Valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise* (a), *forward* (b) e *backward* (c), para os atributos potássio trocável (K), sódio trocável (Na) e percentual de Na trocável (PST), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	K			Na			PST		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
	cm									
C1	0-10	0,81	0,95 [€]	0,94	0,92 [€]	0,92 [€]	0,91	0,91	0,91	0,92 [€]
	10-20	0,39 [€]	0,37	0,32	0,89	0,93 [€]	0,92	0,88	0,91 [€]	0,89
	20-40	0,41	0,44 [€]	0,35	0,96	0,99 [€]	0,99 [€]	0,93	0,94 [€]	0,92
	40-60	0,75 [€]	0,74	0,73	0,91	0,92 [€]	0,91	0,94 [€]	0,93	0,93
	60-80	0,70	0,70	0,72 [€]	0,97	0,99 [€]	0,97	0,96	0,97	0,98 [€]
	80-100	0,69	0,73	0,73 [€]	0,96	0,96	0,97 [€]	0,87	0,88 [€]	0,87
C2	0-10	0,88	0,88	0,89 [€]	0,83	0,84 [€]	0,82	0,87	0,88	0,97 [€]
	10-20	0,81	0,94 [€]	0,93	0,97 [€]	0,96	0,96	0,95 [€]	0,95 [€]	0,94
	20-40	0,95	0,95	0,96 [€]	0,95	0,95	0,96 [€]	0,96	0,97 [€]	0,96
	40-60	0,63 [€]	0,63 [€]	0,63 [€]	0,91	0,91	0,92 [€]	0,94 [€]	0,94 [€]	0,93
	60-80	0,53 [€]	0,53 [€]	0,28	0,96	0,97 [€]	0,96	0,88	0,89 [€]	0,88
	80-100	0,47 [€]	0,44	0,45	0,97	0,98 [€]	0,97	0,98 [€]	0,97	0,98 [€]
C3	0-10	0,78	0,85	0,86 [€]	0,85	0,86 [€]	0,85	0,89	0,89	0,98 [€]
	10-20	0,56	0,59 [€]	0,56	0,98 [€]	0,97	0,97	0,98	0,99 [€]	0,98
	20-40	0,65	0,73	0,75 [€]	0,96	0,97 [€]	0,96	0,98 [€]	0,97	0,98 [€]
	40-60	0,58	0,72	0,74 [€]	0,93	0,98 [€]	0,97	0,92	0,93 [€]	0,92
	60-80	0,62	0,78 [€]	0,72	0,99 [€]	0,98	0,98	0,88	0,89 [€]	0,88
	80-100	0,47	0,50 [€]	0,49	0,94	0,95 [€]	0,94	0,91	0,92 [€]	0,90
C4	0-10	0,91	0,91	0,92 [€]	0,84	0,85 [€]	0,84	0,87	0,88	0,98 [€]
	10-20	-	0,01 [€]	-	0,95	0,95	0,96 [€]	0,97 [€]	0,96	0,97 [€]
	20-40	0,24	0,26 [€]	0,24	0,98 [€]	0,98 [€]	0,98 [€]	0,97	0,98 [€]	0,97
	40-60	0,36	0,41 [€]	0,28	0,99 [€]	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98 [€]
	60-80	0,26	0,37 [€]	0,35	0,98	0,98	0,99 [€]	0,97	0,98 [€]	0,97
	80-100	0,11 [€]	0,06	-	0,98	0,98	0,99 [€]	0,97	0,97	0,98 [€]
C5	0-10	0,97	0,98 [€]	0,97	0,91	0,92 [€]	0,90	0,88	0,88	0,95 [€]
	10-20	0,14 [€]	0,12	-	0,68	0,72	0,74 [€]	0,82	0,83 [€]	0,82
	20-40	0,61	0,63 [€]	0,60	0,98 [€]	0,97	0,97	0,95	0,96 [€]	0,95
	40-60	0,53	0,57	0,70 [€]	0,94	0,95 [€]	0,94	0,96 [€]	0,95	0,95
	60-80	0,45 [€]	0,40	0,41	0,97	0,97	0,98 [€]	0,98 [€]	0,98 [€]	0,97
	80-100	0,83	0,84	0,86 [€]	0,95 [€]	0,94	0,94	0,93 [€]	0,92	0,92

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

€ modelo selecionado com base no maior valor de R^2_{adj} . Valores igual de R^2_{adj} , na mesma camada e cenário indica que o modelo escolhido foi gerado igualmente pelo uso de diferentes métodos de seleção de variáveis.

Para os modelos para Na no solo, por meio da análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 4), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no C1, apenas para a camada de 0-10 cm; no C2, apenas para a camada de 10-20 cm; no C3, para as camadas de 10-20 e 60-80 cm; no C4 para as camadas de 20-40 e 40-60 cm; no C5, para as camadas de 20-40 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no C1, para todas as camadas, exceto 80-100 cm; no C2, para as camadas de 0-10, 60-80 e 80-100 cm; no C3, para todas as camadas, exceto de 10-20 e 60-80 cm; no C4

para as camadas de 0-10 e 20-40 cm; no C5, para as camadas de 0-10 e 40-60 cm. O método *backward* foi indicado no C1, para as camadas de 20-40 e 80-100 cm; no C2, para as camadas de 20-40 e 40-60 cm; no C3, o método de seleção de variáveis não foi indicado para as camadas estudadas; no C4, para todas as camadas, exceto de 0-10 e 40-60 cm; no C5, para as camadas de 10-20 e 60-80 cm. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *forward* para C1 (camada de 0-10 cm). Os métodos *forward* e *backward* geraram modelos iguais para C1 (camada de 20-40 cm). Os três métodos *stepwise*, *forward* e *backward* geraram modelos iguais para C4 (camada de 20-40 cm).

Para os modelos para PST no solo, por meio da análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 4), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no C1, apenas para a camada de 40-60 cm; no C2, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm; no C3, apenas para a camada de 20-40 cm; no C4, apenas para a camada de 10-20 cm; no C5, para as camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no C1, para as camadas de 10-20, 20-40 e 80-100 cm; no C2, para todas as camadas, exceto de 0-10 e 80-100 cm; no C3, para todas as camadas, exceto de 0-10 e 20-40 cm; no C4, para as camadas de 20-40 e 60-80 cm; no C5, para as camadas de 10-20, 20-40 e 60-80 cm. O método *backward* foi indicado no C1, para as camadas de 0-10 e 60-80 cm; no C2, para as camadas de 0-10 e 80-100 cm; no C3, para as camadas de 0-10 e 20-40 cm; no C4, para todas as camadas, exceto de 20-40 e 60-80 cm; no C5, o método de seleção de variáveis não foi indicado para as camadas estudadas. Foram gerados modelos iguais para os métodos *stepwise* e *forward* para C2 (camadas de 10-20 e 40-60 cm) e C5 (camada de 60-80 cm). Os métodos *stepwise* e *backward* geraram modelos iguais para C2 (camada de 80-100 cm), C3 (camada de 20-40 cm) e C4 (camada de 10-20 cm).

Os valores de R^2_{adj} para os modelos gerados com o método de seleção de variáveis foram superiores aos dos modelos desenvolvidos pelo método padrão (Tabelas 5, 6, 7 e 8). Isso possibilitou gerar modelos confiáveis de RLM para a acidez total e trocável, Ca, Mg, K, Na, V e PST no solo a partir de menor número de variáveis.

Os índices FIV para os 30 modelos de H+Al no solo foram ideais e aceitáveis para 6,67% e 56,67%, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 5). Com a utilização do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de H+Al no solo (Tabela 5). Essa diminuição resultou em valores FIV ideais e aceitáveis para 90,00% e 6,67% dos 30 modelos, respectivamente.

Os índices FIV para os modelos de Al no solo foram considerados como ideais e aceitáveis para 6,67% e 56,67%, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 5). Com o uso do método de seleção de variáveis, os índices FIV diminuíram para os modelos de Al

no solo (Tabela 5). Essa diminuição resultou em valores FIV ideais e aceitáveis para 73,33% e 13,33% dos 30 modelos, respectivamente.

Tabela 5 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos acidez total (H+Al), alumínio trocável (Al), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	H+Al				Al			
		MP		MS		MP		MS	
		R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV
	cm								
C1	0-10	-0,02	7,24	0,29 ^a	1,00	0,39	7,25	0,51 ^c	1,49
	10-20	0,35	5,52	0,42 ^b	2,93	0,04	5,52	0,15 ^b	2,11
	20-40	0,46	12,73	0,49 ^b	1,80	0,65	12,73	0,70 ^{a,b}	1,10
	40-60	-0,11	10,73	0,28 ^a	1,00	0,55	10,73	0,65 ^c	1,41
	60-80	0,12	7,07	0,34 ^b	1,00	0,62	7,07	0,71 ^{a,b}	1,66
	80-100	-0,18	8,54	0,17 ^a	1,00	0,44	8,54	0,55 ^{b,c}	1,15
C2	0-10	0,80	6,29	0,82 ^{a,b}	1,80	0,67	6,29	0,68 ^b	8,98
	10-20	0,29	11,76	0,37 ^b	3,68	0,25	11,76	0,32 ^{a,c}	1,00
	20-40	-0,02	12,27	0,33 ^{a,b,c}	1,00	0,48	12,27	0,61 ^c	5,20
	40-60	-0,12	4,65	0,25 ^{a,b}	1,00	0,67	4,65	0,74 ^{a,c}	1,45
	60-80	0,53	5,17	0,61 ^{a,c}	2,09	0,55	5,17	0,57 ^b	86,21
	80-100	0,26	4,45	0,35 ^b	1,99	-0,09	4,45	0,20 ^b	1,66
C3	0-10	0,52	26,32	0,67 ^{a,b}	3,91	0,79	26,33	0,77 ^c	15,33
	10-20	0,67	14,35	0,74 ^{a,c}	1,01	0,63	14,35	0,75 ^{a,b,c}	2,16
	20-40	0,58	8,42	0,68 ^c	1,15	0,83	8,42	0,85 ^b	2,68
	40-60	0,47	7,64	0,62 ^c	4,89	0,60	7,64	0,68 ^c	1,19
	60-80	0,39	4,86	0,55 ^b	2,42	0,23	4,86	0,34 ^b	3,95
	80-100	0,51	3,17	0,61 ^b	1,64	0,41	3,17	0,50 ^{a,b,c}	1,00
C4	0-10	0,52	20,37	0,53 ^c	36,27	0,88	20,37	0,88 ^b	36,27
	10-20	0,61	16,76	0,66 ^c	3,08	0,74	16,76	0,79 ^b	1,06
	20-40	0,65	21,33	0,68 ^b	6,80	0,69	21,33	0,75 ^b	18,41
	40-60	0,80	6,86	0,83 ^c	2,56	0,39	6,86	0,50 ^{b,c}	2,28
	60-80	0,40	4,49	0,58 ^b	2,51	0,53	4,49	0,66 ^{a,b,c}	2,24
	80-100	0,04	8,10	0,21 ^b	3,96	-0,09	8,10	0,29 ^{a,c}	1,00
C5	0-10	-0,12	7,43	0,13 ^b	1,10	0,72	7,43	0,73 ^c	4,13
	10-20	0,69	7,56	0,74 ^c	1,00	0,62	7,56	0,56 ^a	1,51
	20-40	0,31	14,08	0,46 ^a	1,53	0,74	14,08	0,76 ^c	1,49
	40-60	0,49	15,50	0,61 ^{a,b,c}	1,00	0,34	15,50	0,43 ^b	6,16
	60-80	0,21	4,97	0,38 ^c	2,40	0,23	4,97	0,40 ^{a,b}	1,00
	80-100	0,33	3,01	0,54 ^{a,b}	1,00	0,35	3,01	0,46 ^{a,c}	1,00

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

MP: método padrão; MS: método de seleção de variáveis.

Para os modelos de Ca no solo, os índices FIV foram ideais e aceitáveis para 0,00% e 6,67%, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 6). Porém, com o emprego do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuiram para os modelos de Ca no solo

(Tabela 6). Esse decréscimo resultou em valores FIV ideais e aceitáveis para 73,33% e 13,33% dos 30 modelos, respectivamente.

Os índices FIV para os 30 modelos de Mg no solo foram ideais e aceitáveis para 0,00% e 26,67%, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 6). Todavia, com a aplicação do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de Mg no solo (Tabela 6). Essa redução resultou em valores FIV ideais de 53,33% e aceitáveis de 30,00% dos 30 modelos.

Tabela 6 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada cm	Ca				Mg			
		MP		MS		MP		MS	
		R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV
C1	0-10	0,81	30,47	0,83 ^c	2,77	0,93	10,56	0,95 ^{a,b}	2,18
	10-20	0,12	16,02	0,38 ^c	3,00	0,77	6,36	0,86 ^{a,c}	17,60
	20-40	-0,65	22,64	-0,02 ^b	1,35	0,67	12,22	0,78 ^b	1,51
	40-60	0,63	21,01	0,72 ^{a,b}	5,14	0,35	11,24	0,59 ^{a,c}	5,76
	60-80	0,81	20,12	0,85 ^c	1,26	0,28	7,38	0,55 ^b	3,21
	80-100	0,14	18,91	0,34 ^b	1,00	0,37	9,53	0,46 ^c	6,15
C2	0-10	0,09	22,96	0,49 ^c	22,69	0,08	9,77	0,36 ^b	7,32
	10-20	0,58	25,00	0,58 ^{a,c}	1,57	0,61	19,67	0,72 ^c	3,25
	20-40	0,44	30,64	0,61 ^b	6,23	0,84	24,19	0,84 ^b	22,48
	40-60	0,51	28,24	0,62 ^b	1,58	0,52	8,17	0,69 ^{a,c}	1,13
	60-80	0,29	16,85	0,52 ^{a,b}	1,03	0,42	8,15	0,50 ^{b,c}	3,67
	80-100	0,62	18,95	0,73 ^b	1,26	0,59	7,28	0,72 ^{a,b}	1,01
C3	0-10	0,58	60,21	0,70 ^c	1,10	0,94	28,87	0,95 ^{a,c}	9,33
	10-20	-0,05	23,16	0,32 ^{a,b}	1,00	0,75	20,78	0,76 ^a	1,79
	20-40	0,64	23,13	0,69 ^a	2,78	0,72	17,77	0,79 ^a	4,81
	40-60	-0,14	44,03	0,21 ^b	1,20	0,41	15,02	0,63 ^b	1,00
	60-80	0,34	19,28	0,52 ^c	3,45	0,72	15,33	0,80 ^c	4,67
	80-100	0,63	19,31	0,63 ^b	29,45	0,64	10,07	0,68 ^c	1,41
C4	0-10	0,83	29,04	0,88 ^b	1,43	0,70	31,50	0,79 ^b	19,88
	10-20	0,48	32,00	0,58 ^b	3,76	0,88	29,57	0,92 ^b	2,42
	20-40	0,56	30,27	0,65 ^{a,b}	1,05	0,71	35,24	0,77 ^b	1,92
	40-60	0,53	18,36	0,73 ^{a,b}	1,00	0,73	12,92	0,79 ^c	8,43
	60-80	0,78	32,38	0,77 ^c	4,86	0,61	12,07	0,71 ^c	1,01
	80-100	0,41	46,36	0,57 ^c	20,08	-0,02	20,74	0,33 ^a	1,05
C5	0-10	0,78	11,82	0,86 ^b	1,38	0,83	24,01	0,84 ^c	8,66
	10-20	-0,14	11,05	0,04 ^b	1,59	0,69	14,35	0,81 ^a	48,49
	20-40	0,11	26,44	0,37 ^c	2,86	0,42	29,22	0,60 ^c	13,20
	40-60	-0,43	19,72	0,03 ^b	1,41	0,88	22,51	0,90 ^c	9,30
	60-80	-0,07	9,81	0,27 ^c	19,90	0,74	14,03	0,81 ^b	3,03
	80-100	-0,16	8,86	0,19 ^b	14,15	0,49	9,19	0,63 ^a	1,12

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

MP: método padrão; MS: método de seleção de variáveis.

Para o K no solo, não houve modelos foram considerados ideais e apenas 36,67% foram considerados aceitáveis, quando aplicado o método padrão (Tabela 7). Entretanto, com o emprego do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os 30 modelos de K no solo (Tabela 7), melhorando-os em 60,00% para ideais e 20,00% para aceitáveis.

Tabela 7 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos potássio trocável (K), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	K				Na			
		MP		MS		MP		MS	
		R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV
	cm								
C1	0-10	0,94	7,56	0,95 ^b	110,68	0,86	21,80	0,92 ^{a,b}	1,00
	10-20	0,12	6,70	0,39 ^a	1,00	0,92	16,13	0,93 ^b	81,19
	20-40	0,21	13,15	0,44 ^b	1,19	0,99	26,73	0,99 ^{b,c}	29,38
	40-60	0,61	10,63	0,75 ^a	1,21	0,89	18,99	0,92 ^b	1,79
	60-80	0,64	9,54	0,72 ^c	1,51	0,99	16,98	0,99 ^b	107,23
	80-100	0,63	8,98	0,73 ^c	25,20	0,96	19,01	0,97 ^c	7,76
C2	0-10	0,88	9,98	0,89 ^c	1,37	0,78	42,19	0,84 ^b	4,06
	10-20	0,94	16,22	0,94 ^b	480,56	0,96	56,47	0,97 ^a	7,33
	20-40	0,94	28,03	0,96 ^c	9,30	0,95	67,23	0,96 ^c	6,28
	40-60	0,40	10,63	0,63 ^{ab,c}	1,00	0,90	52,97	0,92 ^c	12,23
	60-80	0,29	8,96	0,53 ^{ab}	9,99	0,96	43,45	0,97 ^b	134,75
	80-100	0,24	8,79	0,47 ^a	1,00	0,98	37,68	0,98 ^b	12,08
C3	0-10	0,85	30,81	0,86 ^c	40,35	0,85	44,64	0,86 ^b	29,10
	10-20	0,42	19,13	0,59 ^b	2,84	0,98	35,71	0,98 ^a	1,70
	20-40	0,62	15,49	0,75 ^c	5,07	0,97	33,22	0,97 ^b	28,53
	40-60	0,67	15,97	0,74 ^c	7,08	0,98	34,43	0,98 ^b	514,52
	60-80	0,75	10,42	0,78 ^b	10,32	0,98	22,72	0,99 ^a	5,34
	80-100	0,40	11,57	0,50 ^b	1,35	0,95	33,58	0,95 ^b	34,30
C4	0-10	0,89	42,73	0,92 ^c	2,03	0,83	122,07	0,85 ^b	3,61
	10-20	-0,55	35,80	0,01 ^b	1,00	0,94	60,36	0,96 ^c	1,81
	20-40	0,21	33,01	0,26 ^b	656,65	0,96	56,24	0,98 ^{a,b,c}	10,14
	40-60	0,45	27,20	0,41 ^b	1,35	0,99	34,85	0,99 ^a	876,56
	60-80	0,13	17,20	0,37 ^b	2,07	0,98	74,19	0,99 ^c	7,04
	80-100	-0,07	16,79	0,11 ^a	1,00	0,99	42,28	0,99 ^c	2,57
C5	0-10	0,98	8,29	0,98 ^b	6,26	0,87	12,12	0,92 ^b	1,46
	10-20	-0,36	9,45	0,14 ^a	1,00	0,63	13,37	0,74 ^c	1,01
	20-40	0,42	16,85	0,63 ^b	2,01	0,97	26,96	0,98 ^a	1,79
	40-60	0,65	21,76	0,70 ^c	6,74	0,94	21,70	0,95 ^b	13,15
	60-80	0,36	6,28	0,45 ^a	1,36	0,98	10,42	0,98 ^c	6,56
	80-100	0,78	5,43	0,86 ^c	2,99	0,93	10,31	0,95 ^a	5,62

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

MP: método padrão; MS: método de seleção de variáveis.

Os índices FIV para os 30 modelos de Na no solo não foram classificados como ideais e aceitáveis quando utilizado o método padrão (Tabela 7). No entanto, com a utilização do método

de seleção de variáveis, os valores FIV decresceram (Tabela 7), sendo considerados ideais e aceitáveis para 30,00% e 26,67% dos 30 modelos, respectivamente.

Os modelos preditivos de PST no solo tiveram índices FIV que foram considerados aceitáveis para 56,67%, quando utilizado o método padrão (Tabela 8). Mediante aplicação do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de PST no solo (Tabela 8). Essa diminuição resultou em valores FIV ideais e aceitáveis para 70,00% e 16,67% para os modelos de PST.

Tabela 8 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2 -adj) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos de percentual de Na trocável (PST), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	PST			
		MP		MS	
		R^2 adj	FIV	R^2 adj	FIV
	cm				
C1	0-10	0,89	7,25	0,92 ^c	1,26
	10-20	0,89	5,52	0,91 ^b	80,08
	20-40	0,93	12,73	0,94 ^b	13,43
	40-60	0,92	10,83	0,94 ^a	1,00
	60-80	0,98	7,07	0,98 ^c	27,12
	80-100	0,84	8,54	0,88 ^b	1,82
C2	0-10	0,85	6,29	0,97 ^c	2,83
	10-20	0,94	11,76	0,95 ^{a,b}	1,26
	20-40	0,96	12,27	0,97 ^b	8,80
	40-60	0,93	4,65	0,94 ^{a,b}	1,02
	60-80	0,88	5,17	0,89 ^b	5,24
	80-100	0,98	4,45	0,98 ^{a,c}	2,39
C3	0-10	0,88	26,33	0,98 ^c	3,86
	10-20	0,99	14,35	0,99 ^b	11,03
	20-40	0,98	7,97	0,98 ^{a,c}	6,08
	40-60	0,93	7,63	0,93 ^b	2,89
	60-80	0,87	4,86	0,89 ^b	1,92
	80-100	0,90	3,17	0,92 ^b	2,81
C4	0-10	0,85	20,37	0,98 ^c	2,87
	10-20	0,95	16,77	0,97 ^{a,c}	1,26
	20-40	0,97	21,33	0,98 ^b	2,60
	40-60	0,97	6,86	0,98 ^c	6,64
	60-80	0,98	4,49	0,98 ^b	9,40
	80-100	0,98	8,10	0,98 ^c	2,11
C5	0-10	0,80	7,43	0,95 ^c	1,26
	10-20	0,78	7,56	0,83 ^b	1,23
	20-40	0,95	14,08	0,96 ^b	1,87
	40-60	0,94	15,50	0,96 ^a	1,00
	60-80	0,97	4,97	0,98 ^{a,b}	2,51
	80-100	0,91	3,01	0,93 ^a	1,40

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

MP: método padrão; MS: método de seleção de variáveis.

Portanto, o método com seleção de variáveis foi o mais adequado para modelar a acidez total (H+Al) e trocável (Al), as concentrações das bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) e os valores de PST no solo, mediante uso RLM, pois: (i) apresentou menor multicolinearidade entre as variáveis independentes (devido aos menores valores FIV); (ii) teve maior índice de R^2_{adj} mesmo com menor número de variáveis empregadas.

3.2 MODELAGEM DA ACIDEZ TOTAL E TROCÁVEL NO SOLO

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo em 3,00; 13,33; 23,33; 13,33; 16,67; 6,67; 23,33%, dos 30 modelos de H+Al no solo (Tabela 9). No *C1*, as variáveis B e Pp explicaram as concentrações de H+Al na camada de 0-10 cm; as variáveis B, Pp, pH₁, pH₂, pH₃ e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, Pp, pH₂ e pH₃ na camada de 20-40 cm; as variáveis B e pH₃ na camada de 40-60 cm; as variáveis B e t na camada de 60-80 cm; e a variável t na camada de 80-100 cm (Tabela 9).

No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de H+Al foram explicadas pelas variáveis B, pH₂ e pH₃; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, t, T_{min}, T_{max}, pH₁ e pH₃; na camada de 20-40 cm pelas variáveis T_{max} e pH₁; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B e T_{max}; na camada de 60-80 cm pelas variáveis Pp, pH₂ e pH₃; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, t, Pp, pH₁ e pH₂ (Tabela 9).

No *C3*, as variáveis B, pH₁ e pH₂ explicaram as concentrações de H+Al na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t e T_{max} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{max}, Pp e pH₁ na camada de 20-40 cm; as variáveis t, pH₂ e pH₃ na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{min}, pH₁, pH₂ e pH₃ na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{min}, T_{max}, pH₁ e pH₃ na camada de 80-100 cm (Tabela 9).

No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de H+Al foram explicadas pelas variáveis B, t, pH₁, pH₂, pH₃ e ALK_{ETSE}; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, t e pH₃; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{min}, Pp, pH₁, pH₂ e pH₃; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, T_{min}, Pp, pH₁ e pH₂; na camada de 60-80 cm pelas variáveis t, pH₂ e pH₃; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis t, pH₁, pH₂, pH₃ e ALK_{ETSE} (Tabela 9).

No *C5*, as variáveis T_{min} e pH₁ explicaram as concentrações de H+Al na camada de 0-10 cm; as variáveis T_{min}, pH₂ e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{min}, T_{max} e ALK_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis B e T_{max} na camada de 40-60 cm; as variáveis t, T_{max} e pH₂ na camada de 60-80 cm; e as variáveis B e t na camada de 80-100 cm (Tabela 9).

Os modelos para H+Al no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes

na explicação de H+Al foram B, Pp e pH3, pois estavam presentes em 83,33; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 9).

Nos modelos do C2 foram consideradas as variáveis B, pH1, pH2, pH3 e Tmax como as mais importantes, pois estavam presentes em 66,67; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 9).

Nos modelos do C3, as variáveis B, pH1, pH2, t, Tmax, e pH3 foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 66,67; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 9).

Nos modelos do C4, foram consideradas mais importantes variáveis pH2, pH3, B, t e pH1, pois estavam presentes em 83,33; 83,33; 66,67; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos gerados (Tabela 9).

Nos modelos do C5, as variáveis consideradas mais importantes foram Tmin, B e Tmax, pois estavam presentes em 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 9).

Portanto, os atributos relacionados à acidez atual do solo e/ou da solução no solo governaram influenciaram diretamente a acidez total até 80 cm de profundidade do solo. Tem sido observada relação inversa entre pH e concentrações de H+Al, particularmente, em solo tropical (Raij, 2011). O efeito do B no modelo se deve à variação de atributos do solo ao longo da toposequência estudada. Isso ressalta a importância do design experimento de blocos casualizados em situação de solo como o do presente experimento (Argissolo Vermelho distrófico latossólico), para diminuição dos erros experimentais. Normalmente a relação entre H+Al e Pp foi negativa. Em situação de maior precipitação o aporte ETSE foi menor (que necessariamente implica em menor aporte de alcalinidade, que atua como amenizador da acidez do solo irrigado com ETSE, conforme da Fonseca et al. (2005b)); em situação de maior precipitação também tem sido mais comum a lixiviação de cátions e maior acidificação do solo (Malavolta, 1980; da Fonseca et al., 2005b). A relação com o tempo também foi inversa, evidenciando que no decorrer do estudo, a irrigação com ETSE atuou amenizando o efeito acidificante da adubação nitrogenada mineral, concordando com os trabalhos de Da Fonseca et al. (2005b) e Leal et al. (2009).

Tabela 9 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para acidez total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$4,16441 + (0,2625*B) + (0,0025*P_p)$	3,36 ^{NS}	0,34	a
	10-20	$13,2617 + (0,1791*B) - (0,0035*P_p) - (0,3457*pH_1) - (0,3508*pH_2) - (0,3751*pH_3) + (0,0083*ALK_{ETSE})$	2,54 ^{NS}	0,62	b
	20-40	$7,4428 + (0,2960*B) - (0,0012*P_p) - (0,5790*pH_2) + (0,1712*pH_3)$	4,07*	0,59	b
	40-60	$5,1514 + (0,1321*B) - (0,1946*pH_3)$	3,17 ^{NS}	0,32	a
	60-80	$3,0806 + (0,2277*B) - (0,0862*t)$	4,15*	0,38	b
	80-100	$3,0150 - (0,0932*t)$	2,93 ^{NS}	0,17	a
C2	0-10	$3,8356 + (0,3058*B) - (1,1208*pH_2) + (1,2286*pH_3)$	22,57**	0,84	a,b
	10-20	$0,3493 + (0,1763*B) - (0,0370*t) - (0,1748*T_{min}) + (0,2788*T_{max}) + (0,6695*pH_1) - (0,5237*pH_3)$	2,21 ^{NS}	0,59	b
	20-40	$1,9857 + (0,1996*T_{max}) - (0,5504*pH_1)$	3,98*	0,37	a,b,c
	40-60	$0,7189 + (0,1025*B) + (0,1132*T_{max})$	2,85 ^{NS}	0,30	a,b
	60-80	$5,3454 - (0,0011*P_p) - (0,6221*pH_2) + (0,3722*pH_3)$	8,04**	0,66	a,c
	80-100	$3,4281 + (0,1223*B) + (0,0198*t) - (0,0010*P_p) - (0,3394*pH_1) + (0,2369*pH_2)$	2,32 ^{NS}	0,53	b
C3	0-10	$8,3448 + (0,2359*B) + (0,9013*pH_1) - (1,1282*pH_2)$	9,99**	0,71	a,b
	10-20	$-0,5818 + (0,1155*B) - (0,2389*t) + (0,2279*T_{max})$	14,06**	0,77	a,c
	20-40	$3,3490 + (0,2040*B) + (0,2173*T_{max}) - (0,0010*P_p) - (1,0004*pH_1)$	8,35**	0,75	c
	40-60	$8,9412 + (0,3941*t) - (0,8167*pH_2) - (0,2695*pH_3)$	8,17**	0,67	c
	60-80	$-8,2921 + (0,4761*T_{min}) + (0,9801*pH_1) + (0,2427*pH_2) - (0,3413*pH_3)$	5,07*	0,64	b
	80-100	$1,7361 + (0,0579*B) + (0,0790*T_{min}) + (0,0301*T_{max}) - (0,2335*pH_1) - (0,0700*pH_3)$	5,10*	0,71	b
C4	0-10	$12,8686 + (0,2728*B) + (1,9829*t) + (2,8933*pH_1) - (4,4450*pH_2) + (1,0203*pH_3) - (0,08341*ALK_{ETSE})$	3,49*	0,69	c
	10-20	$3,7524 + (0,1957*B) - (0,6167*t) + (0,4492*pH_3)$	9,62**	0,70	c
	20-40	$3,9228 + (0,0908*B) - (0,0202*T_{min}) - (0,0021*P_p) + (1,4879*pH_1) - (0,5106*pH_2) - (0,1291*pH_3)$	5,82**	0,79	b
	40-60	$-4,9117 - (0,1473*B) + (0,2179*T_{min}) - (0,0021*P_p) + (2,3584*pH_1) - (0,4654*pH_2)$	14,47**	0,87	c
	60-80	$3,7793 - (0,1987*t) - (0,2131*pH_2) + (0,2228*pH_3)$	7,05**	0,63	b
	80-100	$0,6488 - (0,1631*t) + (0,4252*pH_1) + (0,2410*pH_2) - (0,1660*pH_3) + (0,0066*ALK_{ETSE})$	1,54 ^{NS}	0,43	b
C5	0-10	$-6,3520 + (0,3653*T_{min}) + (1,2892*pH_1)$	1,59 ^{NS}	0,19	b
	10-20	$-24,7650 + (1,3929*T_{min}) + (1,5975*pH_2) - (0,0402*ALK_{ETSE})$	14,04**	0,77	c
	20-40	$-16,0943 + (0,5162*B) + (0,7166*T_{min}) + (0,7166*T_{max}) - (0,0136*ALK_{ETSE})$	4,57*	0,53	a
	40-60	$-1,1515 + (0,1875*B) + (0,1718*T_{max})$	11,64**	0,64	a,b,c
	60-80	$-3,9782 - (0,1599*t) + (0,1421*T_{max}) + (0,6872*pH_2)$	3,58*	0,47	c
	80-100	$2,7587 + (0,1070*B) - (0,0905*t)$	8,81**	0,57	a,b

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01. *: P < 0,05. ^{NS}: não significativo.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo em 6,67; 33,33; 16,67; 16,67; 6,67; 13,33; 6,67%, dos 30 modelos de Al no solo (Tabela 10). No *C1*, as variáveis B, pH₂ e pH₃ explicam as concentrações de Al na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, T_{max}, pH₁ e pH₂ na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, Pp e pH₁ na camada de 20-40 cm; as variáveis B, t e pH₁ na camada de 40-60 cm; as variáveis pH₁, pH₂ e ALK_{ETSE} na camada de 60-80 cm; e as variáveis t e pH₁ na camada de 80-100 cm (Tabela 10). No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Al foram explicadas pelas variáveis B, T_{min}, pH₁, pH₂, pH₃ e ALK_{ETSE}; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B e pH₃; na camada de 20-40 cm pelas variáveis t, pH₁ e pH₃; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, T_{max} e pH₃; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{min}, T_{max}, Pp, pH₂ e pH₃; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, Pp e pH₃ (Tabela 10). No *C3*, as variáveis B, T_{max}, pH₁ e pH₃ explicam as concentrações de Al na camada de 0-10 cm; as variáveis pH₂ e pH₃ na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, T_{min}, T_{max} e pH₁ na camada de 20-40 cm; as variáveis pH₂ e ALK_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, t, T_{max}, pH₁ e pH₂ na camada de 60-80 cm; e as variáveis B e pH₃ na camada de 80-100 cm (Tabela 10). No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Al foram explicadas pelas variáveis B, t, pH₁, pH₂, pH₃ e ALK_{ETSE}; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, T_{min} e pH₃; na camada de 20-40 cm pelas variáveis t, Pp, pH₁ e pH₃; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, T_{min}, pH₁ e ALK_{ETSE}; na camada de 60-80 cm pelas variáveis t, pH₁ e ALK_{ETSE}; e na camada de 80-100 cm pela variável pH₂ (Tabela 10).

No *C5*, as variáveis t, T_{min}, T_{max} e pH₂ explicam as concentrações de Al na camada de 0-10 cm; as variáveis pH₁, pH₃ e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{min} e pH₂ na camada de 20-40 cm; as variáveis B, t, T_{min}, pH₁ e pH₃ na camada de 40-60 cm; a variável pH₂ na camada de 60-80 cm; e a variável t na camada de 80-100 cm (Tabela 10).

Os modelos para Al no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários, similarmente ao observado para o atributo H+Al (Tabela 9). Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de Al foram pH₁, B e t pois estavam presentes em 83,33; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 10). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis B e pH₃ como as mais importantes, pois estavam presentes em 83,33 e 83,33% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 10). Nos modelos do *C3*, as variáveis B, T_{max}, pH₁, pH₂ e pH₃ foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 10). Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis pH₁, B, t, pH₃ e ALK_{ETSE}, pois estavam presentes em 66,67; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 10). Nos modelos do *C5*, as variáveis consideradas mais importantes foram t,

T_{\min} e pH_2 , pois estavam presentes em 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 10).

De modo geral, a acidez trocável teve comportamento similar ao observado para a acidez total do solo, mostrando a coerência dos resultados. Na medida em que o pH aumentou, as concentrações de Al trocável, em diferentes cenários e camadas de solo estudado, foram diminuídas. De acordo com Lindsay (1979), para aumento de cada unidade de pH ocorre diminuição de 1000 vezes na atividade do Al^{3+} em equilíbrio na solução do solo.

Tabela 10 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para alumínio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$-0,5215 - (0,1080*B) + (0,4123*pH_2) - (0,1987*pH_3)$	6,37**	0,61	c
	10-20	$-1,2931 + (0,1006*B) - (0,2958*t) + (0,1665*T_{max}) - (1,2091*pH_1) + (0,5957*pH_2)$	1,54 ^{NS}	0,43	b
	20-40	$28,6219 + (0,8761*B) - (0,8232*t) - (0,0053*P_p) - (4,7856*pH_1)$	10,10**	0,78	a,b
	40-60	$32,2802 + (0,8550*B) - (1,1786*t) - (6,0893*pH_1)$	10,67**	0,72	c
	60-80	$39,3826 - (5,5646*pH_1) - (1,5753*pH_2) - (0,018*ALK_{ETSE})$	13,50**	0,77	a,b
	80-100	$39,0147 - (1,1583*t) - (7,1966*pH_1)$	10,25**	0,61	b,c
C2	0-10	$8,7145 + (0,1755*B) - (0,0697*T_{min}) - (0,4297*pH_1) + (0,3520*pH_2) - (1,2274*pH_3) + (0,0196*ALK_{ETSE})$	6,39**	0,81	b
	10-20	$1,6489 + (0,1574*B) - (0,2627*pH_3)$	4,64**	0,41	a,c
	20-40	$14,2867 - (1,9387*t) - (4,2212*pH_1) + (2,0369*pH_3)$	9,16**	0,69	c
	40-60	$-31,2272 + (0,64492*B) + (1,6532*T_{max}) - (2,6187*pH_3)$	15,28**	0,79	a,c
	60-80	$39,3803 + (0,9086*B) - (6,2672*T_{min}) + (2,5152*T_{max}) + (0,0258*P_p) - (4,7215*pH_2) + (1,1120*pH_3)$	4,28*	0,74	b
	80-100	$10,3255 + (0,6444*B) + (0,0028*P_p) - (1,5986*pH_3)$	2,31 ^{NS}	0,36	b
C3	0-10	$6,6004 + (0,3590*B) + (0,1926*T_{max}) - (5,2156*pH_1) + (2,0645*pH_3)$	13,75**	0,83	c
	10-20	$6,7782 - (0,4264*pH_2) - (0,5037*pH_3)$	23,31**	0,78	a,b,c
	20-40	$43,3616 + (0,6092*B) - (1,4611*t) + (0,4089*T_{min}) - (0,9207*T_{max}) - (3,8530*pH_1)$	18,31**	0,90	b
	40-60	$23,2454 - (2,5619*pH_2) - (0,0388*ALK_{ETSE})$	17,32**	0,72	c
	60-80	$60,5636 + (0,7184*B) - (0,1861*t) - (0,6487*T_{max}) - (5,5123*pH_1) - (2,5170*pH_2)$	2,60 ^{NS}	0,56	b
	80-100	$8,8721 + (0,7745*B) - (0,7338*pH_3)$	8,80**	0,57	a,b,c
C4	0-10	$4,4349 - (0,0856*B) - (0,4988*t) - (0,7579*pH_1) + (0,5264*pH_2) - (0,3877*pH_3) + (0,0140*ALK_{ETSE})$	20,70**	0,93	b
	10-20	$1,1592 + (0,0979*B) + (0,2686*T_{min}) - (0,7939*pH_3)$	19,55**	0,83	b
	20-40	$23,6350 - (0,0698*t) + (0,0069*P_p) - (3,3005*pH_1) - (1,6505*pH_3)$	12,91**	0,82	b
	40-60	$-31,3109 - (1,2363*B) + (0,9133*T_{min}) + (6,6017*pH_1) - (0,0325*ALK_{ETSE})$	4,81**	0,63	b,c
	60-80	$20,3881 - (1,4490*t) - (2,9403*pH_1) + (0,0228*ALK_{ETSE})$	10,95**	0,73	a,b,c
	80-100	$14,4306 - (1,7038*pH_2)$	7,41*	0,34	a,c
C5	0-10	$11,2303 + (0,3620*t) - (0,6013*T_{min}) + (0,2296*T_{max}) - (1,2820*pH_2)$	9,11**	0,82	c
	10-20	$6,3923 - (0,6839*pH_1) - (0,4196*pH_3) + (0,0045*ALK_{ETSE})$	7,53**	0,65	a
	20-40	$44,9655 + (0,3974*B) - (1,3999*T_{min}) - (3,1872*pH_2)$	17,12**	0,81	c
	40-60	$46,9702 + (0,4173*B) - (2,1088*t) - (0,4907*T_{min}) - (9,0109*pH_1) + (1,69155*pH_3)$	3,26 ^{NS}	0,62	b
	60-80	$23,3550 - (3,6429*pH_2)$	11,33**	0,44	a,b
	80-100	$9,6500 - (1,3175*t)$	14,29**	0,50	a,c

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01. *: P < 0,05. ^{NS}: não significativo.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

3.3 MODELAGEM DAS BASES TROCÁVEIS

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo em 13,33; 20,00; 23,33; 6,67; 3,00; 13,33; 20,00%, dos 30 modelos de Ca no solo (Tabela 11). No *C1*, as variáveis B, T_{\min} , Ca_{ETSE} , Ca_{pl} explicaram as concentrações de Ca na camada de 0-10 cm; as variáveis pH_1 , Ca_{ETSE} , Ca_{pl} na camada de 10-20 cm; as variáveis T_{\min} e T_{\max} na camada de 20-40 cm; as variáveis B, T_{\max} , pH_3 e Ca_{pl} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, T_{\min} , pH_3 e Ca_{pl} na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{\min} e Ca_{pl} na camada de 80-100 cm (Tabela 11). No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Ca foram explicadas pelas variáveis t e Ca_{ETSE} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis T_{\max} , pH_1 e pH_2 ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis pH_1 , pH_2 , pH_3 e ALK_{ETSE} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, T_{\min} , T_{\max} e pH_1 ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{\max} e pH_3 ; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, T_{\max} , Pp, pH_1 e pH_2 (Tabela 11). No *C3*, as variáveis T_{\min} e pH_1 explicaram as concentrações de Ca na camada de 0-10 cm; as variáveis B e T_{\min} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{\max} , pH_1 e Ca_{pl} na camada de 20-40 cm; as variáveis B, T_{\max} e pH_2 na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{\max} , Pp, pH_1 , pH_2 e pH_3 na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{\max} , Pp, pH_1 , pH_2 , pH_3 , Ca_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 80-100 cm (Tabela 11). No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Ca foram explicadas pelas variáveis B, T_{\max} , pH_1 e ALK_{ETSE} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, T_{\max} , pH_1 e pH_2 ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{\max} e pH_1 ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B e T_{\min} ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, t, Pp e Ca_{pl} ; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis pH_2 , Ca_{ETSE} , Ca_{pl} e ALK_{ETSE} (Tabela 11). No *C5*, as variáveis B, T_{\min} , T_{\max} e pH_1 explicaram as concentrações de Ca na camada de 0-10 cm; as variáveis B, T_{\min} , Pp, pH_1 e pH_3 na camada de 10-20 cm; as variáveis T_{\max} , pH_3 e Ca_{pl} na camada de 20-40 cm; as variáveis T_{\min} , pH_1 e pH_2 na camada de 40-60 cm; as variáveis t, pH_1 e Ca_{ETSE} na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, t, pH_1 e Ca_{ETSE} na camada de 80-100 cm (Tabela 11).

Os modelos para Ca no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de Ca foram Ca_{pl} , B e T_{\min} pois estavam presentes em 83,33; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 11). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis T_{\max} , pH_1 , pH_2 e B como as mais importantes, pois estavam presentes em 66,67; 66,67; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 11). Nos modelos do *C3*, as variáveis pH_1 , B, T_{\max} e pH_2 foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 11).

Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis B , T_{\max} e pH_1 , pois estavam presentes em 83,33; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 11).

Nos modelos do *C5*, as variáveis consideradas mais importantes foram pH_1 , B e T_{\min} , pois estavam presentes em 83,33; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 11).

Normalmente, o aumento dos teores de Ca trocável se relacionaram positivamente com o aporte de Ca do ETSE, pH do meio e negativamente com o Ca acumulado nas plantas. Isso demonstrou a capacidade do ETSE aumentar Ca no solo, mesmo em situação de alta extração e exportação deste nutriente pelas plantas. Portanto, as plantas, em sistema de uso de efluentes na irrigação das culturas tem papel fundamental, regulando a quantidade de nutrientes que persistem no meio (SCHERER, et. al., 2007). O aumento de pH até pH 6,5-7,0 proporciona aumento da disponibilidade de Ca (e também de Mg), conforme relatado em Malavolta (2006). A aplicação de ETSE ocasionou aumento de pH dentro da faixa que resulta em aumento da disponibilidade de Ca (e também, de Mg). Outro fator importante e que influenciou a quantidade de Ca no meio foi o B , evidenciando a importância do design experimental adotado para minimizar os efeitos do gradiente de Ca na toposequência sobre os tratamentos estudados. Normalmente os teores de Ca foram maiores nos blocos situados mais a jusante (da FONSECA et. al., 2007a; FERREIRA, C. A., 2008).

Tabela 11 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para cálcio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$-15,2531 + (0,2834*B) - (1,3488*T_{\min}) - (7,4765*Ca_{ETSE}) + (0,0530*Ca_{pl})$	19,61**	0,87	c
	10-20	$24,5752 - (3,4485*pH_1) - (4,6346*Ca_{ETSE}) + (0,0545*Ca_{pl})$	4,02*	0,50	c
	20-40	$0,1196 - (0,2482*T_{\min}) - (0,3998*T_{\max})$	0,82**	0,11	b
	40-60	$-27,1240 + (0,3411*B) - (0,9944*T_{\max}) + (0,9944*pH_3) - (0,0198*Ca_{pl})$	10,81**	0,79	a,b
	60-80	$-10,1856 + (0,5738*B) - (0,9018*T_{\min}) - (0,9003*pH_3) + (0,0469*Ca_{pl})$	22,76**	0,89	c
	80-100	$5,7279 + (0,2130*B) - (0,2327*T_{\min}) + (0,0233*Ca_{pl})$	3,58*	0,47	b
C2	0-10	$11,3685 - (4,3509*t) + (3,6218*Ca_{ETSE})$	8,23**	0,55	c
	10-20	$-14,6931 - (0,7778*T_{\max}) + (2,5886*pH_1) - (1,7636*pH_2)$	8,05**	0,66	a,c
	20-40	$2,6362 + (1,7990*pH_1) - (3,4106*pH_2) + (3,1182*pH_3) - (0,0285*ALK_{ETSE})$	6,90**	0,71	b
	40-60	$-32,0067 - (0,2162*B) - (0,4467*T_{\min}) - (0,5067*T_{\max}) + (3,9134*pH_1)$	7,20**	0,72	b
	60-80	$-11,1096 - (0,6214*B) - (0,4664*T_{\max}) + (0,9349*pH_3)$	6,40**	0,61	a,b
	80-100	$-29,0926 - (0,1771*B) - (0,6035*T_{\max}) - (0,0010*P_p) + (1,1147*pH_1) + (2,4318*pH_2)$	9,22**	0,82	b
C3	0-10	$-45,2759 - (1,5420*T_{\min}) + (5,7985*pH_1)$	18,71**	0,74	c
	10-20	$-4,4922 + (0,7690*B) - (0,6244*T_{\min})$	4,47**	0,40	a,b
	20-40	$-22,8800 + (0,2887*B) - (0,5020*T_{\max}) + (3,1817*pH_1) - (0,01386*Ca_{pl})$	9,38**	0,77	a
	40-60	$-11,2754 + (0,2226*B) - (0,4426*T_{\max}) + (0,4700*pH_2)$	2,30 ^{NS}	0,36	b
	60-80	$-37,5199 - (0,8702*T_{\max}) + (0,0020*P_p) + (2,6782*pH_1) + (1,3918*pH_2) - (0,6001*pH_3)$	4,24*	0,67	c
	80-100	$-15,6697 - (0,1208*B) - (0,6322*T_{\max}) + (0,0122*P_p) - (1,9273*pH_1) + (1,3314*pH_2) - (1,0316*pH_3) + (0,0519*Ca_{pl}) - (0,0717*ALK_{ETSE})$	4,22*	0,82	b
C4	0-10	$-31,9247 + (0,1873*B) - (1,0712*T_{\max}) + (1,1421*pH_1) + (0,0482*ALK_{ETSE})$	28,41**	0,91	b
	10-20	$-17,8172 + (0,4288*B) - (0,5391*T_{\max}) + (3,8006*pH_1) - (1,5941*pH_2)$	6,20**	0,69	b
	20-40	$-28,7023 + (0,4332*B) - (0,9092*T_{\max}) + (1,5250*pH_1)$	10,41**	0,72	a,b
	40-60	$-10,7848 + (0,5365*B) - (0,8317*T_{\min})$	20,78**	0,76	a,b
	60-80	$-0,2307 + (0,6320*B) - (1,0792*t) + (0,0035*P_p) + (0,0447*Ca_{pl})$	13,24**	0,82	c
	80-100	$-8,0044 + (1,6668*pH_2) - (1,3409*Ca_{ETSE}) + (0,0348*Ca_{pl}) + (0,0658*ALK_{ETSE})$	5,98**	0,68	c
C5	0-10	$-43,3459 + (0,3648*B) - (1,3344*T_{\min}) - (0,7225*T_{\max}) + (1,7045*pH_1)$	23,88**	0,89	b
	10-20	$6,6747 + (0,3533*B) - (0,3959*T_{\min}) - (0,0052*P_p) - (1,2993*pH_1) + (0,72952*pH_3)$	1,13 ^{NS}	0,36	b
	20-40	$-20,0346 - (0,7035*T_{\max}) + (1,3696*pH_3) - (0,0238*Ca_{pl})$	3,99*	0,49	c
	40-60	$-12,3100 - (0,2993*T_{\min}) + (3,7280*pH_1) - (0,5174*pH_2)$	1,14 ^{NS}	0,22	b
	60-80	$-36,7183 - (3,7789*t) + (10,1008*pH_1) + (2,2553*Ca_{ETSE})$	2,87 ^{NS}	0,41	c
	80-100	$-10,3562 - (0,1750*B) - (0,2266*t) + (3,2113*pH_1) + (0,4008*Ca_{ETSE})$	1,89 ^{NS}	0,40	b

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. Ca_{pl}: cálcio (kg ha⁻¹) extraído pela planta. Ca_{ETSE}: cálcio (mg L⁻¹) total presente no ETSE. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01. *: P < 0,05. NS: não significativo.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, sofrível e ruim em 33,33; 30,00; 30,00; 3,00; 3,00%, dos 30 modelos de Mg no solo (Tabela 12). No *C1*, as variáveis t, Pp, pH₂ e Mg_{pl} explicaram as concentrações de Mg na camada de 0-10 cm; as variáveis t e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{max}, Mg_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis t, T_{max} e pH₃ na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{max}, pH₂ e Mg_{pl} na camada de 60-80 cm; e as variáveis t, T_{max}, pH₁, pH₂ e Mg_{pl} na camada de 80-100 cm (Tabela 12).

No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Mg foram explicadas pelas variáveis T_{min}, pH₂, pH₃ e Mg_{ETSE}; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, t, pH₁, pH₂ e pH₃; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{max}, Pp, pH₁, pH₂, pH₃, Mg_{pl} e ALK_{ETSE}; na camada de 40-60 cm pelas variáveis T_{max}, pH₁ e pH₃; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{min}, Pp, pH₁, pH₃ e ALK_{ETSE}; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, t e T_{max} (Tabela 12).

No *C3*, as variáveis B, t, T_{min}, Pp, pH₁ e pH₂ explicaram as concentrações de Mg na camada de 0-10 cm; as variáveis B, pH₂ e pH₃ na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, T_{max} e pH₃ na camada de 20-40 cm; as variáveis B, Pp e pH₂ na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{min}, T_{max}, pH₁, pH₂ e Mg_{pl} na camada de 60-80 cm; e as variáveis T_{max}, pH₃ e Mg_{pl} na camada de 80-100 cm (Tabela 12). No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de Mg foram explicadas pelas variáveis B, T_{min}, T_{max} e Pp; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, Pp, pH₁ e pH₂; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{max}, pH₁ e pH₂; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, t, Pp, pH₂ e Mg_{pl}; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, t e T_{max}; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis T_{min} e pH₁ (Tabela 12). No *C5*, as variáveis t, Pp, pH₃ e Mg_{pl} explicaram as concentrações de Mg na camada de 0-10 cm; as variáveis pH₂, Mg_{ETSE} e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis Mg_{ETSE}, Mg_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis B, T_{min}, pH₁, pH₃, Mg_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis t, T_{max}, pH₁, pH₂ e pH₃ na camada de 60-80 cm; e as variáveis t, T_{max} e pH₁ na camada de 80-100 cm (Tabela 12).

Os modelos para Mg no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de Mg foram t, Mg_{pl}, T_{max} e pH₂ pois estavam presentes em 66,67; 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 12). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis pH₃, pH₁, B, pH₂ e T_{max} como as mais importantes, pois estavam presentes em 83,33; 66,67; 66,67; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 12). Nos modelos do *C3*, as variáveis B, pH₂, pH₃ e T_{max} foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 66,67; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 12). Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis B, T_{max}, Pp, pH₁ e pH₂, pois estavam presentes em 83,33; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 12). Nos modelos do *C5*, as variáveis consideradas mais importantes foram t, pH₃, Mg_{pl}, ALK_{ETSE}, pH₁, pois estavam presentes em 50,00;

50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 12). O Mg no solo, de modo similar ao Ca, normalmente teve sua concentração aumentada devido ao aporte deste elemento pela irrigação com ETSE, incremento do pH do meio e influência da posição na topossequência (aumentado com a diminuição de cota), e ainda, relação inversa com o Mg acumulado pelas plantas. As justificativas para esses fatos são as mesmas já discutidas para o nutriente Ca.

Tabela 12 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para magnésio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$9,3130 - (0,9698*t) + (0,0029*P_p) + (1,5633*pH_2) - (0,1298*Mg_{pl})$	67,69**	0,96	a,b
	10-20	$9,3823 - (3,8935*t) + (0,0645*ALK_{ETSE})$	48,77**	0,88	a,c
	20-40	$-22,4303 - (0,5069*B) - (0,9458*T_{max}) + (0,0903*Mg_{pl}) - (0,0178*ALK_{ETSE})$	14,21**	0,83	b
	40-60	$-16,8922 - (0,9495*t) - (0,5743*T_{max}) + (1,0690*pH_3)$	8,07**	0,66	a,c
	60-80	$-21,6781 - (0,8430*T_{max}) + (0,6065*pH_2) - (0,0736*Mg_{pl})$	7,18**	0,64	b
	80-100	$-27,4182 - (0,7291*t) - (0,9479*T_{max}) - (1,8169*pH_1) + (3,0258*pH_2) - (0,0937*Mg_{pl})$	3,53**	0,63	c
C2	0-10	$-42,3574 - (1,6231*T_{min}) + (1,1344*pH_2) + (2,2532*pH_3) - (4,8322*Mg_{ETSE})$	3,08**	0,52	b
	10-20	$20,2403 - (0,7138*B) - (0,9989*t) - (2,1531*pH_1) + (1,3334*pH_2) + (1,3943*pH_3)$	8,74**	0,81	c
	20-40	$-50,7234 + (0,3808*B) - (1,6137*T_{max}) - (0,0049*P_p) + (5,8590*pH_1) + (0,9846*pH_2) + (1,7327*pH_3) - (0,3117*Mg_{pl}) + (0,1199*ALK_{ETSE})$	11,20**	0,92	b
	40-60	$-29,6328 - (0,7678*T_{max}) + (1,9453*pH_1) + (0,6674*pH_3)$	11,95**	0,74	a,c
	60-80	$-12,7799 - (0,4041*B) - (0,6336*T_{min}) + (0,0034*P_p) + (3,4974*pH_1) + (2,1703*pH_3) + (0,0245*ALK_{ETSE})$	3,53*	0,70	b,c
	80-100	$-12,4311 - (0,5217*B) - (0,2103*t) - (0,6281*T_{max})$	13,90**	0,77	a,b
C3	0-10	$-12,8596 + (0,2784*B) - (1,1977*t) - (0,3117*T_{min}) + (0,3118*P_p) + (4,2459*pH_1) - (1,4473*pH_2)$	47,42**	0,96	a,c
	10-20	$12,3251 + (0,2926*B) + (0,9111*pH_2) + (0,3825*pH_3)$	17,18**	0,81	a
	20-40	$-7,9912 + (0,2232*B) - (0,7676*t) - (0,3680*T_{max}) + (0,4664*pH_3)$	15,46**	0,84	a
	40-60	$9,2172 + (0,1094*B) + (0,0009*P_p) + (1,3139*pH_2)$	9,69**	0,70	b
	60-80	$-71,8319 - (0,2896*T_{min}) - (1,4423*T_{max}) + (4,9432*pH_1) + (2,0140*pH_2) - (0,0907*Mg_{pl})$	13,21**	0,86	c
	80-100	$-14,4904 - (0,5952*T_{max}) + (0,3514*pH_3) - (0,0650*Mg_{pl})$	11,78**	0,74	c
C4	0-10	$-4,6770 + (0,1145*B) - (2,1708*T_{min}) - (0,8213*T_{max}) - (0,0088*P_p)$	15,42**	0,84	b
	10-20	$12,5859 + (0,3338*B) - (0,0007*P_p) + (0,5495*pH_1) + (1,8655*pH_2)$	44,47**	0,94	b
	20-40	$0,1405 + (0,1110*B) - (0,1611*T_{max}) + (1,3853*pH_1) + (1,3170*pH_2)$	13,87**	0,83	b
	40-60	$5,3516 + (0,3441*B) - (0,7862*t) + (0,0026*P_p) + (0,9629*pH_2) + (0,0613*Mg_{pl})$	12,59**	0,86	c
	60-80	$-8,1211 + (0,3275*B) - (0,3344*t) - (0,3977*T_{max})$	13,31**	0,76	c
	80-100	$-18,4243 - (0,4234*T_{min}) + (3,5006*pH_1)$	4,77**	0,42	a
C5	0-10	$-11,1414 - (3,6549*t) + (0,0049*P_p) + (1,9179*pH_3) + (0,1580*Mg_{pl})$	20,41**	0,88	c
	10-20	$-17,5303 + (3,4484*pH_2) - (18,0534*Mg_{ETSE}) + (0,2280*ALK_{ETSE})$	22,73**	0,85	a
	20-40	$2,0808 - (6,3794*Mg_{ETSE}) + (0,0724*Mg_{pl}) + (0,0632*ALK_{ETSE})$	8,41**	0,67	c
	40-60	$-41,1292 - (0,3117*B) - (1,5423*T_{min}) + (5,4546*pH_1) + (0,8124*pH_3) + (0,0619*Mg_{pl}) - (0,0323*ALK_{ETSE})$	23,27**	0,93	c
	60-80	$-23,3529 - (0,3052*t) - (0,4663*T_{max}) + (3,5706*pH_1) + (0,6243*pH_2) + (0,3832*pH_3)$	13,41**	0,87	b
	80-100	$-23,2336 - (0,2362*t) - (0,6013*T_{max}) + (2,3418*pH_1)$	9,38**	0,70	a

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. Mg_{pl}: magnésio (kg ha⁻¹) extraído pela planta. Mg_{ETSE}: magnésio (mg L⁻¹) total presente no ETSE. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo em 30,00; 20,00; 6,67; 10,00; 13,33; 10,00; 10,00%, dos 30 modelos de K no solo (Tabela 13). No *C1*, as variáveis B, T_{\min} , T_{\max} , Pp, pH₁, pH₃ e K_{pl} explicaram as concentrações de K na camada de 0-10 cm; as variáveis B e pH₂ na camada de 10-20 cm; as variáveis B, pH₁ e pH₂ na camada de 20-40 cm; as variáveis t, T_{\max} e K_{pl} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, T_{\max} , pH₂ e pH₃ na camada de 60-80 cm; e as variáveis t, pH₂ e ALK_{ETSE} na camada de 80-100 cm (Tabela 13). No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de K foram explicadas pelas variáveis B, T_{\min} , T_{\max} e pH₂; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, t, T_{\min} , pH₂, pH₃, K_{ETSE} e K_{pl} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{\max} , pH₂, pH₃, K_{ETSE} e K_{pl} ; na camada de 40-60 cm pela variável pH₃; na camada de 60-80 cm pelas variáveis T_{\min} , pH₃, K_{ETSE} e K_{pl} ; e na camada de 80-100 cm pela variável ALK_{ETSE} (Tabela 13). No *C3*, as variáveis pH₁, pH₂, K_{ETSE} e K_{pl} explicaram as concentrações de K na camada de 0-10 cm; as variáveis B, Pp, pH₁ e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{\min} , K_{ETSE} e K_{pl} na camada de 20-40 cm; as variáveis T_{\min} , K_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, T_{\min} , T_{\max} , pH₂, pH₃, K_{ETSE} e K_{pl} na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{\max} , pH₁ e pH₂ na camada de 80-100 cm (Tabela 13). No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de K foram explicadas pelas variáveis B, t e K_{pl} ; na camada de 10-20 cm pela variável ALK_{ETSE} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, T_{\min} , T_{\max} , Pp, pH₁, pH₂ e pH₃; na camada de 40-60 cm pelas variáveis T_{\min} e T_{\max} ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{\min} , pH₁, pH₂ e pH₃; e na camada de 80-100 cm pela variável T_{\max} (Tabela 13). No *C5*, as variáveis t, T_{\min} , T_{\max} , pH₃ e K_{pl} explicaram as concentrações de K na camada de 0-10 cm; a variável pH₂ na camada de 10-20 cm; as variáveis T_{\min} , Pp e ALK_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis t, T_{\min} , T_{\max} , pH₂ e pH₃ na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{\min} e pH₁ na camada de 60-80 cm; e as variáveis T_{\min} , pH₃, K_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 80-100 cm (Tabela 13).

Os modelos para K no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de K foram B, pH₂ e T_{\max} pois estavam presentes em 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 13). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis pH₃, K_{ETSE} , K_{pl} , pH₂, T_{\min} e B como as mais importantes, pois estavam presentes em 66,67; 50,00; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 13). Nos modelos do *C3*, as variáveis K_{pl} , B, T_{\min} , pH₁, pH₂ e K_{ETSE} , foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 66,67; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 13). Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis B e T_{\min} , pois estavam presentes em 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 13). Nos modelos do *C5*, as variáveis consideradas mais importantes foram T_{\min} e pH₃, pois

estavam presentes em 83,33 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 13). Esses resultados evidenciam a elevada dinâmica do K em solo tropical de baixa CTC. Portanto, a posição do solo na topossequência, as plantas, a disponibilidade e quantidade de irrigação com efluente favorecem a variabilidade deste elemento no solo, podendo ser absorvido pelas plantas. Maior absorção, acúmulo e exportação de K pelas plantas resultam em correlações negativas com o K disponível no solo. Além do mais, o aporte de K pela irrigação com ETSE não foi o suficiente para aumentar o teor deste nutriente em todos os cenários e camadas estudadas, devido à alta extração deste nutriente pelas plantas e baixo teor naturalmente disponível de K em solo tropical de baixa CTC.

Tabela 13 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para potássio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$5,5429 - (0,0624*B) - (0,9714*T_{\min}) - (0,5979*T_{\max}) - (0,0036*P_p) + (0,7350*pH_1) + (0,8610*pH_3) + (0,0069*K_{pl})$	39,99**	0,97	b
	10-20	$0,8653 + (0,0234*B) + (0,0865*pH_2)$	6,16*	0,48	a
	20-40	$0,6230 + (0,0205*B) + (0,0765*pH_1) - (0,1047*pH_2)$	4,91*	0,55	b
	40-60	$-1,8179 - (0,0289*t) - (0,0872*T_{\max}) - (0,0009*K_{pl})$	15,64**	0,79	a
	60-80	$-1,3329 + (0,0286*B) - (0,0681*T_{\max}) + (0,1182*pH_2) + (0,0503*pH_3)$	10,62**	0,79	c
	80-100	$-1,0466 - (0,9383*t) + (0,4005*pH_2) + (0,0179*ALK_{ETSE})$	14,60**	0,78	c
C2	0-10	$14,5406 - (0,2795*B) - (1,2652*T_{\min}) - (0,4913*T_{\max}) + (0,4615*pH_2)$	31,11**	0,91	c
	10-20	$10,1793 - (0,1167*B) + (1,3627*t) - (0,4324*T_{\min}) + (0,2509*pH_2) + (0,1194*pH_3) - (0,3499*K_{ETSE}) + (0,0041*K_{pl})$	36,32**	0,96	b
	20-40	$-5,6131 - (0,0883*B) - (0,2084*T_{\max}) + (0,1389*pH_2) + (0,1974*pH_3) + (0,0766*K_{ETSE}) + (0,0024*K_{pl})$	56,13**	0,97	c
	40-60	$-0,4403 + (0,1802*pH_3)$	26,26**	0,65	a,b,c
	60-80	$0,5818 - (0,0685*T_{\min}) + (0,1683*pH_3) - (0,0662*K_{ETSE}) + (0,0026*K_{pl})$	5,21*	0,65	a,b
	80-100	$0,3327 + (0,0019*ALK_{ETSE})$	14,51**	0,50	a
C3	0-10	$-1,0844 + (1,3944*pH_1) + (0,5596*pH_2) - (0,3261*K_{ETSE}) + (0,0075*K_{pl})$	23,25**	0,89	c
	10-20	$-3,1554 - (0,0365*B) + (0,0004*P_p) + (0,8980*pH_1) - (0,0052*ALK_{ETSE})$	6,40**	0,69	b
	20-40	$-2,3082 + (0,0450*B) - (0,1414*T_{\min}) - (0,0469*K_{ETSE}) + (0,0022*K_{pl})$	12,37**	0,81	c
	40-60	$-3,0817 - (0,2014*T_{\min}) + (0,0019*K_{pl}) - (0,0076*ALK_{ETSE})$	15,43**	0,79	c
	60-80	$-0,3797 + (0,0164*B) - (0,1288*T_{\min}) - (0,0313*T_{\max}) + (0,0791*pH_2) + (0,0737*pH_3) - (0,0452*K_{ETSE}) + (0,0018*K_{pl})$	8,51**	0,88	b
	80-100	$-2,9605 + (0,0592*B) - (0,0835*T_{\max}) + (0,4727*pH_1) + (0,2023*pH_2)$	4,68*	0,62	b
C4	0-10	$2,3910 - (0,0864*B) - (0,5223*t) + (0,0026*K_{pl})$	59,53**	0,93	c
	10-20	$0,7956 - (0,0013*ALK_{ETSE})$	1,18 ^{NS}	0,07	b
	20-40	$6,8628 - (0,0182*B) - (0,8612*T_{\min}) - (0,6204*T_{\max}) - (0,0050*P_p) + (0,0314*pH_1) + (0,1842*pH_2) + (0,2260*pH_3)$	1,76**	0,60	b
	40-60	$-1,3790 - (0,0467*T_{\min}) - (0,0336*T_{\max})$	6,20*	0,48	b
	60-80	$-2,8602 - (0,0608*B) - (0,0947*T_{\min}) + (0,3929*pH_1) + (0,0804*pH_2) + (0,0532*pH_3)$	2,78 ^{NS}	0,58	b
	80-100	$-1,3107 - (0,060*T_{\max})$	2,87 ^{NS}	0,16	a
C5	0-10	$5,3843 - (0,7759*t) - (0,3577*T_{\min}) - (0,3867*T_{\max}) + (0,3281*pH_3) + (0,0023*K_{pl})$	125,62**	0,98	b
	10-20	$1,2801 + (0,1173*pH_2)$	3,37 ^{NS}	0,19	a
	20-40	$-1,6555 - (0,1349*T_{\min}) - (0,0002*P_p) - (0,0013*ALK_{ETSE})$	9,64**	0,70	b
	40-60	$-4,3751 - (0,2002*t) - (0,0683*T_{\min}) - (0,0648*T_{\max}) + (0,2151*pH_2) + (0,1888*pH_3)$	7,84**	0,79	c
	60-80	$-3,7432 - (0,0943*T_{\min}) + (0,5998*pH_1)$	7,04**	0,51	a
	80-100	$-2,7470 - (0,2084*T_{\min}) + (0,0845*pH_3) + (0,0008*K_{pl}) - (0,0033*ALK_{ETSE})$	23,11**	0,89	c

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. K_{pl}: potássio (kg ha⁻¹) extraído pela planta. K_{ETSE}: potássio (mg L⁻¹) total presente no ETSE. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01. *: P < 0,05. NS: não significativo.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

Os modelos de RLM para Na no solo implicaram em $P < 0,01$ e $R^2 \geq 0,78$, para todos os cenários e camadas estudadas (Tabela 14). No *C1*, as variáveis B, T_{\max} e Na_{ETSE} explicaram as concentrações de Na na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, T_{\max} , pH_1 , pH_2 , Na_{ETSE} e Na_{pl} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, T_{\min} , T_{\max} , pH_1 , pH_2 , pH_3 e Na_{pl} na camada de 20-40 cm; as variáveis B, t, T_{\min} , T_{\max} e pH_2 na camada de 40-60 cm; as variáveis B, t, T_{\max} , pH_2 , pH_3 , Na_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 60-80 cm; as variáveis B, t, T_{\min} , T_{\max} , pH_1 e pH_2 na camada de 80-100 cm. No *C2*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de Na foram explicadas pelas variáveis B, T_{\min} , pH_2 e Na_{pl} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis Pp, pH_1 , Na_{ETSE} e Na_{pl} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis T_{\min} , pH_1 , pH_3 e Na_{pl} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis T_{\max} , Na_{pl} e ALK_{ETSE} ; na camada de 60-80 cm as pelas variáveis B, t, pH_2 , Na_{ETSE} e Na_{pl} ; na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, t, pH_2 , Na_{pl} e ALK_{ETSE} . No *C3*, as variáveis Na explicaram as concentrações de B, pH_1 , Na_{ETSE} e ALK_{ETSE} na camada de 0-10 cm; as variáveis T_{\min} , Pp e Na_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, T_{\max} , pH_1 , Na_{ETSE} e Na_{pl} na camada de 20-40 cm; as variáveis t, pH_1 , pH_2 , pH_3 , Na_{ETSE} , Na_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis pH_2 , Na_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 60-80 cm; as variáveis B, T_{\max} , Pp, pH_1 , pH_2 , Na_{ETSE} e Na_{pl} na camada de 80-100 cm. No *C4*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de Na foram explicadas pelas variáveis pH_1 , pH_2 e Na_{pl} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis t, T_{\max} e pH_1 ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis pH_1 , Na_{ETSE} e Na_{pl} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t, pH_1 , pH_2 , pH_3 , Na_{ETSE} , Na_{pl} e ALK_{ETSE} ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis t, T_{\min} e Na_{pl} ; na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, pH_1 , pH_2 , Na_{pl} e ALK_{ETSE} . No *C5*, as variáveis B, T_{\max} , pH_1 e Na_{ETSE} explicaram as concentrações de Na na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t e T_{\max} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, Pp, pH_1 e Na_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis B, t, pH_1 , pH_3 e Na_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis T_{\min} , pH_1 , pH_2 , Na_{pl} e ALK_{ETSE} na camada de 60-80 cm; as variáveis B, Na_{ETSE} e Na_{pl} na camada de 80-100 cm.

Os modelos para Na no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de Na foram B, T_{\max} , t, pH_2 , pH_1 , Na_{pl} e T_{\min} pois estavam presentes em 100,00; 100,00; 83,33; 83,33; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 14). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis Na_{pl} , pH_2 e B como as mais importantes, pois estavam presentes em 100,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 14). Nos modelos do *C3*, as variáveis Na_{ETSE} , Na_{pl} , pH_1 , B, ALK_{ETSE} e pH_2 , foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 83,33; 66,67; 66,67; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 14). Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis pH_1 , Na_{pl} , t e pH_2 , pois estavam presentes em 83,33; 83,33; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 14). Nos modelos do *C5*, as variáveis consideradas mais

importantes foram B, pH_1 e Na_{ETSE} , pois estavam presentes em 83,33; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 14). A correlação positiva entre pH e Na trocável é devido ao fato deste elemento ter sua disponibilidade aumentada com a menor acidez do meio (Raij, 2011). O efeito da posição da topossência, à exemplo do Ca e Mg, também foi importante para o elemento Na. O aporte de Na pela irrigação com ETSE foi o grande responsável pelo incremento deste elemento no solo. Ainda, mesmo o capim sendo considerada uma planta que absorve e transloca elevadas quantidades de Na (GRATTAN, et. al., 2004), esta cultura não foi suficientemente capaz para extrair a maior parte do Na que entrou no sistema pela irrigação com ETSE, devido à elevada razão de adsorção de sódio (RAS) desta água residuária. O efeito da temperatura este mais associado indiretamente à quantidade de irrigação. Em situação de maiores temperaturas, a evapotranspiração e irrigação foram maiores, implicando indiretamente em aporte de Na_{ETSE} , que resultou em aumento de Na trocável.

Tabela 14 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para sódio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$-16,6336 + (0,3637*B) + (0,5695*T_{max}) + (0,0741*Na_{ETSE})$	54,94**	0,93	a,b
	10-20	$-43,0311 + (0,6661*B) - (1,7036*t) + (0,8535*T_{max}) + (1,5714*pH_1) + (1,7305*pH_2) + (0,1179*Na_{ETSE}) + (0,0007*Na_{pi})$	20,59**	0,96	b
	20-40	$3,8046 + (0,1839*B) + (4,5076*t) - (1,5711*T_{min}) + (0,9845*T_{max}) + (2,0080*pH_1) - (1,8454*pH_2) - (1,3952*pH_3) - (0,1036*Na_{pi})$	127,94**	0,99	b,c
	40-60	$-6,8712 + (0,2431*B) + (1,5754*t) - (0,3038*T_{min}) + (0,4217*T_{max}) - (0,3934*pH_2)$	36,76**	0,94	b
	60-80	$-7,0779 + (0,1763*B) + (2,3483*t) + (0,2130*T_{max}) - (0,7146*pH_2) + (0,6013*pH_3) - (0,0416*Na_{pi}) - (0,0212*ALK_{ETSE})$	176,04**	0,99	b
	80-100	$9,6901 + (0,1462*B) + (1,1465*t) + (0,1978*T_{min}) - (0,4225*T_{max}) + (0,9046*pH_1) - (1,2678*pH_2)$	83,05**	0,98	c
C2	0-10	$27,1856 + (0,1850*B) - (1,0243*T_{min}) - (1,3824*pH_2) + (0,1020*Na_{pi})$	21,12**	0,88	b
	10-20	$6,8853 - (0,0062*P_p) - (0,4940*pH_1) + (0,0269*Na_{ETSE}) + (0,0826*Na_{pi})$	128,59**	0,97	a
	20-40	$16,2380 - (0,8932*T_{min}) - (1,4366*pH_1) + (1,1767*pH_3) + (0,0928*Na_{pi})$	87,66**	0,96	c
	40-60	$19,2447 - (0,5976*T_{max}) + (0,1928*Na_{pi}) - (0,0657*ALK_{ETSE})$	62,14**	0,93	c
	60-80	$-6,0227 + (0,1247*B) - (0,6344*t) + (1,1005*pH_2) + (0,0479*Na_{ETSE}) + (0,0157*Na_{pi})$	112,89**	0,98	b
	80-100	$-3,5025 + (0,0435*B) + (0,5643*t) + (0,5568*pH_2) + (0,0077*Na_{pi}) + (0,0058*ALK_{ETSE})$	171,01**	0,98	b
C3	0-10	$13,8428 + (0,7306*B) - (2,6786*pH_1) + (0,1376*Na_{ETSE}) - (0,0701*ALK_{ETSE})$	23,23**	0,89	b
	10-20	$-3,8960 + (0,4512*T_{min}) - (0,0067*P_p) + (0,0874*Na_{ETSE})$	285,05**	0,98	a
	20-40	$-20,8216 + (0,1599*B) + (0,4117*T_{max}) + (1,5138*pH_1) + (0,0647*Na_{ETSE}) + (0,0636*Na_{pi})$	114,14**	0,98	b
	40-60	$-16,6839 - (11,6512*t) + (0,6289*pH_1) + (3,6508*pH_2) + (0,8920*pH_3) + (0,5720*Na_{ETSE}) - (0,0657*Na_{pi}) - (0,1710*ALK_{ETSE})$	95,40**	0,98	b
	60-80	$-4,9558 + (0,8583*pH_2) + (0,0477*Na_{pi}) + (0,0101*ALK_{ETSE})$	453,68**	0,99	a
	80-100	$-0,5142 - (0,0584*B) - (0,1317*T_{max}) + (0,0005*P_p) - (0,8264*pH_1) + (1,6380*pH_2) - (0,0258*Na_{ETSE}) + (0,0657*Na_{pi})$	45,40**	0,97	b
C4	0-10	$-7,9211 + (2,7697*pH_1) - (0,6179*pH_2) + (0,0654*Na_{pi})$	30,18**	0,88	b
	10-20	$-39,9139 + (1,7385*t) + (1,0016*T_{max}) + (2,2611*pH_1)$	134,03**	0,97	c
	20-40	$-10,7291 + (2,2102*pH_1) + (0,0345*Na_{ETSE}) + (0,0649*Na_{pi})$	222,18**	0,98	a,b,c
	40-60	$-0,2369 - (5,7668*t) - (0,9578*pH_1) + (1,8968*pH_2) - (0,5067*pH_3) + (0,3637*Na_{ETSE}) - (0,0856*Na_{pi}) - (0,0969*ALK_{ETSE})$	176,31**	0,99	a
	60-80	$-6,2352 + (1,6392*t) + (0,2811*T_{min}) - (0,0224*Na_{pi})$	417,88**	0,99	c
	80-100	$-4,7467 - (0,0630*B) - (0,9710*pH_1) + (1,6475*pH_2) + (0,0146*Na_{pi}) + (0,0155*ALK_{ETSE})$	293,69**	0,99	c
C5	0-10	$-7,8569 + (0,2962*B) + (0,4935*T_{max}) - (1,49544*pH_1) + (0,0607*Na_{ETSE})$	41,82**	0,93	b
	10-20	$-36,9122 + (0,6177*B) + (2,1165*t) + (1,1783*T_{max})$	14,90**	0,78	c
	20-40	$13,2413 - (0,1668*B) - (0,0067*P_p) - (2,5007*pH_1) + (0,0863*Na_{ETSE})$	160,47**	0,98	a
	40-60	$-7,1205 + (0,1365*B) + (0,6816*t) + (1,8257*pH_1) - (0,5140*pH_3) + (0,0345*Na_{ETSE})$	62,95**	0,96	b
	60-80	$0,8731 - (0,7761*T_{min}) + (1,5503*pH_1) + (0,6506*pH_2) - (0,0175*Na_{pi}) + (0,0602*ALK_{ETSE})$	180,46**	0,98	c
	80-100	$-1,3259 + (0,1684*B) + (0,0385*Na_{ETSE}) - (0,0154*Na_{pi})$	87,93**	0,95	a

B: bloco. t: tempo (mês) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. Na_{pi}: sódio (kg ha⁻¹) extraído pela planta. Na_{ETSE}: sódio (mg L⁻¹) total presente no ETSE. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. **: P < 0,01.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

Os modelos de RLM para PST no solo implicaram em $P < 0,01$ e $R^2 \geq 0,87$, para todos os cenários e camadas estudadas (Tabela 15). No *C1*, as variáveis t , T_{\min} e T_{\max} explicaram as concentrações de PST na camada de 0-10 cm; as variáveis B , t , t_{\max} , pH_1 , pH_2 e ALK_{ETSE} na camada de 10-20 cm; as variáveis B , t , Pp e ALK_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis B , t e Pp na camada de 40-60 cm; as variáveis B , t , pH_2 , pH_3 e ALK_{ETSE} na camada de 60-80 cm; as variáveis T_{\max} , pH_1 , pH_3 e ALK_{ETSE} na camada de 80-100 cm. No *C2*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de PST foram explicadas pelas variáveis t , T_{\max} , pH_1 e pH_2 ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis t , T_{\min} e T_{\max} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B , t , T_{\max} , pH_1 , pH_2 e pH_3 ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t e T_{\max} ; na camada de 60-80 cm as pelas variáveis B , t , T_{\min} , Pp , pH_2 e pH_3 ; na camada de 80-100 cm pelas variáveis t , pH_2 e pH_3 . No *C3*, as variáveis t , T_{\max} e pH_3 explicaram as concentrações de PST na camada de 0-10 cm; as variáveis t , T_{\min} , T_{\max} e pH_2 na camada de 10-20 cm; as variáveis t , T_{\max} e pH_3 na camada de 20-40 cm; as variáveis B , t , pH_1 e pH_3 na camada de 40-60 cm; as variáveis B , t , pH_1 e pH_3 na camada de 60-80 cm; as variáveis B , t , T_{\max} , pH_2 e pH_3 na camada de 80-100 cm. No *C4*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de PST foram explicadas pelas variáveis t , T_{\max} e pH_1 ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis t , T_{\min} e T_{\max} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B , t , T_{\max} , pH_1 e pH_2 ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t , T_{\min} , pH_2 e pH_3 ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B , t , Pp , pH_1 , pH_2 , pH_3 e ALK_{ETSE} ; na camada de 80-100 cm pelas variáveis t , T_{\min} e pH_2 . No *C5*, as variáveis t , T_{\min} e T_{\max} explicaram as concentrações de PST na camada de 0-10 cm; as variáveis B , t , T_{\min} , T_{\max} e pH_1 na camada de 10-20 cm; as variáveis B , t , T_{\min} , T_{\max} e pH_1 na camada de 20-40 cm; as variáveis B e t na camada de 40-60 cm; as variáveis t , Pp , pH_1 e pH_2 na camada de 60-80 cm; as variáveis B , t , Pp e pH_2 na camada de 80-100 cm.

As variáveis t , T_{\max} , B e pH_2 foram consideradas como as mais importantes na explicação das concentrações de PST. Isso porque, dos 30 modelos de explicação das concentrações de PST no solo (Tabela 15), as variáveis t , T_{\max} , B e pH_2 estavam presentes em 96,67; 56,57; 50,00 e 46,67%, respectivamente.

Os modelos para PST no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do *C1*, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de PST foram t , B , ALK_{ETSE} e T_{\max} , pois estavam presentes em 83,33; 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 15). Nos modelos do *C2* foram consideradas as variáveis t , T_{\max} , pH_2 e pH_3 como as mais importantes, pois estavam presentes em 100,00; 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 15). Nos modelos do *C3*, as variáveis t , pH_3 , T_{\max} e B , foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 100,00; 83,33; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 15). Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes variáveis t , pH_2 , T_{\max} , pH_1 e T_{\min} , pois estavam

presentes em 100,00; 66,67; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos gerados (Tabela 15). Nos modelos do C5, as variáveis consideradas mais importantes foram t , B , pH_1 , T_{min} e T_{max} , pois estavam presentes em 100,00; 66,67; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 15). As variações nos valores de PST foram, evidentemente, associadas às variações das concentrações de Na trocável. Adicionalmente, ao discutido para Na, a temperatura mínima e máxima se correlacionaram negativamente e positivamente com o PST. Nos períodos de menores temperaturas, a necessidade de irrigação diminuiu e, portanto, houve menor aporte de Na_{ETSE} ; nos períodos de maiores temperaturas, a quantidade de irrigação foi maior, resultando em elevado aporte de Na_{ETSE} , que aumentou o Na trocável no solo, bem como o PST. Ainda, no decorrer do período estudado, o PST aumentou. Isso evidenciou o risco de sodicidade de solo tropical submetido à irrigação com ETSE com elevada RAS, conforme salientado em Leal et al. (2009).

Tabela 15 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para percentual de sódio trocável em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
	cm				
C1	0-10	$-38,1158 + (5,4817*t) - (1,4454*T_{min}) + (2,0442*T_{max})$	57,96**	0,93	c
	10-20	$-121,3321 + (1,5560*B) - (7,4686*t) + (1,9004*T_{max}) + (5,7615*pH_1) + (6,7390*pH_2) + (0,2281*ALK_{ETSE})$	23,21**	0,93	b
	20-40	$4,0882 + (0,6995*B) + (1,9652*t) - (0,0139*P_p) + (0,0903*ALK_{ETSE})$	53,31**	0,95	b
	40-60	$-0,9427 + (0,6572*B) + (4,3819*t) - (0,0060*P_p)$	72,70**	0,94	a
	60-80	$-5,1301 + (0,4038*B) + (5,7171*t) - (2,5424*pH_2) + (2,7376*pH_3) - (0,0686*ALK_{ETSE})$	128,03**	0,98	c
	80-100	$8,3645 - (0,9339*T_{max}) + (2,6523*pH_1) + (0,9540*pH_3) + (0,0736*ALK_{ETSE})$	25,48**	0,90	b
C2	0-10	$-52,9735 + (5,7530*t) + (1,9375*T_{max}) - (6,0475*pH_1) + (3,7186*pH_2)$	98,55**	0,97	c
	10-20	$-69,6407 + (5,4240*t) - (1,0982*T_{min}) + (2,9683*T_{max})$	83,36**	0,95	a,b
	20-40	$-17,6028 - (0,8764*B) + (4,4132*t) + (1,2046*T_{max}) - (12,3585*pH_1) + (3,5103*pH_2) + (3,7316*pH_3)$	71,59**	0,97	b
	40-60	$-23,3321 + (5,2386*t) + (0,6445*T_{max})$	117,11**	0,94	a,b
	60-80	$-73,8292 + (0,6956*B) + (3,3481*t) + (3,0740*T_{min}) - (0,0064*P_p) + (5,2356*pH_2) - (1,1636*pH_3)$	20,09**	0,93	b
	80-100	$-14,2209 + (2,8092*t) + (1,4673*pH_2) + (0,9516*pH_3)$	277,57**	0,98	a,c
C3	0-10	$-120,3285 + (6,9918*t) + (3,5522*T_{max}) + (2,0442*pH_3)$	217,51**	0,98	c
	10-20	$-76,1601 + (7,9923*t) - (2,4342*T_{min}) + (4,4622*T_{max}) - (1,8255*pH_2)$	364,18**	0,99	b
	20-40	$-120,3282 + (6,9918*t) + (3,5522*T_{max}) + (2,0442*pH_3)$	217,51**	0,98	a,c
	40-60	$27,3750 + (0,7270*B) + (3,4149*t) - (9,9807*pH_1) + (1,7503*pH_3)$	30,37**	0,91	b
	60-80	$27,3750 + (0,7270*B) + (3,4149*t) - (9,9807*pH_1) + (1,7503*pH_3)$	30,37**	0,91	b
	80-100	$-37,5975 - (0,4780*B) + (1,9231*t) + (0,3064*T_{max}) + (4,9923*pH_2) + (1,0465*pH_3)$	32,89**	0,94	b
C4	0-10	$-72,0384 + (7,1279*t) + (1,5277*T_{max}) + (5,0543*pH_1)$	205,08**	0,98	c
	10-20	$-83,1163 + (6,8249*t) - (1,7422*T_{min}) + (3,8033*T_{max})$	138,59**	0,97	a,c
	20-40	$-65,8982 - (0,4048*B) + (7,2797*t) + (1,2495*T_{max}) + (7,3244*pH_1) - (1,2954*pH_2)$	132,11**	0,98	b
	40-60	$-71,2309 + (4,3996*t) + (2,4755*T_{min}) + (7,9590*pH_2) - (2,9949*pH_3)$	166,85**	0,98	c
	60-80	$-26,2686 - (0,4159*B) + (3,4930*t) + (0,0053*P_p) + (3,0664*pH_1) + (2,0500*pH_2) - (0,7989*pH_3) + (0,0299*ALK_{ETSE})$	108,52**	0,98	b
	80-100	$-39,1176 + (3,2210*t) + (1,1453*T_{min}) + (3,2679*pH_2)$	209,21**	0,98	c
C5	0-10	$-71,3778 + (6,5405*t) - (1,3684*T_{min}) + (3,0822*T_{max})$	97,43**	0,96	c
	10-20	$-66,2827 + (1,1499*B) + (6,1023*t) - (0,9182*T_{min}) + (3,1760*T_{max}) - (3,3455*pH_1)$	14,09**	0,87	b
	20-40	$-45,5864 - (0,6436*B) + (7,1100*t) - (1,9099*T_{min}) + (3,2717*T_{max}) - (4,8951*pH_1)$	65,38**	0,97	b
	40-60	$-4,9668 + (0,5137*B) + (4,3857*t)$	149,84**	0,95	a
	60-80	$-40,1959 + (3,1337*t) + (0,0074*P_p) + (6,2650*pH_1) + (1,2738*pH_2)$	143,09**	0,98	a,b
	80-100	$8,9387 + (0,8096*B) + (4,2522*t) + (0,0037*P_p) - (3,7041*pH_2)$	48,54**	0,94	a

B: bloco. t: tempo (semestre) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₃: pH da solução no solo. ALK_{ETSE}: alcalinidade como bicarbonato (HCO₃⁻). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

** : P < 0,01.

a: *stepwise* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi o método de seleção de variáveis mais indicado.

4 CONCLUSÕES

O método com seleção de variáveis foi o mais adequado para modelar a acidez total (H+Al) e trocável (Al), as concentrações das bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) e os valores de PST no solo, mediante uso RLM, pois: (i) apresentou menor multicolinearidade entre as variáveis independentes (devido aos menores valores FIV); (ii) teve maior índice de R^2_{adj} mesmo com menor número de variáveis empregadas.

Os atributos H+Al, Al, Ca, Mg, K, Na e PST nos cenários e camadas de solos estudados não foram explicadas por um mesmo grupo de variáveis. De modo geral, os resultados foram coerentes, pois na medida em que o pH aumentou, as concentrações H+Al e Al diminuíram e as de Ca e Mg foram incrementadas. Devido ao baixo teor de K no solo, o aporte desse nutriente pela irrigação com ETSE pouco influencia as concentrações desse elemento. Devido à alta razão de adsorção de sódio no efluente as concentrações deste elemento, bem como PST foram aumentadas ao longo do tempo no solo. O acúmulo e a exportação de sódio pelas plantas não foi suficiente para evitar o incremento nas concentrações de sódio trocável e PST em todos os cenários e camadas estudados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAD, G.; TORRES, C.V. Regressão múltipla stepwise e hierárquica em Psicologia Organizacional: aplicações, problemas e soluções. **Estudos de Psicologia** (Natal), vol.7, p. 19-29, 2002.
- BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p.821-830, 1998.
- BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p.543-555, 1998.
- DA CRUZ, P. G.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R.; OLIVEIRA, P. P. A.; ARAUJO, L. C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de material seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.675-681, 2011.
- DA FONSECA, A. F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. Piracicaba, 2005a. 174p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DA FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron, and heavy metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. V.36, p.1983-2003, 2005b.
- DA FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, p.328-336, 2007a.
- DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; DE PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v.64, p.194-209, 2007b.
- DA FONSECA, A. F.; LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Carbon and nitrogen dynamics in a Brazilian soil-pasture system irrigated with treated sewage effluent. **Israel Journal of Plant Sciences**, v.59, p.147-157, 2011.

- FANG, C.; MONCRIEF, J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, v.205, p.135-146, 1998.
- FERREIRA, C. A. **Gênese de “Latossolos acinzentados” em topossequência de latossolos das chapadas do alto vale do Jequitinhonha, Mg.** Diamantina, 2008. 83p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
- FREUND, J. E. Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade, 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 536p.
- FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility Soils**, v.31, p.414-421, 2000.
- GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.; POSS, J.A.; ROBINSON, P.H.; SUAREZ, D.L.; BENES, S.E. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. I. Biomass production. **Agricultural Water Management**, v.70, p.109-120, 2004.
- KNOPS, J. M. H.; TIMAN, D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. **Ecology**, v.81, p.88-98, 2000.
- LEAL, R. M. P.; DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Agricultural utilization of treated sewage effluent: Experience from Brazil. **Israel Journal of Plant Sciences**, v.59, p.235-248, 2011.
- LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; HERPIN, U.; DA FONSECA, A. F.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v.96, p.307-316, 2009.
- LEITES, L. P.; ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, A.; ROBINSON, A. P. Modeling mensurational relationships of plantation-grown loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v.289, p.455-462, 2012.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BARBIN, J. B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**, 6.ed.Porto Alegre: Artmed, 2009. 688p.
- LACERDA, Érika Rodrigues Magalhães and ABBAD, Gardênia. Impacto do treinamento no trabalho:investigando variáveis motivacionais e organizacionais como suas predictoras. **Revista de Administração Contemporânea**, vol.7, p.77-96, 2003.

- LAM, L. **An introduction to R**. R Foundation for Statistical Computing, p.212, 2010.
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York: John Wiley, 1979. 449p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MYNBAEV, K.T; LEMOS, A. **Manual de econometria**, 1.ed. Rio de Janeiro: FGV, 2004. 348p.
- O'BRIEN, R. M. A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. **Quality and Quantity**, v.41, p.673-690, 2007.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Fatos sobre Água e Saneamento**. Brasil, 2012. 3p.
- PEREIRA, B. F. F.; HE, Z. L.; SILVA, M. S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S. F.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, p.54-61, 2011.
- POULSEN, P. H. B.; MAGID, J.; LUXOI, J.; DE NEEGAARD, A. Effects of fertilization with urban and agricultural organic wastes in a field trial – Waste imprint on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p.794-802, 2012.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2011. v.1. 420p.
- RAZZOLINI, M. T. P.; GUNTHER, W. M. R. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde e Sociedade**, v.17, p.21-32, 2008.
- RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Revista Ambiente & Água**, v.3, p.81-94, 2008.
- RIBEIRO, M. C. F.; ROCHA, F. A.; DOS SANTOS, A. C.; DA SILVA, J. O.; PEIXOTO, M. F. S. P; PAZ, V. P. S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.639-646, 2012.

- SAS Institute. **SAS® 9.1.3 Output Delivery System - User's Guide**. SAS Publishing, p.681, 2006.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência no Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, fev. 2007.
- SHI, S.; ZHANG, W.; ZHANG, P.; YONGQIANG, Y.; DING, F. A synthesis of change in deep soil organic carbon stores with afforestation of agricultural soils. **Forest Ecology and Management**, v.296, p.53-63, 2012.
- SINGH, P. K.; DESHBRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v.103, p.100-104, 2012.
- WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2010, v.15, p.291-300, 2010.