

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FILIPE AUGUSTO NOGUEIRA ARAUJO

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADE DE CALAGEM E SUA
EFICIÊNCIA NA CORREÇÃO DOS SOLOS DO CERRADO

CURITIBA

2021

FILIFE AUGUSTO NOGUEIRA ARAUJO

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADE DE CALAGEM E SUA
EFICIÊNCIA NA CORREÇÃO DOS SOLOS DO CERRADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Pós-graduação em
Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do
Programa de Educação Continuada em
Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Paraná como requisito para obtenção de
certificado de Especialização.

Orientadora: Prof. Dra. Bruna Ramalho

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha esposa Katieli e meu filho João Filipe pela força, incentivo e cooperação principalmente nas horas mais difíceis e tumultuadas.

Ao meu irmão, Gustavo Araujo, que sempre me ajudou durante minha caminhada.

Aos professores deste curso de especialização, que nunca mediram esforços para ensinar e fizeram despertar em mim o interesse pelo universo do conhecimento.

À Prof. Dra. Bruna Ramalho pela orientação e disponibilidade em ajudar com o desenvolvimento do trabalho.

Aos meus amigos Henrique e Heliomar pelo incentivo e amizade durante o período do curso.

Ao meu amigo Gabriel pela cooperação e compartilhamento de informações relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

A área agricultável no Brasil em sua grande maioria está localizada no bioma Cerrado, representando cerca de 40% da produção nacional de culturas agrícolas anuais. Dados comprovam que as médias de produtividade das lavouras do Cerrado podem ser até três vezes superiores às do Brasil. Apesar de sua relevância no cenário agrícola, esse bioma ainda apresenta solos com elevada acidez e baixa fertilidade, que refletem diretamente na perda de produtividade das culturas. A operação de calagem surge como uma aliada para garantir que esses solos possam ser cultivados, diminuindo os empecilhos produtivos dos solos de elevada acidez. Existem hoje vários métodos para cálculo da quantidade de corretivo a ser aplicado para correção da acidez do solo, mas informações sobre possíveis diferenças, vantagens e desvantagens entre cada metodologia para os solos desse bioma ainda são escassas. Diante disso, o presente estudo teve por objetivo verificar a eficiência dos diferentes métodos de cálculo de necessidade de calagem para os solos do Cerrado. O trabalho foi desenvolvido através de revisão bibliográfica, com pesquisa e leitura de artigos científicos no período de julho a outubro de 2021. Procedeu-se com a escolha dos artigos através das bases científicas SciELO e Google® Acadêmico, com seleção de artigos nacionais e internacionais de alta relevância. De forma ainda incipiente foi possível verificar que os métodos pH SMP e o de incubação do solo com carbonato de cálcio (CaCO_3) mostraram ser os métodos mais eficientes e eficazes em relação a quantidade de corretivo utilizado, bem como, na capacidade de elevar a saturação por bases desses solos (V%). A maior parte dos trabalhos analisados trouxeram informações relevantes a respeito do estudo da calagem para os solos desse bioma, mas vale ressaltar que devido ao número limitado de publicações não foi possível estabelecer respostas concretas em torno desse tema. Pesquisas futuras devem ser conduzidas e investigadas para fechar essa lacuna de conhecimento da eficiência dos métodos de avaliação de necessidade de calagem para os solos do Cerrado brasileiro.

Palavras-chave: corretivos agrícolas, calcário, fertilidade do solo, acidez do solo, método pH SMP

ABSTRACT

The agricultural area in Brazil is mostly located in the Cerrado biome, representing around 40% of the national production of annual agricultural crops. Despite its relevance in the agricultural scenario, this biome still presents soils with high acidity and low fertility, which directly reflect on the loss of crop productivity. The liming operation appears as an ally to ensure that these soils can be cultivated, reducing the productive obstacles of high acid soils. There are currently several methods for calculating the amount of corrective to be applied to correct soil acidity, but information on possible differences, advantages and disadvantages between each methodology for soils in this biome is still scarce. Therefore, this study aimed to verify the efficiency of different methods of calculating the need for liming for Cerrado soils. The work was developed through a bibliographic review, with research and reading of scientific articles from July to October 2021. The choice of articles was proceeded through the scientific bases SciELO and Google® Academic, with selection of national and international articles of high relevance. In an incipient way, it was possible to verify that the pH SMP and the soil incubation with calcium carbonate (CaCO_3) methods proved to be the most efficient and effective methods in relation to the amount of corrective used, as well as in the capacity to increase saturation by bases of these soils (V%). Most of the studies analyzed provided relevant information regarding the study of liming for the soils of this biome, but it is noteworthy that due to the limited number of publications, it was not possible to establish concrete answers on this topic. Future research should be conducted and investigated to close this gap in knowledge of the efficiency of liming need assessment methods for soils in the Brazilian Cerrado.

Keywords: agricultural correctives, limestone, soil fertility, soil acidity, pH SMP method.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.2 HIPÓTESE GERAL.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 ACIDEZ DO SOLO.....	9
3.1.1 ACIDEZ ATIVA	10
3.1.2 ACIDEZ POTENCIAL.....	10
3.2 PROCESSOS DE ACIDIFICAÇÃO DO SOLO.....	10
3.3 CORRETIVOS DE ACIDEZ	11
3.3.1 CALCÁRIO.....	12
3.3.2 CAL VIRGEM AGRÍCOLA	12
3.3.3 CAL HIDRATADA AGRÍCOLA OU CAL EXTINTA.....	12
3.3.4 CALCÁRIO CALCINADO.....	13
3.3.5 CARBONATO DE CÁLCIO	13
3.3.6 ESCÓRIA DE SIDERURGIA.....	13
3.4 MÉTODOS DE CALAGEM	13
3.4.1 MÉTODO DO pH SMP.....	14
3.4.2 MÉTODO DO ALUMÍNIO TROCÁVEL, CÁLCIO E MAGNÉSIO (Al^{3+} Ca^{2+} + Mg^{2+})	14
3.4.3 MÉTODO DO ALUMÍNIO TROCÁVEL	15
3.4.4 MÉTODO DA SATURAÇÃO POR BASES (V%).....	16
3.4.5 MÉTODO DA INCUBAÇÃO	16
4 INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADE DE CALAGEM PARA OS SOLOS DO BIOMA CERRADO	17
5 CONCLUSÕES	18
6 REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda global de alimentos, cada vez mais dependemos do aumento da produtividade dos agricultores e conseqüentemente do emprego de novas tecnologias no campo. A área agricultável no Brasil em sua grande maioria está localizada no bioma Cerrado, sendo responsável por 40% da produção total nacional de culturas agrícolas anuais (Bolfé et al., 2020). Além disso representa 52% e 44% da produção brasileira de milho e soja, respectivamente, e 59% de toda produção nacional de café (Sousa & Lobato, 2003). Dados comprovam que as médias de produtividade das lavouras do Cerrado podem ser até três vezes superiores às do Brasil, desde 1976 a produtividade de soja no cerrado vem superando as produtividades do sul do país em todas as safras (CONAB, 2017). Embora sua relevância no cenário agrícola, o Cerrado ainda apresenta solos com elevada acidez e baixa fertilidade, que refletem naturalmente na perda de produtividade das culturas. A acidez dos solos desse bioma se deve pelas constituições dos materiais de origem e sua elevada intemperização (Siqueira Neto et al., 2009), associado a utilização de fertilizantes de caráter ácido, como o fosfato monoamônico (MAP) e o sulfato de amônio. Cerca de 46% do território do cerrado brasileiro é formado por solos classificados como Latossolos (Reatto et al., 1998). Estes solos são profundos, bastante intemperizados e com intensa lixiviação, resultando em uma baixa atividade das argilas e uma menor capacidade de troca catiônica (Ker, 1998). Neste sentido, a operação de calagem surge como uma aliada para garantir que esses solos possam ser cultivados, contribuindo com a diminuição destes empecilhos produtivos.

A calagem consiste em uma operação de incorporação, ao sistema produtivo, de materiais capazes de neutralizar a acidez do solo, além de fornecer os elementos como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). De modo geral, a acidez do solo está diretamente associada a presença de alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}) em concentrações elevadas e tóxicas para o desenvolvimento da planta, e pode ser dividida em acidez ativa e potencial. A acidez ativa representa a atividade de íons H^+ na solução do solo, e é expressa pelo valor de pH determinado em água ou solução salina. Enquanto, a acidez potencial está associada a quantidade de Al^{3+} e as fontes de H^+ adsorvidos na superfície dos colóides do solo (Ebeling et al., 2008). O calcário, consiste no resultado da moagem de rochas sedimentares com elevado teor de carbonato de cálcio, e é o material corretivo mais utilizado na operação de calagem.

Este corretivo além de corrigir a acidez, atua como um excelente fornecedor de Ca^{2+} e Mg^{2+} e agente neutralizador do Al^{3+} trocável, porém apenas nas camadas superficiais do solo. Deste modo, esta operação melhora as condições do solo para que as culturas tenham uma maior possibilidade de atingir o seu melhor desenvolvimento. Entretanto, uma operação de calagem realizada com quantidades de corretivos diferentes das indicadas pelos manuais técnicos tende a causar um desequilíbrio aos atributos químicos do solo. Além disso, o calcário trata-se de um recurso finito e, portanto, formas de utilização sustentável devem ser avaliadas para que seu emprego nas lavouras seja contínuo para as gerações futuras.

Verifica-se também que o cerrado apresenta uma produtividade média de soja maior em relação ao restante do país, e desta forma podemos inferir que ainda é possível um incremento de produtividade para esta região (CONAB, 2017).

Existem hoje vários métodos utilizados para encontrar a real necessidade de calagem para a correção de determinado solo. Informações sobre possíveis diferenças, vantagens e desvantagens entre cada método para os solos do bioma Cerrado ainda são escassas. E conhecida a importância do Cerrado para o cenário do agronegócio e a expansão na economia agropecuária brasileira justificam a realização e a importância do presente estudo.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Verificar a eficiência dos diferentes métodos de cálculo para necessidade de calagem para os solos do Cerrado.

Objetivos Específicos

- Identificar as vantagens e desvantagens quanto aos métodos de cálculo de necessidade de calagem;
- Revisar os resultados em relação a eficiência do método utilizada para correção da acidez do solo quanto ao tipo e quantidade de corretivo;
- Revisar os resultados em relação a eficiência do método utilizada para correção da acidez do solo quanto as melhorias químicas, físicas e biológicas ao solo;

- Estabelecer o(s) melhor(es) método(s) de cálculo de necessidade de calagem para os solos do bioma Cerrado.

1.2 HIPÓTESE GERAL

Solos do bioma Cerrado apresentam um método de cálculo de necessidade de calagem mais adequado as suas especificidades e para melhor correção em termos de quantidade de corretivo, produtividade das culturas e melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através de revisão bibliográfica, com pesquisa e leitura de artigos científicos no período de julho a outubro de 2021. Procedeu-se com a escolha dos artigos através das bases de dados SciELO e Google® Acadêmico, com seleção de artigos nacionais e internacionais de boa relevância, que transcrevem a realidade dos solos do Cerrado brasileiro quanto aos métodos de calagem e sua eficiência na correção destes. Após o processo de leitura e escolha dos artigos de interesse, procedeu-se com a interpretação e análise crítica dos mesmos, culminando em um conjunto de dados que gerou o presente trabalho.

Por fim, para este estudo foram levantados 15 artigos científicos, nos quais 2 foram de fontes internacionais, publicados em inglês, e 11 artigos de fontes nacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ACIDEZ DO SOLO

Lopes (1991) sugere que um solo pode ser naturalmente ácido devido a dois fatores principais: pela pobreza do material de origem ou pela adição de fertilizantes nitrogenados nos sistemas produtivos. Sousa & Lobato (2004) complementam que a acidez de um solo também pode ser alterada pelos manejos produtivos, no que se refere a cultivos e adubações, acelerando o processo.

Além disso com o processo de decomposição da matéria orgânica há formação tanto de ácidos orgânicos quanto de inorgânicos, contribuindo para o aumento da acidez do solo principalmente pela formação de ácidos fortes que aumentam a concentração de íons H^+ na solução do solo (Oliveira, et al. 2005).

Segundo Oliveira et al. (2005) em geral o processo de elevação dos teores de acidez do solo surge com o contato dos ácidos do solo com a solução aquosa deste, ocorrendo a dissociação em:



Através deste processo temos o aumento dos teores de íons H^+ e a saída das bases da solução do solo. Este processo é acelerado pela remoção destas bases da solução do solo ocasionada principalmente pela lavagem pela água da chuva e irrigação de elementos como Ca^{2+} e Mg^{2+} culminando no contínuo aumento da acidez do solo e elevação dos teores de alumínio tóxico (Al^{3+}) (Oliveira, et al. 2005).

Segundo Oliveira (2018) a acidez do solo é dividida em acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa refere-se à concentração de íons de hidrogênio (H^+) dissociados na solução do solo, sendo expressa em valores de pH. Já a acidez potencial contempla os elementos que liberam o íon H^+ para a solução do solo, contendo principalmente o alumínio trocável e os grupos funcionais ($-COOH$ e OH^-) da matéria orgânica.

3.1.1 ACIDEZ ATIVA

A acidez ativa é determinada pela atividade de íons H^+ na solução de solo. O cálculo de pH (potencial hidrogeniônico) foi introduzido para representar a concentração de H^+ em uma solução, e é calculado pela seguinte fórmula:

$$pH = -\log [H^+] = \log 1/[H^+]$$

Segundo Camargos (2005) a escala de pH para a maioria dos solos brasileiros varia de 4,0 a 7,5. Em termos práticos cada unidade de mudança no pH do solo indica uma mudança de 10 vezes no grau de acidez deste solo.

3.1.2 ACIDEZ POTENCIAL

A acidez potencial se refere aos elementos que podem se dissociar, liberando o íon H^+ para a solução do solo, abrangendo o alumínio trocável (Al^{3+}) adsorvido aos coloides de carga negativa do solo e os grupos funcionais ($-COOH$ e OH^-) da matéria orgânica (Lepsch, 2011).

A acidez potencial pode ser classificada em trocável, incluindo os íons H^+ e Al^{3+} retidos na superfície dos coloides, e não trocável compreendendo o hidrogênio de ligação valente ligado aos coloides de carga negativa e aos compostos de alumínio (Oliveira, et al. 2005).

Segundo Pavan et al. (1985) a acidez potencial limita o desenvolvimento radicular pela alta concentração de Al^{3+} tóxico e íons H^+ . Favorece também que elementos dissociados sejam lixiviados na solução do solo devido a seus componentes ocuparem espaço nos coloides.

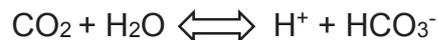
3.2 PROCESSOS DE ACIDIFICAÇÃO DO SOLO

Ciotta et al. (2002) cita que a acidificação do solo é um processo natural que pode ser acelerado ou intensificado em sistemas agrícolas, principalmente pelo emprego de fertilizantes de reação ácida. Entender os processos que culminam na acidificação do solo se torna um aspecto fundamental para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Segundo Oliveira et al. (2005) existem três principais reações que provocam a acidificação do solo:

- Dissociação do gás carbônico.

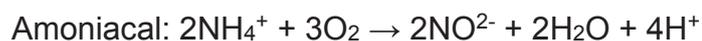
Reação ocorre de forma natural e envolve a dissociação do gás carbônico em contato com a água na solução do solo:



O H^+ transfere-se para a fase sólida do solo liberando um cátion trocável que é lixiviado junto ao bicarbonato.

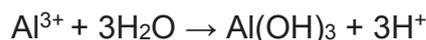
- Reação de fertilizantes de reação ácida

Reação ocorre através da transformação dos fertilizantes, sob ação dos microrganismos do solo, liberando H^+ na solução do solo. O principal exemplo é a reação que envolve os fertilizantes com reação amoniacal.



- Reação de hidrólise do alumínio

Reação de hidrólise do alumínio na solução do solo, liberando íons H^+ . Esta liberação de hidrogênio a partir dos hidróxidos faz o pH cair, culminando na acidificação do solo.



3.3 CORRETIVOS DE ACIDEZ

Segundo a Instrução Normativa nº 4, de 02/08/2004 (Brasil, 2004-c) no Brasil são denominados corretivos de acidez dos solos os seguintes materiais: calcário, cal virgem agrícola, cal hidratada agrícola ou cal extinta, calcário calcinado e carbonato

de cálcio. Além destes um elemento que vem ganhando destaque com ação corretiva são as escórias de siderurgia.

3.3.1 CALCÁRIO

Material obtido pela moagem de rochas sedimentares calcárias. É composto por carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). Os calcários são classificados em função do seu teor de óxido de magnésio (MgO) como: calcíticos, caso apresentem teor de MgO menor que 5%; magnesianos, caso apresentem teor de MgO entre 5% e 12%; e dolomíticos, caso apresentem teor de MgO maior que 12%. O calcário libera no solo $[\text{CO}_3]^{2-}$, Ca^{2+} e Mg^{2+} . As principais reações do calcário no solo incluem o contato com a água da solução do solo, formando íons de cálcio e magnésio e ânions HCO_3^- e OH^- . Estes ânions formados reagem com o H^+ e o Al^{3+} , reduzindo a acidez do solo. Como resultado final temos o aumento do pH, neutralização do alumínio tóxico e fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas.

3.3.2 CAL VIRGEM AGRÍCOLA

Material originado pela calcinação ou queima completa do calcário. É constituído por CaO e MgO . Tem uma natureza física bem mais fina que o calcário. Em contato com solo a cal virgem libera Ca^{2+} , Mg^{2+} , OH^- e calor. A liberação de OH^- é imediata e total, neutralizando o H^+ da solução do solo, resultando em um aumento do pH e diminuição da acidez do solo.

3.3.3 CAL HIDRATADA AGRÍCOLA OU CAL EXTINTA

Através da hidratação da cal virgem obtém-se a cal hidratada agrícola ou cal extinta. É constituída por hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Também apresenta uma natureza física mais fina comparada ao calcário. Possui uma ação neutralizante análoga à da cal virgem: a cal virgem utiliza água contida na solução do solo para hidratar-se, enquanto a cal hidratada vem hidratada através de um processo industrial.

3.3.4 CALCÁRIO CALCINADO

Material obtido através de um processo industrial de calcinação parcial do calcário. Seus constituintes são CaCO_3 e MgCO_3 ; CaO e MgO ; e também Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2 resultantes da hidratação dos óxidos pela umidade do ar. Também possui natureza física fina. Sua ação neutralizante da acidez do solo é resultado da ação da base forte OH^- e da base fraca $[\text{CO}_3]^{2-}$.

3.3.5 CARBONATO DE CÁLCIO

Obtém-se carbonato de cálcio através da moagem de margas, que são depósitos terrestres deste material. Pode ser obtido também através da moagem de corais e sambaquis, que são depósitos marinhos deste material. Tem ação neutralizante de acidez bem próxima a dos carbonatos de cálcio dos calcários.

3.3.6 ESCÓRIA DE SIDERURGIA

Subproduto da indústria siderúrgica do ferro e do aço. Seus constituintes são o silicato de cálcio (CaSiO_3) e o silicato de magnésio (MgSiO_3). Possui ação neutralizante da acidez do solo bem próxima a do calcário, porém com uma ação mais lenta e prolongada na liberação de nutrientes (Prado & Fernandes, 2000).

3.4 MÉTODOS DE CALAGEM

Para se determinar qual a melhor forma de se realizar uma calagem, vários métodos foram construídos visando a obtenção dos melhores resultados produtivos em relação as culturas de interesse. Vários são os métodos de cálculo para obtenção da necessidade de calagem de determinado solo. Necessidade de calagem consiste na obtenção da quantidade de corretivo necessária para neutralizar a acidez de um determinado solo, passando de um estágio inicial até a obtenção de valores de interesse (Sousa & Lobato, 2004).

Segundo Sousa et al. (1997) no maior trabalho já realizado no intuito de entender possíveis variações entre os métodos de definição de necessidade de calagem, especificamente para o território do Cerrado brasileiro, a recomendação de

calcário utilizando-se de qualquer um dos três métodos testados em seu trabalho, sendo eles, o método do alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, método da saturação por bases e método SMP, levaria o solo a condições de pH e de saturação por bases adequadas a altas produtividades. Este autor identificou que o método do alumínio, cálcio e magnésio trocáveis poderia recomendar doses excessivas de corretivos em solos com CTC menor que $4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ou maior que $12,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, gerando empecilhos em sua utilização. Os autores ainda verificaram que os métodos da saturação por bases e o método SMP chegaram a doses semelhantes de calcário.

Segundo Campanharo et al. (2007) em um estudo realizado no estado de Pernambuco no bioma Caatinga, os métodos do alumínio trocável, cálcio e magnésio e o método da saturação por bases proporcionaram um maior aumento dos valores de pH, diminuindo a acidez.

Nolla & Anghinoni (2006) citam que em seu trabalho os indicadores de pH em água e o de saturação por bases foram os mais adequados para a tomada de decisão de calagem, seguidos do Al trocável ou da sua saturação na CTC.

3.4.1 MÉTODO DO pH SMP

Shoemaker et al. (1961) propuseram uma solução tamponada a pH 7,5 como forma de determinar o poder tampão de uma amostra de solo. Esta solução é utilizada num método de determinação de necessidade de calagem denominado pH SMP. Consiste na utilização da solução SMP em mistura a uma amostra do solo de interesse, para determinar a curva de decréscimo do pH para esta amostra. Esse decréscimo do pH da amostra em mistura com a solução SMP é proporcional ao poder tamponante do solo, ou seja, o pH SMP corresponderá ao valor do pH em estado de equilíbrio alcançado pela suspensão da amostra de solo e a solução-tampão SMP (Silva et al., 2006). Através destes valores é possível através de uma tabela, identificar a real necessidade de calagem para este solo.

3.4.2 MÉTODO DO ALUMÍNIO TROCÁVEL, CÁLCIO E MAGNÉSIO (Al^{3+} Ca^{2+} Mg^{2+})

Segundo Sousa & Lobato (2004) esse método foi proposto baseado na ideia de que o alumínio seria o fator determinante na acidez dos solos tropicais. Porém verificou-se que alguns solos apresentavam baixos teores de alumínio trocável e

mesmo assim elevada acidez. Com a saída dessas bases do sistema através da lixiviação ocasionada pela água da chuva e da irrigação foi constatado que os baixos teores de cálcio e magnésio também eram determinantes na acidez destes solos. Pois estes elementos que outrora ocupavam espaços na solução do solo saem do sistema e abrem espaços para o aumento da concentração de agentes acidificantes que contribuem para o aumento gradativo da acidez destes solos. O método foi constituído então para se levar em conta e corrigir os teores de alumínio trocável além de fornecer cálcio e magnésio ao solo.

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(2 \times Al^{3+}) + 2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times f$$

Onde:

Al^{3+} = teor de alumínio trocável

Ca^{2+} = teor de cálcio

Mg^{2+} = teor de magnésio

$f = 100/PRNT$

Sousa & Lobato (2004) cita que esse foi o método mais utilizado para determinação da necessidade de calagem nos solos do Cerrado.

3.4.3 MÉTODO DO ALUMÍNIO TROCÁVEL

Segundo Camargos (2005) o alumínio é um grande contribuinte negativo no quesito de acidez dos solos, e deste modo construiu-se um método baseando-se unicamente no teor de alumínio trocável (Al^{3+}) de determinado solo.

Para este método é considerado que:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 1,5 \times [Al^{3+}]$$

Se a cultura de interesse for tolerante a acidez

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2,0 \times [Al^{3+}]$$

Se a cultura de interesse for sensível a acidez

3.4.4 MÉTODO DA SATURAÇÃO POR BASES (V%)

Segundo Sousa & Lobato (2004) este método baseia-se na elevação da porcentagem de participação das bases na capacidade de troca catiônica (CTC) até um valor de interesse. Para efeitos de correção são consideradas bases o potássio (K^+), o sódio (Na^+) em ambientes salinos, e em maior escala o cálcio e o magnésio (Ca^{2+} Mg^{2+}), estes dois últimos são os elementos presentes nos corretivos mais utilizados.

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(V2 - V1)/100] \times T \times f$$

Onde:

V2 = saturação de bases desejada

V1 = saturação de bases atual

T = CTC a pH 7,0 (CTC potencial)

f = 100/PRNT

3.4.5 MÉTODO DA INCUBAÇÃO

Malavolta (1984) cita que o método da incubação com $CaCO_3$ é o método padrão para determinação da necessidade de calagem, e além disso deve ser visto como um modelo para calibração de outros métodos. Segundo o autor este método não é utilizado com maior frequência por demandar um maior tempo na sua execução.

Consiste na construção de curvas de neutralização da acidez de um solo incubado em uma solução de $CaCO_3$. As amostras são colocadas em soluções com doses crescentes de $CaCO_3$, diariamente por um longo período de tempo, observando a manutenção da umidade do ambiente sob controle. Após o fim do processo procede-se com a leitura do pH e a construção das curvas de neutralização para estas amostras.

4 INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADE DE CALAGEM PARA OS SOLOS DO BIOMA CERRADO

O retorno produtivo através da utilização da calagem pode não ser imediatista, porém, garante ao produtor cultivar em determinadas condições de solo por um longo período. Através deste trabalho, foi possível verificar uma grande escassez a respeito de estudos atualizados e da existência destes no cenário da pesquisa brasileira. Podemos verificar ainda que estamos desatualizados neste tema que tem um grande interesse em termos de aumentar a sustentabilidade do ambiente produtivo nacional e principalmente na região do Cerrado.

Realizar uma calagem mais sustentável operacionalmente deveria ser estudo e tema de interesse para todos os produtores do Cerrado. Esse bioma possui um excelente ambiente produtivo e inúmeras ferramentas capazes de garantir a sua construção a longo prazo. Esse fato observado foi visto como um assunto chave que deve ser levado em consideração para o desenvolvimento de um estudo de modo a alcançar um resultado cada vez mais satisfatório e sustentável para as gerações futuras.

Existem inúmeras diferenças entre os métodos de cálculo de necessidade de calagem. A principal delas está na forma de utilização das fórmulas, pois cada uma deve ser utilizada para uma realidade própria, e que atenda com eficiência o propósito dessa prática agrícola. Um exemplo é o estudo de Sousa et al. (1997) que citam que o método do alumínio, cálcio e magnésio trocáveis poderia recomendar doses excessivas de corretivos em solos do Cerrado com CTC menor que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou maior que $12,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. E ainda, que os métodos da saturação por bases e o método SMP chegaram a doses semelhantes de necessidade de calcário. Nesse sentido, os autores concluem que a recomendação de calcário se utilizando de qualquer um dos três métodos testados, pode levar o solo a condições de pH e de saturação por bases adequadas a altas produtividades, portanto, sem vantagens ou desvantagens de um método em relação ao outro.

Ainda faltam inúmeras informações para um resultado concreto sobre o tema deste trabalho de modo a comprovar a hipótese levantada.

5 CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados, as principais vantagens quanto aos métodos de cálculo de necessidade de calagem observadas foram em relação a quantidade de corretivo utilizado. Os indicadores de pH em água e o de saturação por bases foram os mais adequados para a tomada de decisão de calagem em estudos realizados no Cerrado, seguidos do Al trocável ou da sua saturação na CTC. Desta forma, os métodos de pH SMP e o de saturação por bases que são baseados nestes indicadores possivelmente possuem certa vantagem em relação ao método do alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, que podem recomendar doses excessivas de corretivos em solos com CTC menor que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou maior que $12,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O estudo da utilização de outros corretivos e de métodos capazes de recomendar doses assertivas destes materiais nos solos do Cerrado para correção da acidez ainda é incipiente. Poucos trabalhos com a utilização de outras formas de corretivos são encontrados na literatura, visto que o calcário vem proporcionando excelentes resultados com a sua utilização. Vale ressaltar que novos métodos de cálculo de necessidade de calagem para outros tipos de corretivos necessitam se tornar temas de pesquisas futuras.

Diante da literatura analisada, em relação a melhoria das propriedades do solo, resultados foram observados na soma de bases trocáveis nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm com a utilização do método de saturação por bases em comparação aos demais métodos.

Os solos do Cerrado apresentam variações em sua constituição, desta forma conclui-se que o método mais eficiente é aquele que leva em conta uma escala específica a ser construída para o solo de interesse. Diante da literatura escassa e de forma ainda incipiente cita-se através deste trabalho que os métodos pH SMP e o de incubação em CaCO_3 poderiam ser os métodos com grande chance de serem objeto de estudo afim de determinar toda a especificidade e melhores resultados para o cálculo de necessidade de calagem para solos do Cerrado.

6 REFERÊNCIAS

BOLFE, E. L.; SANO, Edson Eyji; CAMPOS, Silvia Kanadani. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. Embrapa Informática Agropecuária-Livro científico (ALICE), 2020.

BRASIL, 2004-c. Instrução Normativa nº 4, de 02/08/2004. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo (SARC). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

CAMARGOS, S. L. Acidez do solo e calagem (reação do solo). Apostila. Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT. 2005.

CAMPANHARO, M.; LIRA JUNIOR, M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.; COSTA, J. V. T. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. Revista Caatinga, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 97-105, 2007.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de Latossolo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

CONAB. Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento. v 1, Brasília: Conab, 2017.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. Bragantia, 67:261-266, 2008.

SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. & FARNEZI, M.M.M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 30:751-757, 2006.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. Geonomos, 5:17- 40, 1998.

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de textos. 2011.

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. Acidez do solo e calagem. 3° ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 15p.

MALAVOLTA, E. A prática da calagem. In: Seminário sobre corretivos agrícolas. Piracicaba, 1984. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.313-357.

NICOLODI, M., ANGHINONI, I., GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.32, p. 237-247, 2008.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. R. Ci. Exatas Nat., 6:97-111, 2004.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 475-483, 2006.

OLIVEIRA, A. S. de. A matéria orgânica na redução do efeito tóxico do alumínio. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. 2018.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G. & MOREIRAS, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. R. Eletr. Fac. Montes Belos, 1:1-12, 2005.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 and CaSO_4 . Soil Science Society of America Journal, Madison, v.46, p.1201 - 1207, 1982.

PRADO, R. M. & FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. STAB Açúcar, Álcool Subp., 18:36-39, 2000.

PRIMAVESI, A. C., & PRIMAVESI, O. Características de corretivos agrícolas. 1º ed. - São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. EMBRAPA Documentos, 37, 28 p, 2004.

REATTO, A; CORREIA, J. R. & SPERA, S. T. 1998. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M. & Almeida, S. P. Cerrado - ambiente e flora. 47-86.

SHOEMAKER, H. E.; McLEAN, E. O. & PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25:274-277, 1961.

SIQUEIRA NETO, Marcos et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 31, p. 709-717, 2009.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafos, (Informações Agronômicas, 102). 16 p., 2003.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª Ed. Brasília. Embrapa Cerrados. 416 p., 2004.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; LOBATO, E. Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solos de Cerrado. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 14 p., 1997.