

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS
COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DA GRANDE
DOURADOS**

AFONSO VITALI GRANADO VIEIRA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DA GRANDE DOURADOS

AFONSO VITALI GRANADO VIEIRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. MUNIR MAUAD

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal da Grande
Dourados como parte das exigências do
curso de Agronomia, para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo

Dourados
Mato Grosso do Sul
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha existência.

A minha família, por me apoiar durante essa jornada.

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e a Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) pela oportunidade.

Aos Professores pelo conhecimento adquirido ao longo do curso.

Ao meu Orientador Munir Mauad pela atenção e prontidão que dedicou a mim durante esse período.

A Usina São Fernando pela colaboração no fornecimento dos dados e demais informações.

Ao Professor Roberto Carlos Orlando pela ajuda na análise estatística.

Aos membros da banca pela contribuição no aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos meus amigos que me motivam a seguir em frente mesmo frente a dificuldades.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.	iv
ABSTRACT.	v
INTRODUÇÃO.	1
REVISÃO DE LITERATURA.	3
MATERIAL E MÉTODOS	13
RESULTADOS E DISCUSSÕES.	15
CONCLUSÕES.	23
BIBLIOGRAFIA.	24

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene que pode permanecer no campo até 7 anos após plantada para tanto as condições químicas do solo são de fundamental importância para o sucesso e longevidade desta cultura. Objetivou-se avaliar os níveis de fertilidade de solos com cana-de-açúcar na região da Grande Dourados. Foram avaliadas 3806 amostras de solo provenientes das análises químicas e rotina na Usina São Fernando nos anos de 2012, 2013 e 2014. Para interpretação do resultados foram utilizados o parâmetros de fertilidade propostos por Raij et al. (1997). As amostras foram separadas pelas camadas de 0-25 cm e 25-50 cm onde foram avaliados, pH em CaCl₂, V%, teores de Al³⁺, P-disponível, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ e S-SO₄²⁻. Na avaliação das análises foram constatados baixos teores de P-disponível, K⁺ e V% e teores satisfatórios de Ca²⁺, Mg²⁺ e S-SO₄²⁻, observou-se que, com exceção do S-SO₄²⁻ os nutrientes foram encontrados em menores quantidades nas camadas de 25-50 cm, além disso essa faixa apresentou níveis superiores de acidez e Al³⁺ trocável.

Palavras chave: **Saccharum officinarum, atributos químicos, camadas do solo.**

ABSTRACT

The sugar cane is a semi-perennial crop which can stay in the field up to 7 years after planting, but is necessary a good quimical conditions of the soil to guarantee the success and longevity of this cultures. the objective of this study is to evaluate the fertility levels of sugar cane in cultivated soils in the Grande Dourados region. Were evaluated 3806 soil samples from sugar and alcohol plant São Fernando in the year of 2012, 2013, 2014. For the data interpretation was used the fertility parameters proposed by Raij et al. (1997). The soil samples were separated by profundity, 0-25 cm e 25-50 cm, and evaluated the pH in CaCl₂, the base saturation (%BS) and the level of Al³⁺, P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ and S-SO₄²⁻. The results showed low levels of P, K⁺ and %BS and satisfactory levels of Ca²⁺, Ma²⁺ and S-SO₄²⁻, also except the S-SO₄²⁻, almost all the nutrients was found in lesser amounts in the layer of 25-50 cm, additionally this layer had the lowest level of pH and the highest level of Al³⁺.

Keywords: **Saccharum officinarum, chemical attributes, soil layers.**

1. INTRODUÇÃO

O Brasil detém a maior produção mundial de cana-de-açúcar, seguindo por Índia e China. Na safra de cana-de-açúcar 2015/2016 o país produziu 658.701,8 mil toneladas. Além de ser o maior produtor mundial da cultura, o país também é o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar (CONAB, 2015).

A região Centro-Oeste na safra de 2015/2016 foi a segunda maior produtora de cana-de-açúcar com uma produção de 141.311,6 mil toneladas, ficando atrás somente da região Sudeste que produziu 417.486,4 mil toneladas, na safra de 2005/2006 a região Nordeste era quem ocupava o segundo lugar, com uma produção de 62.380,9 mil toneladas, enquanto que o Centro-Oeste apresentava uma produção de 38.807,1 mil toneladas o que denota um crescimento neste período. A área plantada na região Centro-Oeste apresentou um crescimento de 264% entre as safras de 2005/2006 e 2015/2016 passando respectivamente de 546,9 mil hectares para 1.816,9 mil hectares (CONAB 2006; CONAB 2016).

O estado de Mato Grosso do Sul, vem se destacando ano a ano por sua expansão canavieira. Entre a safra de 2005/2006 e 2015/2016 aumentou sua produção em 440%, enquanto que na safra de 2005/2006 era o menor produtor da região, passando a ocupar na safra de 2015/2016 a segunda posição. A área da produção do estado também alavancou, crescendo 387% no período, assim como a participação na produção de Centro-Oeste, que na safra de 2005/2006 era de 25% passou a participar com 37% da produção (CONAB, 2006; CONAB 2016).

Na safra de 2015/2016 o estado de Mato Grosso do Sul produziu 52.962,2 mil toneladas de cana-de-açúcar, em uma área de 677,9 mil hectares, apresentando uma produtividade média de 78.128 ha⁻¹ (CONAB, 2016).

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene podendo permanecer no campo de 5 a 7 anos após plantada. Possui sistema fisiológico C4, o que facilita seu desenvolvimento e lhe permite produzir uma grande quantidade de massa por hectare, porém para que ela atinja seu potencial é necessário uma boa fertilidade do solo. Seu sistema radicular se diferencia das tradicionais culturas anuais, as raízes são profundas e permitem uma boa exploração das camadas inferiores do solo, isso faz com que ela tenha uma estreita relação com pH, saturação por bases, porcentagem de alumínio e

teores de cálcio nas camadas mais profundas. Esses fatores permitem que a cana-de-açúcar alcance grandes produtividades mesmo em solos de menor fertilidade e baixa capacidade de retenção e água (RODRIGUES, 2008).

Resultados de pesquisas realizadas nas condições do Estado de São Paulo mostram que a produtividade diminui dos solos eutróficos (alta saturação por bases) para os álicos (alta saturação por alumínio) independente da textura. Em Latossolo Vermelho solos eutróficos tiveram média de produtividade de 94 Mg ha⁻¹ e os distróficos 90 t ha⁻¹, já os solos álicos produziram em média 87 t ha⁻¹. Assim, manter uma adequada fertilidade do solo durante os anos de cultivo da cana-de-açúcar é extremamente importante para longevidade e produtividade do canavial (DEMATTE, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de fertilidade de solo de áreas produtoras de cana-de-açúcar na região de Dourados MS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar

A cultura cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no ano de 1532, por meio do colonizador português Martim Afonso de Souza, inicialmente na Capitania de São Vicente (litoral do Estado de São Paulo) expandindo-se após para o Nordeste, se tornando a primeira atividade econômica organizada brasileira (UNICA, 2015).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), é uma planta gramínea, semi-perene que apresenta bom desenvolvimento em solos de boa aeração e boa drenagem, exigindo solos com profundidade mínima de um metro (CONAB, 2015). Pertence à família Poaceae, apresenta como características principais a inflorescência na forma de espiga, suas folhas possuem bainha aberta e seu caule cresce em colmos (SANTOS e BORÉM 2011).

A cana-de-açúcar é composta por aproximadamente 86 a 92% de caldo e 8 a 14% de fibras (matéria insolúvel em água). Os colmos da cana são eretos, cilíndricos, fibroso e riquíssimo em açúcar, é formado por nós e entrenós e em cada nó existe uma gema que é protegida pela bainha da folha. As folhas da cana têm como função respirar e elaborar os fotoassimilados, em geral sua cor é verde, são divididas entre as fixas e as opostas aos nós dos colmos e podendo ser dividida em lâmina (ou limbo foliar) que representa a parte superior, e a bainha, que representa a parte inferior (BEAUCLAIR, 2008).

Da matéria-prima da cana-de-açúcar se produz o açúcar e o álcool e seus subprodutos e resíduos que podem ser utilizados para fabricação de fertilizantes, ração animal e cogeração de energia elétrica (AGEITEC, 2015).

2.2 Atributos químicos do Solo

2.2.1 pH

Solos podem ser naturalmente ácidos devido ao seu material de origem. Em regiões onde a pluviosidade é elevada, bases como K, Ca, Mg e Na são levados das

camadas superficiais do solo para camadas mais profundas, tornando o solo ácido. Porém quando a saturação por bases é muito alta e com a presença de sais como carbonato de cálcio, magnésio e sódio, o número de íons de hidroxila supera os de hidrogênio, tornando o solo alcalino (MORAES NETO, 2009).

Existem várias formas do solo acidificar-se ao longo do tempo. A primeira pela dissociação do gás carbônico: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. O H^+ é então transferido para a fase sólida do solo liberando um cátion trocável, posteriormente lixiviado com o bicarbonato. Entretanto isso ocorre em solos de pH elevado, sendo inexpressivo em solos de pH abaixo de 5,2. A segunda forma de acidificação é através de fertilizantes que liberam H^+ no solo, como os adubos amoniacais e a ureia. Pode ocorrer ainda uma terceira forma de acidificação através da hidrólise do alumínio, que também gera H^+ (LOPES e GUILHERME, 1991).

O pH tem grande influência na disponibilidade de nutrientes no solo. Um pH mais elevado, especialmente em solos que possuem argila com carga dependente permite uma maior disponibilidade de nutrientes no solo, a faixa ideal para a maioria das grandes culturas fica em torno de 6 e 7. A cana-de-açúcar especificamente é bem tolerante, tanto à acidez como à alcalinidade, suportando pH entre 4 a 8,5, sendo o ideal em torno de 6,5 (MARIN, 2015).

Com a elevação do pH os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre tornam-se mais disponíveis enquanto o inverso ocorre com os micronutrientes ferro cobre manganês zinco e alumínio (AFOCAPI, 2010).

2.2.2 Saturação por Bases

A saturação por bases (V%) pode ser definida como a soma das bases trocáveis (SB) em relação a capacidade de troca de cátions (CTC) em pH 7, expressa pela fórmula $V\% = 100 \times \text{SB} / \text{CTC}$. Solos com alta saturação por bases, ou seja, superior a 50%, são chamados Eutróficos e os com baixa saturação, inferior a 50%, são chamados Distróficos. V% é um importante atributo para avaliação da necessidade de adubação do solo, pois está intimamente relacionada a fertilidade do mesmo, sendo os solos Eutróficos considerados férteis e os Distróficos, pouco férteis ou muito pobres (SANTOS, 2006).

A saturação por bases quando baixa indica poucos cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas do solo, e que boa parte delas está sendo

neutralizada por H^+ e Al^{3+} , nesses casos os solos são ácidos, podendo conter alumínio tóxico disponível as plantas. A faixa ideal de V% para a maioria das grandes culturas fica entre 50 e 80% (RONQUIM, 2010).

2.2.3 Alumínio

O alumínio é um elemento limitante ao crescimento das plantas. Quando presente em elevadas concentrações se torna tóxico e afeta o crescimento e a divisão celular restringindo o crescimento de raízes. Sem um sistema radicular bem desenvolvido a planta tem menos acesso a água e nutrientes, ficando mais suscetível a períodos de estiagem (MIGUEL et al., 2010).

Os solos do Brasil são compostos em sua maioria por Latossolos, ácidos, com baixa CTC e elevado teor de alumínio, algumas alternativas podem ser tomadas para restauração da fertilidade desses solos: A correta adubação e incorporação de calcário em camadas profundas aumenta o pH e reduz a saturação por alumínio. Outra alternativa seria a utilização de espécies ou cultivares tolerantes ao excesso de alumínio, porém ainda existem poucas opções disponíveis no mercado (MIGUEL et al., 2010).

2.2.4 Fósforo

O fósforo é o décimo elemento mais ocorrente na natureza porém devido a sua fácil oxidação não é encontrado na sua forma elementar. As quantidades de P (P_2O_5) no solo brasileiro são variáveis, mas raramente ultrapassam 0,5% (MELLO, 1989).

O fósforo pode oriundo do mineral apatita, este quando intemperizados libera o nutriente para a solução do solo onde será extraído para as plantas, que por sua vez serviram de alimento para microrganismos e animais, estes ao morrerem e se decomporem retornam o nutriente ao solo completando o ciclo do P. Este ciclo pode ser interrompido pela erosão, que retira o P, juntamente com outros nutrientes, do sistema solo-planta (MALAVOLTA, 2006).

O P proveniente da adubação é pouco aproveitado pelas plantas, tendo em média apenas 10% do seu total assimilado. Diferente de elementos como N e K, a quantidade aplicada no solo é muito maior que a exportada, isso ocorre devido a fixação do P no solo, sendo necessário uma adubação com quantidades muito maiores do nutriente que as requeridas pela cultura (RAIJ, 2004).

A fixação do P é a transformação do nutriente em formas menos solúveis restringindo sua disponibilidade à planta (MELLO, 1989). Um dos fatores que afetam a fixação de P é o teor de argila do solo, pois ele se fixa nas faces quebradas das argilas silicatadas, bem como nos óxidos de ferro e de alumínio (BRAIT, 2008). A disponibilidade do P também é afetada pela acidez do solo, em baixo pH há presença de ferro e alumínio solúveis que em contato com o P formam fosfatos de ferro e alumínio, indisponível a planta. A fixação não é irreversível, porém o retorno é muito inferior as quantidades fixadas, logo o P fixado é considerado como perda (ALCARDE et al., 1998).

2.2.5 Potássio

O potássio é um elemento muito abundante nas rochas e solos constituindo 2,5% da litosfera, sua presença e disponibilidade nos solos brasileiros estão relacionadas aos minerais primário feldspatos potássicos e micas e aos minerais secundários illita, montmorilonita e vermiculita, sendo que, quanto mais intemperizado o solo menor a presença desses minerais (NACHTIGALL e RAIJ, 2005).

O K é encontrado 90 a 98% na forma cristalina, 1 a 10% fixado, 1 a 2% na forma trocável e 0,5 a 2% na matéria orgânica. Entende-se por K trocável aquele que está adsorvido aos coloides minerais e orgânicos do solo, estando suscetível a troca por outros cátions ou por H^+ , sua disponibilidade para a planta é relativa a saturação do coloide por K^+ , quanto mais saturado, mais é liberado para a solução do solo. O Potássio na forma fixada não está disponível a planta de imediato mas pode ser disponibilizado quando a quantidade de K na solução diminui. O K proveniente da matéria orgânica é muito variável, pois o teor de MO do solo é inconstante, este potássio pode ser aproveitado pelas plantas a medida que ocorre o processo de mineralização através dos microrganismos, passando para a forma solúvel e trocável (MALAVOLTA, 1974).

Por ser um íon de carga positiva o K compete com outros cátions nos sítios ativos de ligação do solo, logo o equilíbrio na relação Ca:Mg:K é fundamental para evitar perdas desses nutrientes por lixiviação. Além disso o desequilíbrio dessa relação pode comprometer a absorção desses cátions, uma vez que eles também competem entre si na absorção pela planta (ROSOLEM, 2005).

2.2.6 Cálcio

O cálcio é comumente encontrado nas formas de carbonato, fosfato, sulfato, silicato (maior parte), na composição da matéria orgânica, além de estar presente na solução do solo e adsorvido nos coloides, sendo que somente estes dois últimos estão prontamente disponíveis as plantas. Os minerais com maiores teores de cálcio são anortita, augita, hornblenda, epidoto e apatita, mas também é encontrado em argilas (MALAVOLTA, 1974).

2.2.7 Magnésio

O magnésio compõe cerca de 2,68% da crosta terrestre e seu teor no solo varia de acordo com a textura, material de origem e quantidade de Mg retirada na colheita, por lixiviação e erosão (MELLO, 1989). Sua origem é proveniente das rochas ígneas, sendo em maior abundância nos minerais biotita, clorita, dolomita, serpentina e olivina além de fazer parte da estrutura de minerais de argila (RAIJ, 1991).

A forma trocável do Mg é a mais importante no ponto de vista nutricional das plantas, porém nesta forma compete com outros cátions trocáveis na absorção pela planta sendo considerada a proporção ideal de cátions no solo 65% de Ca, 10% de Mg, 5% de K e 20% H (MALAVOLTA, 1974).

A competição com o potássio está relacionada ao uso de elevadas doses de adubos potássicos, sem que se faça a correção proporcional com o Mg. Tem se verificado em análises de solo recentes o desequilíbrio de mais de 70% das amostras, sendo encontrado teores de K acima de 3-5% da CTC e de Mg apenas 5-10%. Nesses casos recomenda-se a diminuição da aplicação de K e utilização de fontes de Mg mais solúveis, bem como Óxido ou Sulfato (MATIELLO; JAPIASSÚ, 2016).

2.2.8 Enxofre

A dinâmica do enxofre no solo é semelhante a do nitrogênio, sendo ambos os nutrientes encontrados, em sua maioria, na matéria orgânica do solo, isso faz com que a mineralização tenha grande importância na disponibilidade destes nutrientes, que estão propícios a transformação por oxi-redução e altas perdas por lixiviação (PAIVA, 1994).

O enxofre fica disponível as plantas em sua forma inorgânica, como anión sulfato (SO_4^{-2}). O SO_4^{-2} não é adsorvido a superfície dos coloides devido a sua carga negativa, ficando livre na solução do solo e facilmente lixiviado. Em alguns casos, em faixas mais profundas do solo, o enxofre pode se acumular, devido a presença de cargas positivas nesta área, este enxofre pode ser utilizado por culturas de raízes profundas como a cana-de-açúcar (SFREDO e LANTMANN, 2007)

O S é considerado pela legislação como um macro-nutriente secundário porém em muitos casos as quantidades exportadas pela planta são maiores que as de fósforo, um macro-nutriente primário. Está diretamente relacionado a absorção de N pela planta, além de participar da fixação de N_2 atmosférico para formação de amônia (NH_3). A curto prazo a disponibilidade de S está relacionada a quantidade e ao tipo dos resíduos culturais, portanto dependente do sistema de sucessão ou rotação de culturas utilizado no solo propriedade. Entretanto a longo prazo, a disponibilidade de S é relacionada ao preparo do solo, pois se o cultivo envolve grande revolvimento do solo, os teores de matéria orgânica serão baixos, diminuindo a capacidade do solo de fornecer S a planta (VITTI e HEIRINCHS, 2006).

2.3 Nutrientes na Planta

2.3.1 Nitrogênio

O crescimento da cana-de-açúcar é influenciado pela variedade, idade, umidade, fertilizantes, temperatura, luz, vento, condições físicas do solo e superfície foliar, dentre esses fatores a disponibilidade de nutrientes, especialmente de nitrogênio e enxofre, é o mais limitante em relação a produtividade de cana-de-açúcar no Brasil (TRIVELIN e VITTI, 2006)

Segundo Coletti et al. (2006), o nitrogênio é o segundo nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, ficando atrás somente do potássio. O nitrogênio encontra-se em apenas 1% da massa seca total da planta, sua deficiência causa redução no teor de proteínas enzimáticas e protetoras, menor transporte de solutos, redução na produção de alcaloides tóxicos ao patógeno, senescência precoce, o que reflete diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA, 2006). Os sintomas visuais da deficiência de N são folhas amareladas inicialmente nas folhas mais

velhas; redução do perfilhamento, dormência de gemas laterais; senescência precoce (MALAVOLTA et al., 1997).

Uma questão que ainda gera dúvidas é a resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada. A resposta da cana-planta ao N é relativamente pequena, porém há evidências suficientes de que a utilização deste nutriente não deva ser evitada, principalmente em solos de textura leve (CANTARELLA et al, 2007). Respostas em cana-soca são muito mais frequentes, e as quantidades de N aplicadas, mais elevadas. Em um experimento realizado por Vitti et. al. (2007), a fertilização nitrogenada em doses crescentes até 175 kg ha⁻¹ resultou em aumento linear na produtividade de colmos na segunda soca, estendendo-se para a terceira soca.

2.3.2 Fósforo

O fósforo (P) desempenha um papel importante na fotossíntese, participando da conversão de energia solar em energia química e da transferência dessa energia para os processos vitais. Na cana-de-açúcar atua no metabolismo de açúcares, divisão celular, alargamento das células e transferência da informação genética (ROSSETTO et al, 2008).

Segundo Alexander (1973) o fósforo é fundamental na produção de açúcar pela planta pois compõe a molécula glucose-1-fosfato que se junta a frutose formando sacarose, porém é válido salientar que Pereira et al. (1995), em estudo com doses crescentes de P aplicados no solo, não constataram variações na pol (porcentagem de sacarose aparente) do caldo em cana-de-açúcar.

A cana-planta apresenta grande resposta a adubação fosfatada, principalmente em solos onde se instala a cultura pela primeira vez. A cana-soca por sua vez tem resposta variável a adubação fosfatada. Korndörfer (2004) observou que em várias unidades produtoras não há declínio na produção com a ausência da aplicação de P na soqueira, porém em alguns casos é possível observar respostas positiva, principalmente em solos com calagem.

Na deficiência de P os sintomas ocorrem primeiramente nas folhas mais velhas, que apresentam tons avermelhados nas pontas e margens das folhas expostas ao sol, além de menores e mais finas. Ocorre também menor altura de plantas, com menor diâmetro de colmo e redução no número de perfilhos (ROSSETTO e SANTIAGO, 2015a)

Uma alternativa a adubação de P é a torta de filtro, resíduo obtido no processo de clarificação do açúcar rico em P além de conter N, Ca e Mg, podendo substituir parcialmente ou totalmente a adubação fosfatada (KORNDÖRFER, 2004).

2.3.3 Potássio

O potássio é o nutriente exportado em maior quantidade pela cana-de-açúcar, sendo acumulado em grande quantidade. A maior parte do potássio extraído, aproximadamente 55%, está localizado nos colmos, e os outros 45% estão distribuídos nas folhas, boa parte do nutriente retornará ao sistema, uma vez que o potássio dos colmos retorna como resíduo da indústria (vinhaça, torta de filtro, cinzas e fuligem) e as folhas permanecessem no campo em sistema de produção de cana sem queimada (ROSSETTO et al, 2008).

O potássio estimula a vegetação e o perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias (ROSSETTO e SANTIAGO, 2015b).

Quanto à adubação com potássio, não há dúvida quanto à resposta em produtividade, sendo esta praticamente linear. Em trabalho realizado por Rossetto et al. (2004) foi observado ganho significativo em sete das dez avaliações, tanto em cana-planta como em soqueiras. Flores et al. (2012) constatou que a aplicação de potássio não alterou o número de perfilhos e diâmetro de colmos da soqueira de cana-de-açúcar, entretanto, aumentou a altura, a qual atingiu maior valor com 195,0 kg ha⁻¹ de K₂O.

Por apresentar alta resposta na produtividade, o potássio é aplicado em doses altas tanto na cana planta como nas soqueiras. Doses entre 80 e 150 quilos de K₂O por hectare são utilizadas tanto para a cana-planta como para as soqueiras (ROSSETTO e SANTIAGO, 2015b)

A vinhaça é o principal resíduo da indústria sucroalcooleira, anteriormente descartada em rios e lagos causando problemas ambientais, se tornou uma alternativa ao fornecimento de K, além de cálcio, magnésio e grandes quantidades de matéria orgânica (ROSSETTO et al., 2008). Zolin et al. (2011) verificou que a aplicação de vinhaça no solo, além de aumentar os níveis de K no solo, também aumentou o teor de carbono orgânico, o que influenciou positivamente a densidade, CTC e a porosidade total do solo.

Os sintomas de deficiência de potássio ocorrem primeiramente nas folhas mais velhas, com manchas mosqueadas (verde-claras e escuras), com margens cloróticas (marrom) evoluindo para necróticas. Ocorre ainda a redução do teor de açúcar no colmo devido a função de ativação enzimática que o nutriente possui, agindo no transporte de carboidratos (ROSSETTO et al., 2008).

2.3.4 Cálcio e Magnésio

Cálcio e magnésio, são considerados macronutrientes secundários, pois estes não tem preço de venda, estando incluídos em produtos vendidos como fontes de macronutrientes primários ou corretivos de acidez, como gesso e calcário (QUAGGIO, 2008).

O cálcio atua melhorando a estrutura do solo, aumentando a permeabilidade e a infiltração de água, aumentando a tolerância da planta ao estresse hídrico. O equilíbrio deste nutriente evita o antagonismo e a competição (BLANKENAU, 2007).

A deficiência de cálcio ocorre primeiramente nas folhas mais novas, que ficam esbranquiçadas e enrolam para baixo. As folhas mais velhas podem ficar com aspecto enferrujado. Posteriormente nota-se um afinamento e amolecimento dos colmos (ROSSETTO e SANTIAGO, 2015a).

O magnésio é o elemento central da molécula de clorofila, está envolvido nas reações de carboxilação da fotossíntese, atuando na fixação do CO₂, sendo necessário para formação de proteínas, amidos, gorduras e vitaminas (WIEND, 2007).

Os sintomas de deficiência de magnésio na cultura surgem primeiramente nas folhas mais velhas, apresentando pontuações nas pontas e ao longo das margens, posteriormente ocorrem lesões necróticas vermelhas com aparência de ferrugem. A parte interna da casca do colmo apresenta coloração amarronzada (ROSSETTO e SANTIAGO, 2015a).

Muito tem sido questionado sobre a relação Ca:Mg com aspectos nutricionais em cana-de-açúcar. O solo tende a apresentar maiores teores de cálcio do que magnésio, podendo ocorrer o contrário em casos raros onde há presença de magnésio ocluído nos microagregados de solos muito intemperizados (DEMATTE, 2011). Em um estudo do mesmo autor utilizando doses de gesso e calcário em cana-planta e cana-soca, não se observou aumento da produtividade associada a relação Ca:Mg.

2.3.5 Enxofre

Estima-se que o enxofre seja o nono elemento mais abundante do planeta, podendo ser encontrado como sulfato, sulfeto e S elementar. É o constituinte mais abundante dos minerais depois do oxigênio e silício. O enxofre livre na natureza pode ser encontrado em depósitos vulcânicos ou sedimentares além de estar presente também em carvões, petróleos e gás natural, em forma de compostos orgânicos (STIPP e CASSARIN, 2010).

O enxofre tem sido menosprezado se tratando de estudos relacionados a sua utilização como adubo em cana-de-açúcar o Brasil, como relatam poucos dados publicados sobre o assunto (CANTARELLA et al., 2007). Em um estudo realizado por Sartori (2010), não foi constatada, na primeira e segunda soca, resposta da cana-de-açúcar a doses de sulfato de amônio aplicadas após o primeiro corte.

Deficiência e queda na produção das culturas podem ocorrer quando os teores de S na forma de SO_4^{2-} (S- SO_4^{2-}) na camada 0-20 cm do solo forem menor que 10 mg dm^{-3} (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

Devido ao enxofre ser pouco móvel na planta a deficiência apresenta-se primeiro nas folhas mais novas, ocasionando clorose generalizada, além de diminuição no crescimento da planta. Além disso o nutriente faz parte de vários compostos e reações, sua falta gera uma série de distúrbios metabólicos, como diminuição da fotossíntese, da síntese de proteína e da atividade respiratória, causando aumento da relação N-solúvel/N-proteico e acúmulo de carboidratos com aumento da relação C-solúvel/C-amido (VITTI et al., 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da fertilidade do solo de áreas comerciais de cana-de-açúcar na região de Dourados – MS, foram avaliadas análises químicas de rotina, de áreas com cana de terceiro ano junto a Usina São Fernando.

Foram selecionados os resultados das análises de solo totalizando 3806 amostras divididas entre as camadas de 0 a 25 cm e 25 a 50 cm de maneira a representar as áreas de cultivo da Usina São Fernando. Os solos amostrados foram predominantemente classificados como Latossolos (72%) e Nitossolos (23%).

A necessidade de calcário foi determinada em função da equação $NC = (V_2 - V_1) * CTC / PRNT$. A fosfatagem foi realizada utilizando 333 e 233 kg ha⁻¹ de Fosfato Reativo para solos argilosos e arenosos respectivamente.

Para a adubação da cana planta foram aplicados no sulco 20 kg ha⁻¹ de N, 60 a 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 0 a 170 kg ha⁻¹ de K₂O e em cobertura 40 kg ha⁻¹ de N e 0 a 70 kg ha⁻¹ de K₂O sendo as quantidades definidas em função dos níveis de P e K do solo.

Na cana soca foram empregados de 100 a 130 kg ha⁻¹ de N, 0 a 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0 a 170 kg ha⁻¹ de K₂O em função dos níveis desses nutrientes no solo.

As quantidades de gesso variaram de 1 a 2 Mg ha⁻¹ em função da CTC e V% do solo. O uso de vinhaça em cana soca foi realizado em função dos teores de potássio da vinhaça e do solo e na cana planta esporadicamente em áreas irrigáveis. A torta de filtro foi utilizada somente em cana planta, aplicada no sulco ou em cobertura, quando no sulco reduz a utilização de 40kg de P₂O₅ e quando em cobertura não se realiza a fosfatagem.

Os atributos químicos utilizados para avaliação da fertilidade do solo das lavouras de cana-de-açúcar foram: acidez ativa (pH CaCl₂), P disponível extraído com resina, bases trocáveis (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺), S-SO₄²⁻, acidez trocável (Al³⁺) e índice de saturação por bases (V%).

Para interpretação dos resultados das análises foram utilizados os parâmetros de fertilidade propostos por Raij et al. (1997) (Tabela 1) com exceção dos parâmetros para P-disponível que foram propostos por Sousa e Lobato (2004).

Tabela 1 - Parâmetros de fertilidade propostos por Raij et al. (1997) e Sousa e Lobato (2004).

Atributo Analisado	Unidade	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
pH CaCl ₂		< 4,3	4,4-5	5,1-5,5	5,6-6,0	> 6,0
V%	%	< 25	26-50	51-70	71-90	> 90
Al ³⁺	mmolc dm ⁻³		≥5,0		> 5,0	
P-disponível	mg dm ⁻³	< 5,0	6,0-12	13-30	31-60	> 60
K ⁺	mmolc dm ⁻³	< 0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
Ca ²⁺	mmolc dm ⁻³		< 3	4,0-7,0	> 7,0	
Mg ²⁺	mmolc dm ⁻³		< 4	4,0-8,0	> 8,0	
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ⁻³		< 4	5,0-10	> 10	

Os resultados das análises de solo foram tabulados, e utilizou-se o programa Excel para elaboração dos gráficos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se para valores de pH em CaCl_2 , na camada de 0-25 cm do solo (Figura 1A) que 7,6% das análises apresentaram valores muito baixos (até 4,3), 37,8% apresentaram valores baixos (4,4 - 5), 32,8% valores médios (5,1 - 5,5), 16,4% valores altos (5,6 - 6) e 5,4% tiveram valores muito altos (maiores que 6). Para valores de pH em CaCl_2 , na camada de 25-50 cm do solo (Figura 1B) foram obtidos valores 24% considerados como muito baixos, 47,9% como baixos, 19,8% médios, 6,8% altos e apenas 1,5% muito altos.

Segundo Malavolta et al. (1997) a faixa ideal de pH para cultivo da cana-de-açúcar fica entre 5,5 e 6,5, nesta faixa de pH o solo apresenta a maior disponibilidade de nutrientes. Conforme observado nas análises apenas 21,8% das amostras encontram-se com pH acima de 5,5 na faixa de 0-25 cm, e para a profundidade 25-50 cm este valor é ainda menor (8,3%).

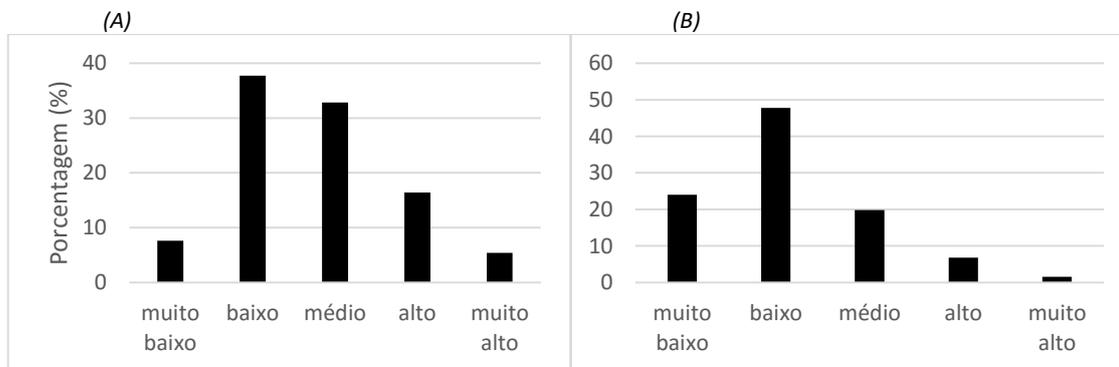


Figura 1 – (A) Valores de pH em CaCl_2 na camada de solo de 0-25 cm. (B) Valores de pH em CaCl_2 na camada de solo de 25-50 cm.

Aconselha-se então a utilização de corretivos incorporados em profundidade visto que apesar da cana-de-açúcar ser uma cultura relativamente tolerante a acidez o pH a afeta a disponibilidade de nutrientes, além disso os corretivos também fornecem nutrientes importantes a cultura como o cálcio e magnésio, e neutralizam os efeitos tóxicos do alumínio e manganês (ROSSETTO e DIAS, 2005).

Ferraz et al. (2015) constataram que a utilização de calcário tem grande importância no condicionamento do solo, pois melhora os atributos químicos e físicos

promovendo condições ideais para o pleno desenvolvimento da cultura. Resultados semelhantes em solos de elevada acidez e baixa fertilidade foram observados por Rossetto et al. (2004) onde obtiveram aumento de produtividade da cultura entre 8 e 13 Mg ha⁻¹ para cana planta e cana soca. Outra forma de correção do solo é a utilização de escórias siderúrgicas. Como observado por Demattê et al. (2011) há o aumento da produtividade tanto em cana planta como em cana soca após a aplicação de silicatos, este resíduo neutraliza a acidez e fornece grandes quantidades de Silício ao solo, um dos nutrientes mais absorvidos pela cultura da cana-de-açúcar, além de ser fonte de Ca e Mg.

Neste contexto a saturação por bases nas análises da camada de 0-25 cm apresentaram 9,9% (Figura 2A) muito baixas (até 25%), 30,7% baixas (26 - 50%), 38% médias (51 - 70%), 21% altas (71 - 90%) e apenas 0,3% apresentaram V% muito altas (maiores que 90%). Na profundidade de 25-50 cm 31,1% das análises tiveram V% (Figura 2B) muito baixos, 40,1% foram baixos, 21,5% médios, 7,1% altos e apenas 0,1% classificaram-se como muito altos.

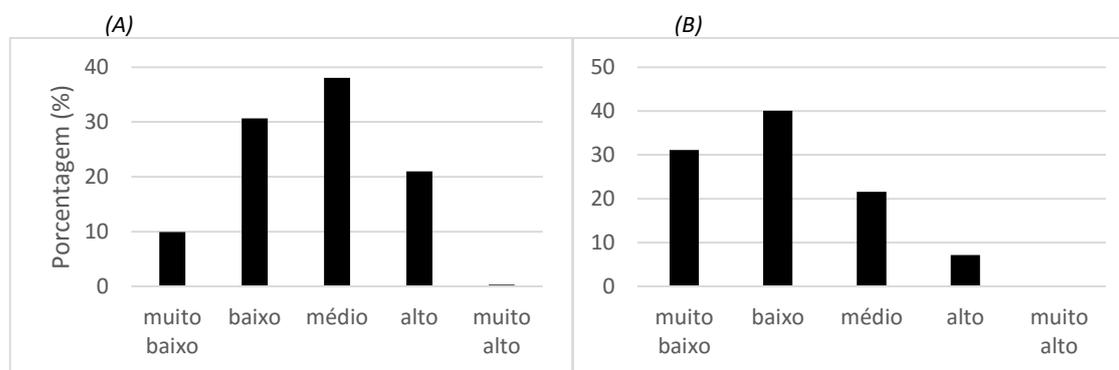


Figura 2 – (A) Saturação por bases (V%) na camada de solo 0-25 cm. (B) Saturação por bases (V%) na camada de solo 25-50 cm.

Verifica-se que 40,6% das amostras de 0-25 cm apresentam saturação de bases abaixo de 50% enquanto que na faixa de 25-50 cm esse valor sobe para 71,2%.

Essa diminuição da V% na camada de 25-50 cm pode ter sido ocasionada devido ao fato das análises terem sido realizadas no terceiro corte e o manejo nutricional das camadas profundas só pode ser realizado durante a implantação do canavial. A cana-de-açúcar possui um sistema radicular profundo e exporta grandes quantidade de nutrientes, logo as análises refletem as quantidades de nutrientes exportadas pela cultura desde o momento do plantio.

Segundo os níveis de fertilidade apresentados é recomendável a elevação da V% através de técnicas de manejo adequadas. A forma mais comum de aumento da saturação de bases é através da calagem pois fornece Ca e Mg, ao mesmo tempo que reduz os Cátions ácidos disponíveis como H^+ e Al^{3+} (QUAGGIO, 1993).

Carvalho et al. (2013) observou o aumento do V% em solos cultivados com cana-de-açúcar após utilização de gessagem associada a fertirrigação, além disso houve incremento nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} e redução de alumínio tóxico em camadas de até 40 cm do solo.

Na camada de 0-25 cm os teores de Al^{3+} (Figura 3A) de 81,8% das análises foram baixos (até 5) enquanto 18,2% foram altos (maiores que 5). Verificou-se que, na profundidade de 25-50 cm, 57,6% das análises de Al^{3+} (Figura 3B) foram classificadas com baixos teores do elemento e 42,4% foram classificadas com altos.

O aumento do alumínio nas camadas mais profundas pode estar relacionado a diminuição do pH, segundo Ferreira et al. (2006) o alumínio solúvel é comum em solos com pH abaixo de 5,5, porém em pH abaixo de 5 sua presença é ainda mais acentuada. Como observado nas análises 45,3% das amostras de solo apresentaram pH abaixo de 5 na camada de 0-25 cm porém na camada 25-50 cm este valor sobe para 78,1% ocasionando a elevação do alumínio tóxico.

A presença de alumínio tóxico no solo resulta na redução do crescimento radicular, isso ocasiona problemas na absorção de água e nutrientes aumentando a sensibilidade da planta a períodos de estiagem e consequente queda na produtividade.

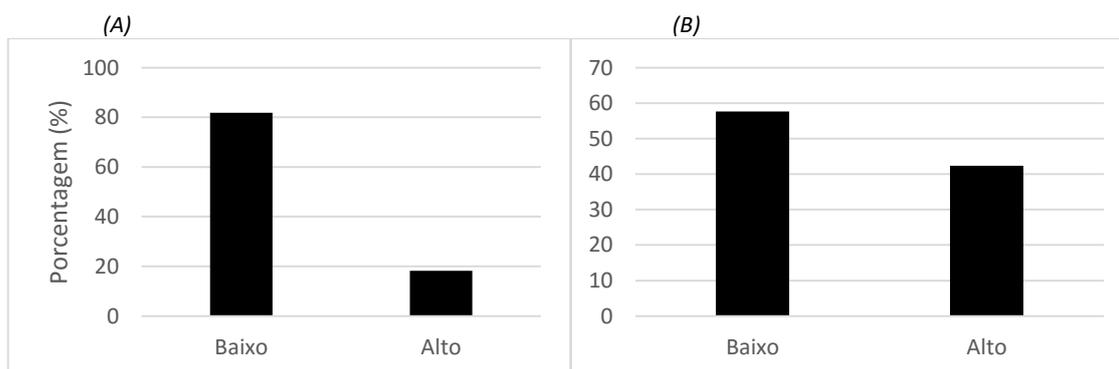


Figura 3 – (A) Teores de Al^{3+} trocável ($mmol\ dm^{-3}$), na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de Al^{3+} trocável ($mmol\ dm^{-3}$), na camada de solo 25-50 cm.

Verificou-se nas análises de P-disponível na camada de 0-25 cm (Figura 4A) de solo que 16,2% foram classificadas como muito baixas (até 5), 23,8% foram

baixas (6 - 8), 27,9% médias (9 - 14), 13,7% altas (15 - 20) e 18,4% muito altas (maiores que 20). Na camada de 25-50 cm de solo 35,7% das análises de P-disponível (Figura 4B) foram muito baixas, 29,3% baixas, 22,6 médias, 6,3% altas e 6,1% muito altas.

Nota-se que 32,1% das amostras atingiram teores maiores que 15 mg dm⁻³ na camada de 0-25 cm, porem na camada de 25-50 cm esse valor foi de apenas 12,4%. Esses teores baixos de P-disponível, observados principalmente nas camadas inferiores podem ter sido agravados pelo fenômeno da fixação de P, um problema recorrente em Latossolos uma vez que são naturalmente ácidos, ricos em argilas, óxidos de ferro e Al trocável, nessas condições o P-disponível é precipitado se tornando indisponível a planta (THOMAZI et al., 1990).

A calagem é uma alternativa a elevação do P-disponível no solo visto que aumenta o pH reduz as quantidades de Fe e Al disponíveis, diminuindo assim os sítios de fixação de P e ocasionando em aumento de sua disponibilidade (PEREIRA e FARIA, 1998).

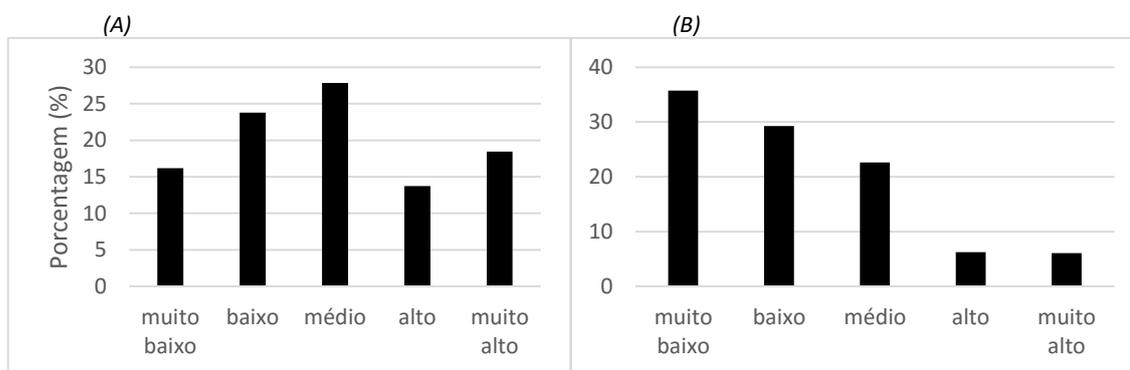


Figura 4 - (A) Teores de P-disponível (mg dm⁻³), extraídos por resina, na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de P-disponível (mg dm⁻³), extraídos por resina, na camada de solo 25-50 cm.

É fundamental o fornecimento de P ao solo para o bom desenvolvimento da planta, Teixeira et al. (2014) observaram aumento linear no rendimento de cana-planta em aplicação de doses de P₂O₅ (até 160 kg ha⁻¹) provenientes de adubo mineral ou organomineral.

Uma importante fonte alternativa de fósforo adotada recentemente pela indústria canavieira é a torta de filtro que é o resíduo da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo. Pode conter de 1,2 a 1,8% de P, sendo que metade está prontamente disponível a cultura e a outra metade é orgânica e será liberada lentamente

no processo de mineralização por microrganismos. A torta de filtro pode servir como substituto parcial ou total da adubação fosfatada mineral (ROSSETTO e SANTIAGO, 2016). Como constatado por Santos et al. (2010) a utilização de torta de filtro influenciou positivamente a produtividade de cana-de-açúcar porém o mesmo não foi visto por Nardin (2007) em cana de primeiro corte apesar do aumento dos teores de P e Ca no solo.

Foram encontrados nas análises de K^+ na camada de 0-25 cm (Figura 5A) 17,5% de teores muito baixos (até 0,7), 41,5% baixos (0,8 - 1,5), 27% médios (1,6 - 3), 10,2% altos (3,1 - 6,0) e 3,8% muito altos (maiores que 6). Observou-se nas análises de K^+ na profundidade de 25-50 cm (Figura 5B) que 39,5% foram classificadas como muito baixas, 39,2% como baixas, 16,2% médias, 4,4% altas e apenas 1% muito altas. Verifica-se que mais da metade (59%) nas amostras apresentaram teores baixos e muito baixos de K^+ na profundidade de 0-25 cm enquanto que nas camadas mais profundas essa faixa compreende 78,7% das amostras, valores inadequados para o bom desenvolvimento da cultura de acordo com Raij et al. (1997). Resultados semelhantes foram obtidos em trabalho realizado por Dias et al. (1999) em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Noroeste do Estado de São Paulo.

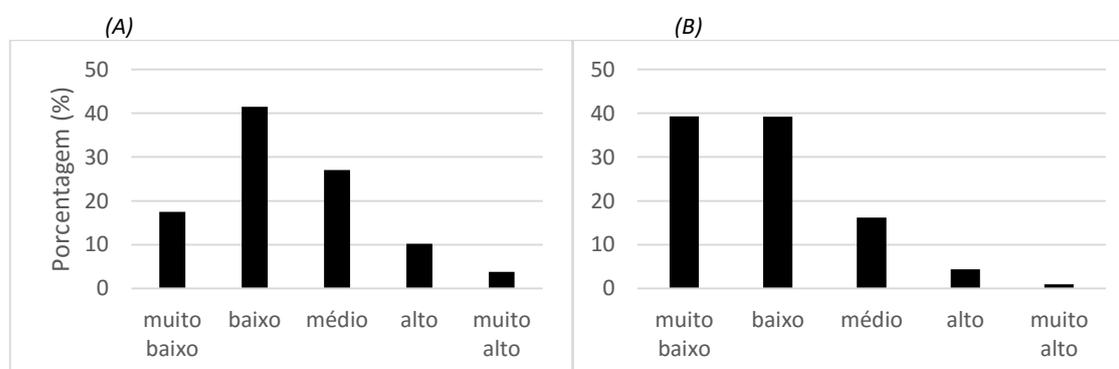


Figura 5 – (A) Teores de K^+ trocável (mmolc dm^{-3}) na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de K^+ trocável (mmolc dm^{-3}) na camada de solo 25-50 cm.

A adubação mineral potássica, como constatado por Caione et al. (2011), influencia positivamente a produtividade da cana-de-açúcar com doses de até 150 kg ha^{-1} de K_2O aplicada em cobertura, apresentando incremento de diâmetro, massa e altura de colmos. Resultados semelhantes foram observados por Rossetto et al. (2004) onde a aplicação de K_2O pela cana-de-açúcar foi de natureza linear para cana-planta e soqueiras.

A vinhaça é um dos principais resíduos da cana-de-açúcar, sendo que para cada litro de álcool produzido, são gerados em média 13 litros de vinhaça, é muito rica em nutrientes, por essa razão é utilizada como alternativa a adubação pela indústria canavieira no processo chamado de fertirrigação (PIRES e FERREIRA, 2008). Silva (2011) verificou-se que a utilização da vinhaça proporciona aumento significativo nos teores K e no pH do solo em profundidades de até 40 cm para texturas argilosas. Verificou-se ainda o aumento da produtividade de colmos em torno de 10,5 Mg ha⁻¹. Barbosa et al. (2013) observaram aumento do número de perfilhos no segundo e terceiro corte, além do maior rendimento de açúcar.

Verificou-se nas análises de Ca²⁺ na camada de 0-25 cm (Figura 6A) que 0,9% apresentaram teores baixos do nutriente (até 3), 3,5% tiveram teores médios (4 - 7) e 95,7% tiveram teores altos (maiores que 7). Os teores de Ca²⁺ na camada de 25-50 cm (Figura 6B) foram considerados 3,6% baixos, 14,8% médios e 81,7% altos.

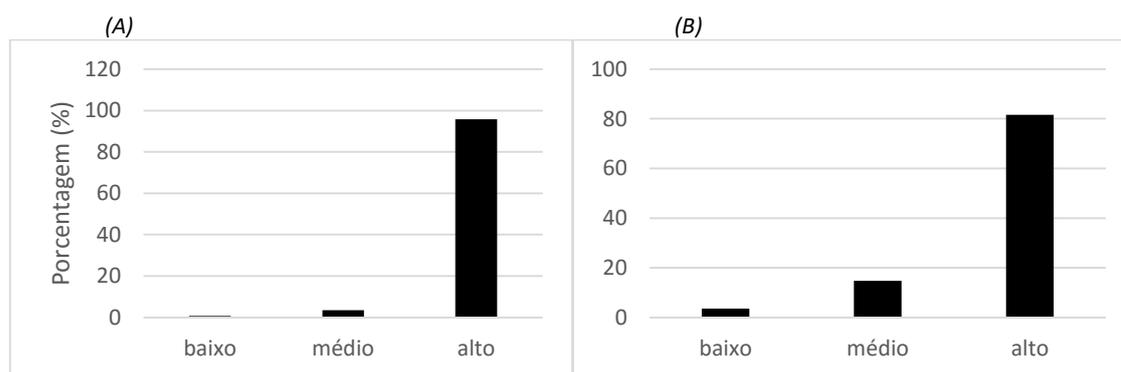


Figura 6 – (A) Teores de Ca²⁺ trocável (mmolc dm⁻³) na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de Ca²⁺ trocável (mmolc d⁻³) na camada de solo 25-50 cm.

Dentre todos os nutrientes analisados os tores de cálcio foram os que mais se apresentaram satisfatórios tanto nas camadas de 0-25 cm como nas 25-50 cm. Porem vale salientar os parâmetros sugeridos por Dadalto e Fullin (2001) e por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) se diferenciam bastante dos propostos por Raij et al. (1997). Dadalto e Fullin (2001) estabelecem teores de Ca²⁺ até 4,0 mmolc dm⁻³ como muito baixo, de 4,1-12 baixo, de 12,1-24 médio; de 24,1-40 alto e acima de 40 muito alto, enquanto que Ribeiro et al. (1999) estabelecem teores até 15 mmolc dm⁻³ como baixo, de 16-30 médio em acima de 30 alto. Utilizando esses parâmetros os teores de cálcio não estariam classificados em níveis tão elevados como este da metodologia de Raij et al. (1997).

Apesar dos altos níveis de cálcio obtidos a calagem não deve ser menosprezada, visto que a maior parte das amostras apresentaram níveis elevados de acidez e alumínio tóxico, principalmente na camada de 25-50 cm

O gesso agrícola pode ser utilizado como uma alternativa no fornecimento de cálcio ao solo, o gesso é bem mais solúvel que o calcário e possui consigo o íon SO_4^{2-} que facilita a movimentação do Ca para as camadas mais profundas do solo, auxiliando na redução do Al^{3+} ao longo do perfil. O gesso agrícola tem apresentado ganho de produtividade tanto em cana-planta como em soqueiras. As recomendações de gesso para a cultura da cana variam de acordo com os níveis de Ca e Al nas camadas inferiores do solo. Quando o teor de cálcio for $< 0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $\text{m\%} < 30$ recomenda-se 1 t gesso/há, quando o teor de cálcio for $< 0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $\text{m\%} > 30$ recomenda-se 2 t gesso há⁻¹. A aplicação do gesso pode ser realizada em área total a lanço, não necessitando ser incorporada ao solo (ORLANDO FILHO et al., 1994). A utilização do gesso agrícola pode ter resultados nos altos teores de Ca observados, uma vez que nota-se elevada acidez nas camadas estudadas (Figura 1 A e 1B). Isto se deve ao fato do gesso não ser um corretivo de acidez, mas sim um condicionador do solo.

Nas análises de Mg^{2+} na camada de 0-25 cm (Figura 7A) 12,7% do total tiveram baixos teores (até 4) de Mg trocável, 24,9% tiveram teores médios (5 -8) e 62,4% tiveram teores altos (maiores que 8). Na camada de 25-50 cm 33,8% das análises foram classificadas com baixos teores de Mg^{2+} (Figura 7B), 27,8% com médios teores e 38,4% com altos teores.

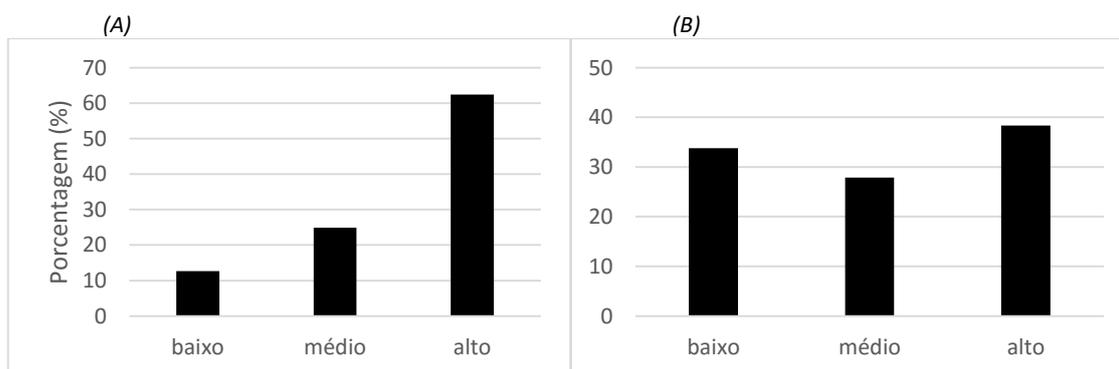


Figura 7 – (A) Teores de Mg^{2+} trocável (mmolc dm^{-3}) na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de Mg^{2+} trocável (mmolc dm^{-3}) na camada de solo 25-50 cm.

Os teores de Mg juntamente com os de Ca foram os únicos encontrados em quantidades satisfatórias nas análises, diferenciando-os de todos os demais nutrientes.

Esses teores podem ser explicados pelo fornecimento de Ca e Mg proveniente da calagem, pratica essa amplamente utilizada em solos da região devido a sua natureza ácida. Isso também explicaria os menores teores de Mg encontrados nas camadas de 25-50 cm, pois há uma dificuldade de incorporação de corretivos na fase atual da cultura (3° soca), podendo ser utilizados somente em cobertura.

Teores de $S-SO_4^{2-}$ na camada de 0-25 cm (Figura 8A) foram verificados como 4% baixos (até 4), 68,5% médios (5 - 10) e 27,4% altos (maiores que 10). Na camada de 0-25 cm 3,1% das análises de $S-SO_4^{2-}$ (Figura 8B) foram indicadas como baixas, 42,7% como médias e 54,2% como altas. Esses resultados também foram observado por Dias et al. (1999) em solos cultivados com cana-de-açúcar na região noroeste do estado de São Paulo. Apesar dos teores de enxofre satisfatórios obtidos nas análises, o fornecimento do elemento ao solo não deve ser negligenciado visto que o S é um macronutriente essencial e por tanto limitante ao crescimento da cultura (VITTI e HEIRINCHS, 2006).

Observou-se um aumento dos teores de enxofre acima de 10 mg dm^{-3} na faixa de 25-50 cm em comparação com a faixa de 0-25 cm, esse aumento na camada inferior está relacionado as cargas do solo que são predominantemente negativas nas camadas superficiais, isso associado a natureza aniônica do enxofre leva a lixiviação do nutriente para as camadas mais profundas, onde a presença de cargas positivas é maior (SFREDO e LANTMANN, 2007). O mesmo efeito foi observado por Nogueira e Melo (2003) em experimento realizado em Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com Soja.

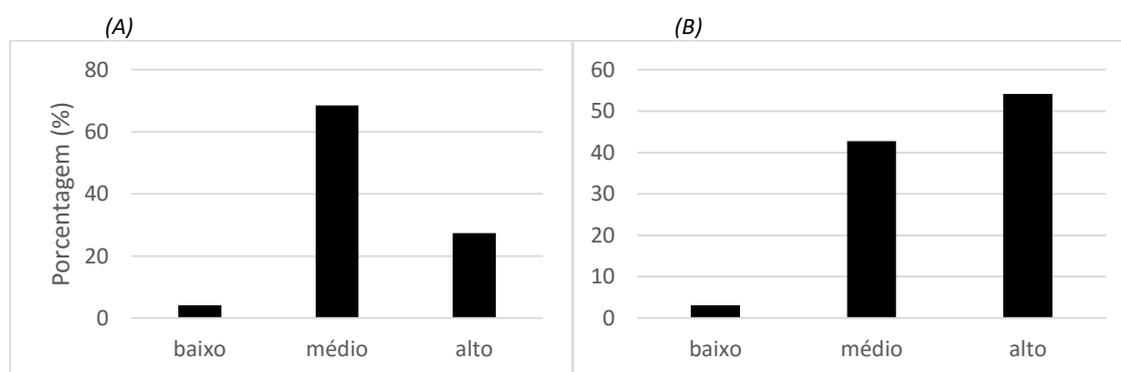


Figura 8 – (A) Teores de $S-SO_4^{2-}$ trocável (mg dm^{-3}) na camada de solo 0-25 cm. (B) Teores de $S-SO_4^{2-}$ (mg dm^{-3}) na camada de solo 25-50 cm.

5. CONCLUSÕES

1 - Os teores de P-disponível, K^+ e a V% foram considerados baixos pelos parâmetros propostos, enquanto que Ca^{2+} , Mg^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ foram encontrados em quantidades satisfatórias.

2 – Os maiores teores de nutrientes foram encontradas na camada de 0-25 cm com exceção do enxofre.

3 - Os teores de alumínio foram mais elevados na camada de 25-50 cm, assim como a acidez.

6. BIBLIOGRAFIA

AFOCAPI. ASSOCIAÇÃO DOS FORNECEDORES DE CANA DE PIRACICABA (Brasil). **Métodos de correção do solo**. 2010. Disponível em: <http://www.cana.com.br/afocapi/METODOS_DE_CORRECAO_DO_SOLO.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2016.

AGEITEC. AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Cana-de-açúcar**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_1_711200516715.html>. Acesso em: 19 abr. 2015.

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S.. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: Anda, 1998. 43 p.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752p.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p.588-594, mar. 2013.

BEAUCLAIR, E. G. F. de (Ed.). **Conceitos gerais em cana-de-açúcar -i**. Piracicaba: Esalq-USP, 2008. 58 slides, color. Disponível em: <http://www.lpv.esalq.usp.br/lpv0684/botanica_e_fenologia-conceitos_Cana-de-açucar_GRADUAcao.pdf>. Acesso em: 05 maio 2015.

BLANKENAU, K.. Cálcio nos solos e nas plantas. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 117, p. 17-19. mar. 2007.

BRAIT, M. A. H. **Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

CAIONE, G.; SILVA A. F; REIS, L. L.; DALCHIAVON, F. C.; TEIXEIRA, M. T. R.; SANTOS, P. A. Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no norte matogrossense. **Bioscience Journal**. Uberlândia, p. 572-580. ago. 2011.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 355-412.

CARVALHO, J. M; ANDREOTTI; M; BUZETTI S.; CARVALHO M. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 13, n. 1, p.1-9, mar. 2013.

COLETTI, J. J.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. **Remoção de Macronutrientes pela cana-planta e cana-soca , em argisolos, variedades RB835486 e SP81-3250.** STAB. Olímpia - SP, p. 1-33. jun. 2006.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Safra Agrícola de cana-de-açúcar.** Brasília-DF: Conab, 2006. 13 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7126d0d2db65a18f1eeb403636c5124f.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **ISSN: 2318-7921: Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar.** 1 ed. Brasília: Conab, 2015. 33 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2015.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **ISSN: 2318-7921. Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar.** Brasil: Conab, 2016. 70 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_23_17_34_53_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2016.

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A.. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo:** 4ª aproximação. Vitória: Seea/incaper, 2001. 275 p.

DEMATTÊ, J. L. I. **Cultura da cana-de-açúcar:** Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos da fertilidade dos solos. 111. ed. Brasil: Potafos, 2005.

DEMATTÊ, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. **Uso de Silicatos em Cana-de-açúcar.** 133. ed. Brasil: International Plant Nutrition Institute, 2011.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 23, p.627-634, 1999.

FERRAZ, R. L. S.; BARBOSA, M. A.; BATISTA J. L.; MAGALHÃES, I. D.; DANTAS, G. F.; FRANCO, F. O. Calagem em cana-de-açúcar: Efeitos no solo, planta e reflexos na produção. **Interfacehs: Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 10, n. 1, jun. 2015.

FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J. B.. **Toxidez de alumínio em culturas anuais.** 63. ed. São Carlos: Embrapa, 2006. 34 p.

FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; POLITI, L. S.; ALMEIDA T. B. F. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária**, Goiânia, v. 1, n. 42, p.106-111, jan/mar. 2012.

KORNDÖRFER, G. H.. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 291-306.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: Anda Associação Nacional Para Difusão de Adubos, 1991. 17 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação de Plantas**. São Paulo: Livraria Pioneira, 1974.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p. p.123.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição de Plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F.. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C.. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 189-250.

MARIN, F. R. (Brasil). Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Solos do Brasil e a cana-de-açúcar**. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html>. Acesso em: 28 fev. 2016.

MATIELLO, J. B.; JAPIASSÚ, L. B.. **Deficiência e desequilíbrio de magnésio no solo e em cafeeiros**. Disponível em: <<http://fundacaoprocafe.com.br/downloads/Folha018Magnesio.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

MELLO, F. de A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIHIL, J. C. **Fertilidade do Solo**. 3. ed. Piracicaba: Nobel, 1989. 400 p.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: Mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, v. 24, p.11-30, jan. 2010.

MORAES NETO, S. P. de. **Acidez, alcalinidade e efeitos da calagem no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/112/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. V. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, Tsuioshi. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 93-118.

NARDIN, R. R.. **Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas.** 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J.. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Jaboticabal, v. 27, p.655-663, 2003.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H.. **Seja o doutor do seu canavial.** 67. ed. Piracicaba: Potafos, 1994.

PAIVA, P. J. R. **Enxofre no sistema solo-planta-animal.** Campo Grande: Embrapa, 1994. 48 p.

PEREIRA, J. R; FARIA, C. M. B.; MORGADO, L. B.. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade de cana-de-açúcar em vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p.43-48, jan. 1995.

PEREIRA, J. R; FARIA, C. M. B. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p.1179-1174, jul. 1998.

PIRES, R. A. P.; FERREIRA, O. M.. **Utilização da vinhaça na bio-fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar: Estudo de caso em Goiás.** Goiânia: Ucg, 2008.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 03, p.375-383, mar. 1993.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; Cálcio, Magnésio e Correção da Acidez do Solo. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** 1. ed. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2008. 882p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim técnico N° 100:** Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Iac, 1997. 285 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação.** São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.. **Fósforo na Agricultura Brasileira.** Piracicaba: Potafos, 2004. p. 107-115.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H.. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação.** Viçosa: Sbc, 1999. 359 p.

RODRIGUES, S. R. **Direção preferencial de crescimento de raízes de cana-de-açúcar**. 2008. 36 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ROSOLEM C. A interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 239-260.

RONQUIM, C. C. (Brasil). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 8. ed. Campinas, 2010. 28 p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**: Indagações e reflexões. 110. ed. Brasil: Potafos, 2005.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO JUNIOR, J. P. Q.; Fósforo. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2008. 882p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2008. 882p.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 01, n. 63, p.105-119, jan. 2004.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Árvore do conhecimento. Cana-de-Açúcar: Adubação - resíduos alternativos**. 2015. Elaborado por AGEITEC. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 21 abr. 2016.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Árvore do Conhecimento Cana-de-Açúcar: Correção e adubação**. 2015. Elaborado por AGEITEC. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_6_711200516715.html>. Acesso em: 05 maio 2015b.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Árvore do conhecimento. Cana-de-Açúcar: Diagnóstico visual**. 2015. Elaborado por AGEITEC. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fhvuyvvaq02wyiv80v17a09ehcm584.html>>. Acesso em: 06 jul. 2015a.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p.454-461, dez. 2010.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C.. **Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol**. 2. ed. Viçosa: Independente, 2011. 637 p.

SANTOS, H. G. (Brasil). Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Saturação por Bases**.2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_21_2212200611544.html>. Acesso em: 29 fev. 2016.

SARTORI, R. H. **Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. 2010. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, Á. F.. **Enxofre**: Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. 53. ed. Londrina: Embrapa, 2007. 6 p.

SILVA, A. M. P.. **Fertirrigação com o uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar e seu efeito no solo**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção e Gestão Agroindustrial, Anhanguera, Campo Grande, 2011.

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

STIPP, S. R.; CASARIN, V.. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n. 129, p. 14-20. mar. 2010.

TEIXEIRA, W. G; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H.. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**. Uberlândia, p. 1729-1736. dez. 2014.

THOMAZI, M .d.; MELLO, F. A. F.; ARZOLLA, S.. fatores que contribuem para a fixação do fósforo em solos do município de Piracicaba. **Esalq**, Piracicaba, v. 47, n. 1, p.177-191, 1990.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. **Manejo do nitrogênio e adubação da cana-de-açúcar**. 2006. CENA/USP. Piracicaba-SP.

UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR. **Indústria Brasileira da Cana-de-açúcar: Uma trajetória de evolução**. 2014. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linhadotempo/index.html>>. Acesso em 28 abr. 2015.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Produção Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 42, p.1-8, fev. 2007.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H. TRIVELIN, P.C.O.; BOLOGNA-CAMPBELL, I. Enxofre. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2008. 882p.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T;

ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2006. p. 109-157.

WIEND T. Magnésio nos solos e nas plantas. **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n. 117, p. 17-19. mar. 2007.

ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo: Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p.22-28. 2011.