

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ALINE SANTOS DE OLIVEIRA**

**A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO  
ALUMÍNIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2018**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ALINE SANTOS DE OLIVEIRA**

**A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO  
ALUMÍNIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2018**

ALINE SANTOS DE OLIVEIRA

**A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO  
ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol

PATO BRANCO

2018

**Oliveira, Aline Santos**

**A matéria orgânica na redução do efeito tóxico do alumínio / Aline Santos de Oliveira.**

**Pato Branco. UTFPR, 2018**

**39 f. : il. ; 30 cm**

**Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol**

**Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2018.**

**Bibliografia: f. 34 – 38**

**1. Plantio direto. 2. Acidez. 3. Complexação. I. Cassol, Luís César, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. III. Título.**

**CDD: 630**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias  
**Curso de Agronomia**



**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**Trabalho de Conclusão de Curso - TCC**

**A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO**  
**ALUMÍNIO**

por

**ALINE SANTOS DE OLIVEIRA**

Monografia apresentada às 14 horas 00 min. do dia 21 de novembro de 2018 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO, Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo-assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

**Prof. Dr. Taciane Finatto**  
UTFPR Câmpus Pato Branco

**Prof. Dr. Larissa Macedo dos Santos Tonial**  
UTFPR Câmpus Pato Branco

**Prof. Dr. Luís César Cassol**  
UTFPR Câmpus Pato Branco  
Orientador

**Prof. Dr. Jorge Jamhour**  
Coordenador do TCC

A "Ata de Defesa" e o decorrente "Termo de Aprovação" encontram-se assinados e devidamente depositados na Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR Câmpus Pato Branco-PR, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

## **DEDICATÓRIA**

Consagro este trabalho a Jesus e Maria por serem meus companheiros, protetores e socorro nas horas difíceis ; aos meus pais e melhores amigos, Valmir e Sonia, por todo o esforço ao longo de vida para me permitir chegar a este momento. Dedico ao meu parceiro da vida, Gabriel, que me ajudou de forma decisiva nesta reta final, deu-me forças e não me deixou desanimar; e finalmente, ao meu herói, professor Cassol, por sempre acreditar e ver o melhor em mim. Eu amo vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à UTFPR pelas experiências proporcionadas além da sala de aula e à coordenação da Agronomia, que me permitiu concluir esta jornada mesmo com os percalços na execução do projeto inicial.

Ao meu orientador que é para mim, amigo, psicólogo, médico, abrigo, pai e também inspiração. Obrigada pela honra de ter partilhado com você esses anos de caminhada.

À minha companheira integral, Ana Flávia Padilha, por ter compartilhado a casa, os trabalhos, as estradas, as lágrimas e os sorrisos.

Aos meus companheiros da Comissão Acadêmica, Adão, Angélica, Anna e Lucas, por acrescentarem tanto à minha jornada acadêmica, vocês estão guardados no meu coração.

“Nunca desista, nunca se renda!”



## RESUMO

OLIVEIRA, Aline Santos. A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO. 39 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O alumínio é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e é muito importante para a economia por servir de matéria prima para indústrias metalúrgicas, civil, farmacêutica, entre outras. No entanto, representa prejuízos para a agricultura, pois, quando hidrolisado, limita o desenvolvimento radicular e conseqüentemente, reduz o potencial produtivo das plantas cultivadas. Os solos brasileiros são naturalmente ácidos, o que significa baixa fertilidade, e alta quantidade de óxidos, incluindo os óxidos de alumínio. Para reduzir esse problema, investe-se em técnicas como: plantas resistentes ao íon tóxico, correção de acidez com calagem e adoção do sistema de plantio direto (SPD). O SPD, além de uma prática conservacionista, promove acúmulo de matéria orgânica, e conseqüentemente, permite o aumento da formação de ácidos orgânicos e disponibilidade de nutrientes nas camadas superficiais do solo. Outra vantagem do SPD é a redução drástica dos efeitos tóxicos do alumínio por meio da complexação do elemento, por substâncias húmicas, ou da formação de compostos na solução do solo. Assim, o presente trabalho teve por objetivo realizar uma revisão bibliográfica científica acerca da eficiência da matéria orgânica na complexação do alumínio e redução potencial de seu efeito tóxico. A pesquisa foi realizada por meio de consulta a livros e também artigos disponíveis nas plataformas Google Acadêmico e Science Direct. Utilizou-se como palavras chaves: alumínio, matéria orgânica, complexação e sistema de plantio direto, não havendo restrição cronológica dos publicados. Foram encontrados poucos trabalhos a respeito do tema, indicando carência de estudos sobre a ação da matéria orgânica especificamente na complexação do alumínio.

**Palavras-chave:** Plantio direto. Acidez. Complexação.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Aline Santos. T39E ORGANIC MATTER IN THE REDUCTION OF THE TOXIC ALUMINUM EFFECT. 39 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2018.

Aluminum is one of the most abundant elements in the Earth's crust and is very important for the economy as it serves as a raw material for the metallurgical, civil, pharmaceutical and other industries. However, it represents damage to agriculture, because, when hydrolyzed, it limits root development and, consequently, reduces the productive potential of cultivated plants. Brazilian soils are naturally acidic, which means low fertility, and with high amounts of oxides, including aluminum's oxides. To reduce this problem, it is invested in techniques such as: resistant plants to the toxic ion, correction of acidity with liming and adoption of the system of no-tillage. This system, besides a conservationist practice, promotes the accumulation of organic matter, and consequently allows the increase of the formation of organic acids and availability of nutrients in the superficial layers of the soil. Another vantage about the no-tillage system is reduce drastically the toxic effects of the aluminum through the complexation of the element, by humic substances, or by the formation of compounds in the soil solution. Thus, the present work had the objective of carrying out a scientific literature review on the organic matter efficiency in the aluminum complexation and its potential reduction of aluminium's toxic effect. The research was conducted through the consultation of books and also articles available on the platforms Google Scholar and Science Direct. Were used as key words: aluminum, organic matter, complexation and no-tillage system, with no chronological restriction of the published. Few studies were found on the subject, indicating lack of studies on the action of organic matter specifically on the complexation of aluminum.

**Keywords:** No-tillage. Acidity. Complexation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Massa seca de parte aérea de aveia submetida a diferentes doses de Al.....	30
Figura 2 – Massa seca de raiz de aveia submetida a diferentes doses de Al.....	30

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
pH	Potencial Hidrogeniônico
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SPD	Sistema Plantio Direto
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
MSPA	Massa de Matéria Seca da Parte Aérea
MMSR	Massa de Matéria Seca de Raíz

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 GERAL.....	16
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>4 RESULTADOS a respeito da TOXICIDADE DO ALUMÍNIO E SUA NEUTRALIZAÇÃO A PARTIR DA CONSOLIDAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO.....</b>	<b>18</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO ALUMÍNIO E SEU EFEITO TÓXICO SOBRE AS PLANTAS.....	18
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS BRASILEIROS E DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	21
4.3 ACIDEZ DOS SOLOS.....	22
4.4 PLANTIO DIRETO E A MATÉRIA ORGÂNICA.....	24
4.5 A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO	26
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O alumínio é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. Grande parte da disponibilidade deste elemento metálico provém da bauxita, uma mistura natural de óxidos de alumínio, porém também pode ser encontrado no solo, nas rochas e em outros minerais.

Por ser altamente reativo, encontra-se na natureza em combinações estáveis com outros elementos, como óxidos e silicatos. Dessa forma, ao reagir com metais alcalinos e alcalinoterrosos forma hidróxidos, sulfatos e fosfatos.

De modo geral, o alumínio é importante para a economia, servindo de matéria-prima para a indústria metalúrgica, aeronáutica, civil, farmacêutica, entre outras. No entanto, relacionado à agricultura, ele traz prejuízos às lavouras por limitar a produção quando hidrolisado, sendo um dos responsáveis pela acidez dos solos.

O efeito da toxicidade de alumínio varia de planta para planta. No geral, a família Poaceae, especialmente o centeio e a aveia são mais tolerantes a sua presença, porém esse nível de tolerância também varia entre genótipos. De qualquer forma, os principais problemas relacionados à presença de alumínio em níveis tóxicos dizem respeito à redução no desenvolvimento do sistema radicular, o qual restringe o volume de solo explorado pela planta, comprometendo os processos de absorção de água e de nutrientes, além de acidificar o meio.

Os solos brasileiros, de forma geral, apresentam elevado grau de intemperização, caracterizando-se por apresentar baixa fertilidade natural e acidez elevada. Assim, práticas de correção da acidez e melhoramento da fertilidade natural são fundamentais para garantir aumentos de produtividade, inclusive em regiões antes não exploradas, como a nova fronteira agrícola conhecida como Matopiba, local estratégico e favorável a crescente exploração, mediante correção de acidez.

Melhorar a qualidade do solo significa aumento de produtividade, no cenário atual, isso se faz necessários para que a humanidade consiga obter o que foi apregoado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

(FAO,2009), que afirma ser primordial o aumento da produção de alimentos em 70% até 2050, quando a população mundial será superior a 9 bilhões de habitantes.

A acidez dos solos possui diversas causas, destacando-se as reações de solubilização do material de origem, as reações de hidrólise ocorridas na solução do solo, a decomposição dos resíduos orgânicos, somadas à absorção de cátions pelas plantas e fatores antropogênicos, como o uso de adubos acidificantes. O principal veículo desse processo é a água da chuva que promove a lixiviação dos cátions básicos, como cálcio, magnésio e potássio. O alumínio, por ser um elemento trivalente, lixivia em menor intensidade, e por consequência, vai se acumulando no solo.

A correção da presença de alumínio em níveis tóxicos às plantas é feita com a aplicação de uma base, sendo o calcário a mais usual. Quando o pH do solo aumenta, o alumínio é precipitado na forma de hidróxido. No entanto, desde a introdução do sistema plantio direto (SPD) tem-se observado alterações na dinâmica do alumínio, fazendo com que as respostas das plantas à aplicação de calcário sejam menores, em relação àquela observada no sistema de preparo convencional do solo. Esse fato pode ser atribuído ao efeito da matéria orgânica, cujos teores aumentam com a adoção de técnicas conservacionistas de solo.

O SPD consiste em um sistema integrador de práticas agrícolas, que incluem o revolvimento mínimo do solo (exclusivo na linha de semeadura), a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura para formação de palhada e o controle do escoamento. A adição de resíduos, tanto de origem vegetal quanto animal, altera a dinâmica da matéria orgânica, uma vez que parte do carbono presente nos resíduos é perdida para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ , devido ao processo de decomposição microbiana, e outra parte é incorporada ao solo.

Quando corretamente conduzido e associado a outras práticas conservacionistas de solo, o SPD promove um acúmulo de matéria orgânica, e conseqüentemente, permite o aumento da formação de ácidos orgânicos e disponibilidade de nutrientes nas camadas superficiais do solo, além de elevar valores de CTC e favorecer a absorção de nutrientes de baixa mobilidade.

Além disso, reduz drasticamente os efeitos tóxicos do alumínio, pois, a matéria orgânica é capaz de complexar o elemento na fase sólida, através da



presença de substâncias húmicas, ou da formação de compostos na solução do solo. Em ambos os processos a atividade tóxica do íon  $\text{Al}^{3+}$  diminui, o que permite que a planta aumente sua capacidade de absorver nutrientes, como fósforo, cálcio e magnésio, e se desenvolva. A modificação na solubilidade do alumínio, quando complexado pelas substâncias orgânicas, influencia diretamente na sua biodisponibilidade no solo. Por sua vez, os métodos analíticos tradicionais não detectam a presença do alumínio, mesmo em condição de pH baixo, justamente devido a forte interação do elemento com a matéria orgânica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Compilar os principais estudos científicos, por meio de uma detalhada revisão bibliográfica, sobre a eficácia do uso da matéria orgânica como forma de neutralização do efeito tóxico do alumínio no solo.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia para a realização desta pesquisa é de caráter bibliográfico, pois foram abordados conceitos teóricos e estudos de experiências práticas - divulgadas por trabalhos acadêmicos de cunho científico - sobre o uso de matéria orgânica na neutralização da toxicidade do alumínio no solo.

No primeiro momento, foi realizado um levantamento geral acerca dos assuntos referentes ao tema da pesquisa, para posteriormente delimitar o escopo teórico e os objetivos da investigação. A pesquisa foi realizada por meio de consulta a livros e também artigos disponíveis nas plataformas Google Acadêmico e Science Direct. Utilizou-se como palavras chaves: alumínio, matéria orgânica, complexação e sistema de plantio direto, não havendo restrição cronológica dos publicados.

Na sequência, foi realizada a sistematização dos textos teóricos que dão base as discussões desenvolvidas nesse trabalho. Posteriormente, com o objetivo de compreender como se dá as relações entre acidez dos solos e os processos de toxidez por alumínio, foram elencados os principais estudos publicados sobre o tema para comparação e reflexão. Depois disso, a fase de redação do estudo contou com a sistematização dos dados levantados e as inferências produzidas a partir do debate promovido pela pesquisa.

## 4 RESULTADOS A RESPEITO DA TOXICIDADE DO ALUMÍNIO E SUA NEUTRALIZAÇÃO A PARTIR DA CONSOLIDAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Nos itens seguintes serão abordados a revisão da literatura científica produzida sobre a toxicidade do alumínio em diferentes tipos de solo e as técnicas de redução de seu efeito tóxico às plantas, especialmente o sistema plantio direto através de aumentos observados nos teores de matéria orgânica do solo. Para isso, foram retomadas discussões que envolvem: o efeito tóxico do alumínio nas plantas, as características dos solos brasileiros e da produção agrícola, os processos de acidificação no solo, as técnicas e importância do plantio direto, bem como a função da matéria orgânica nos processos de recuperação da produtividade dos mesmos.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO ALUMÍNIO E SEU EFEITO TÓXICO SOBRE AS PLANTAS

O alumínio é o metal não ferroso mais utilizado pelo homem. Tendo número atômico igual a 13, localiza-se na família 13 ou III A da tabela periódica. Desde 1886, o alumínio é obtido pelo Processo de Hall-Héroul, o qual extrai o elemento através de eletrólise ígnea a partir de uma mistura de alumina (substância extraída da bauxita) e criolita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) (FOGAÇA, 2014).

Na natureza não é possível encontrar o alumínio em sua forma elementar ( $\text{Al}^0$ ) por ser altamente reativo, mas sim, combinado a outros elementos, principalmente óxidos e silicatos quando solúvel em pH ácido, além de formar sulfatos e fosfatos e fazer parte da composição de rochas e minerais. Por conta disso, é considerado o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre. Quando comparado a elementos não metais ocupa o terceiro lugar em massa (8,1%), sendo inferior apenas ao oxigênio (46,6%) e ao silício (27,7%) (UFJF, 2009).

O alumínio tem grande valor econômico, pois serve de matéria-prima para a indústria eletrodoméstica, de transporte, cosmética, farmacêutica, metalúrgica, civil, entre outras, por suas propriedades químicas e físicas, como densidade, alto ponto de fusão e ebulição, condutividade elétrica, resistência a erosão, refletividade etc. (FOGAÇA, 2014).

De modo geral, o alumínio é importante para a economia. No entanto, quando relacionado à agricultura, limita a produção por promover alterações fisiológicas nas plantas em solos ácidos, as quais afetam o alongamento e a divisão celular. Conseqüentemente, a planta apresenta enraizamento superficial e explora um menor volume de solo, reduzindo sua capacidade de absorção de água e nutrientes, tornando-se menos produtiva (FERREIRA; MOREIRA; RASSINI, 2006).

O alumínio se faz presente majoritariamente em solos com pH em água inferior a 5,5 e sua concentração aumenta à medida que o pH reduz. Em solos muito ácidos a forma de alumínio que predomina é o  $Al^{3+}$ , sendo esta potencialmente mais tóxica para as plantas. A solubilidade do alumínio no solo também é influenciada pela composição textural e tipo de argila predominante, além dos sais presentes na solução do solo e do teor de matéria orgânica (FERREIRA; MOREIRA; RASSINI, 2006). Por conta desses fatores, é possível existirem dois solos com mesmo pH, porém com diferentes concentrações de alumínio na solução do solo.

Em geral, as raízes afetadas pela presença do alumínio são menores, grossas e facilmente quebráveis (KOCHIAN, 1995). Num segundo momento, também é possível identificar sintomas na parte aérea, que se assemelham a deficiência de fósforo, por apresentar coloração púrpura em folhas, colmos e nervuras, e cálcio pelo enrolamento de folhas jovens e podridão na parte superior da planta e dos pecíolos (LIMA et al., 2007).

No entanto, tais sintomas são variáveis de acordo com a forma de ação do elemento, podendo ser intra ou extracelular. No modelo intracelular, o alumínio entra nas células principalmente por meio de proteínas carreadoras de íons da membrana plasmática, pois essas são sensibilizadas através da redução da Adenosina Trifosfato (ATP), que gera uma extrusão de  $H^+$  das células da região radicular, resultando num gradiente de potencial eletroquímico. Assim, os cátions se ligam às proteínas sensibilizadas e são transportados para o interior das células. Nesse caso, o alumínio usa a mesma proteína carreadora de magnésio, visto a proximidade de seus raios iônicos e, mesmo em baixa atividade, pode reduzir a divisão celular, ligando-se ao grupo fosfato do Ácido Desoxirribonucleico (DNA), e diminuir a expansão celular por alterar o funcionamento do complexo de Golgi (SALET, 1998).

No modelo de ação extracelular, o alumínio atinge a superfície das células por difusão ou fluxo de massa e se liga às cargas negativas da parede celular ou da membrana plasmática, assim, impede a expansão celular, afeta a absorção de íons com menor valência e a permeabilidade da água. No que se refere à percepção, a toxicidade do alumínio acontece primeiramente de modo extracelular (SALET, 1998).

Mendes et al. (2018) avaliaram os efeitos do alumínio sobre a brotação e o crescimento inicial de mudas de batata yacon, submetendo-as a seis teores de alumínio (0; 10; 25; 50; 100; 200 mg/L substrato), e verificaram a influência negativa do metal sobre a emergência e o desenvolvimento foliar, também, baixo acúmulo de biomassa e restrição principalmente no desenvolvimento radicular, inibindo-o completamente em concentração maior que 83 mg/L.

Quando se comparam cultivares, percebe-se que estas podem apresentar comportamentos distintos quando sob efeitos tóxicos do alumínio. Colodetti et. al. (2012) avaliaram a taxa de germinação e a morfologia radicular de plântulas de três cultivares de pepino submetidas a presença de elemento em diferentes concentrações. O experimento submeteu as cultivares Aodai, Caipira e Marketmore a cinco níveis crescentes de concentração de alumínio (0, 10, 25, 50 e 100 mmol dm<sup>-3</sup> na forma de sulfato de alumínio). A primeira não sofreu variação na taxa germinativa em função das doses crescentes, enquanto as cultivares Caipira e Marketmore apresentaram germinação reduzida na maior concentração (100 mmol dm<sup>-3</sup>). De qualquer forma, houve redução linear do comprimento radicular conforme ocorreu o aumento das concentrações do alumínio em todas as cultivares.

A redução do comprimento das raízes causada pelo alumínio significa limitação para explorar o perfil do solo, absorver água e nutrientes. Freitas et al. (2006) aferiram o desempenho de dezoito genótipos de arroz submetidos ao estresse por alumínio durante vinte dias, e a absorção dos macronutrientes fósforo, cálcio, magnésio e potássio nesse período. As doses crescentes de alumínio foram 0; 10; 20 e 30 mg L<sup>-1</sup> em sistema hidropônico. E embora as variáveis de crescimento de raiz e absorção dos nutrientes tenham se comportado de maneiras distintas, todas as diferenças foram significativas e representaram reduções consideráveis de desempenho dos genótipos.

Enquanto Macedo et al (2008) submeteram sementes de café de cultivares Catuaí Amarelo e IAC 86 a doses de alumínio na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  nas concentrações de 0; 15; 30; 45 e 60  $\text{mg L}^{-1}$  em solução nutritiva, e não observaram influência do elemento nas variáveis avaliadas, Macedo et al. (2011) avaliaram o desempenho do pinhão-manso, *Jatropha curcas* L, sob as concentrações 0; 30; 45 e 60  $\text{mg L}^{-1}$  de alumínio a partir de  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  em solução nutritiva em mudas provenientes de São Paulo, Minas Gerais e Bahia, e constataram que o crescimento das raízes da espécie foi afetado pela presença de alumínio, mesmo para as menores doses e independe da procedência geográfica.

Essa verificação determina que as respostas ao alumínio podem variar de acordo com a composição do substrato, a espécie cultivada, as condições de manejo. Além disso, como será discutido no item 4.4, é possível que diferentes teores de matéria orgânica no solo possam afetar a dinâmica do  $\text{Al}^{3+}$ , reduzindo o seu efeito tóxico às plantas.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS BRASILEIROS E DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Os solos são formados pela interação de diferentes fatores, tais como: material de origem, relevo, clima, tempo e organismos. Quanto mais intensa for a atuação desses elementos, mais velho tende a ser o solo. Pela combinação desses fatores, de forma geral, os solos brasileiros são altamente intemperizados e com perfis mais desenvolvidos (BRANCO, 2014).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), solos intemperizados apresentam o horizonte diagnóstico B latossólico, argilas com baixa atividade, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa saturação por bases, predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, e alta acidez (SANTOS; ZARONI, 2006).

Apesar da maior parte da produção brasileira de grãos estar concentrada sobre os Latossolos (solos velhos) é notória a importância do país para a produção de alimentos, indispensáveis para o atendimento das necessidades

básicas da população mundial. A FAO (2009) estimou que até 2050 a população mundial será superior a 9 bilhões de habitantes, de forma que, para garantir a sua alimentação, a produção deverá aumentar em 70%.

Nesse cenário o Brasil é um país estratégico porque dispõe de área e clima favoráveis ao aumento de produção. Recentemente uma nova fronteira agrícola vem sendo inserida no processo de produção, conhecida como Matopiba por envolver os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essa nova fronteira evita que áreas avancem sobre a Amazônia, que possui papel central sobre a regularidade das chuvas no cerrado brasileiro. Segundo a Companhia Nacional do Abastecimento (Conab), atualmente, a região Matopiba corresponde por cerca de 11% da soja produzida na safra 2017/2018.

No entanto, embora possua área e clima favoráveis, os solos brasileiros têm natural caráter ácido, decorrente, entre outros motivos, do elevado volume de precipitação pluviométrica que, se por um lado favorece os cultivos, por outro é um gerador de acidez ao promover a lixiviação dos cátions básicos. É por isso que as regiões agrícolas do país devem atrelar práticas de correção da acidez e ao melhoramento da fertilidade natural, para que os solos consigam atender a demanda de aumento na produção de alimentos (EMBRAPA, 2014). Quando corretamente adotadas, essas práticas, junto com outras relacionadas ao melhoramento genético, ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas, às operações de semeadura etc, contribuem para o aumento da produção brasileira de grãos, cuja safra 2017/18 chegou a quase 230 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2018).

#### 4.3 ACIDEZ DOS SOLOS

Svante August Arrhenius (1880) definiu como ácidas todas as substâncias, que em meio aquoso, liberam íons  $H^+$ . Essas substâncias podem ser classificadas em fortes e fracas de acordo com sua completa ou parcial dissociação. A concentração de  $H^+$  no meio é expressa em valores de pH. O pH pode variar de 0,0 a 14,0 e considera-se ácido os valores inferiores a 7,0, e, acima disso, alcalino (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).



Nos solos brasileiros a escala de pH pode variar entre 4,0 e 8,0. Porém, no geral, apresentam valores entre 4,0 e 6,0, devido a causas naturais ou maximizados pelo manejo sofrido ao longo dos anos (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).

A acidez natural se faz presente quando o material de origem do solo é deficiente em bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio e sódio) e quando encontra-se suscetível ao intemperismo intenso. Nessas situações, a solubilização do material de origem permite que cátions básicos sejam removidos da superfície dos coloides, e que íons hidrogênio e alumínio se encontrem em maiores quantidades no complexo de troca e na solução do solo. Além disso, a absorção de cátions pelas plantas também se destaca nesse processo de acidificação (EMBRAPA, 2010).

A água da chuva que entra em contato com as rochas é ácida devido à dissolução e à reação do gás carbônico na atmosfera. Essa reação tem como produto íons  $H^+$  que reagem com o material rochoso e permitem a liberação de cátions e ânions para o meio, os quais, formam compostos de alta solubilidade e são facilmente percolados no perfil do solo. Em contra partida, íons como o alumínio, após liberados, formam compostos de baixa solubilidade e também, por sua trivalência, são atraídos fortemente por minerais e substâncias húmicas com cargas negativas, permanecendo em maior quantidade no solo. A solubilização do alumínio libera íons  $H^+$  em uma série de reações de hidrólise, precipitando-o em  $Al(OH)^3$ , o que acelera a dissolução rochosa e o deslocamento do alumínio dos sítios de troca para a solução do solo (MEURER, 2012).

No que diz respeito à acidez natural, a dissociação do gás carbônico e a hidrólise do alumínio estão entre as principais reações que promovem a liberação do íon hidrogênio para o meio (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).

Algumas práticas agrícolas atuam diretamente na redução de pH, como a aplicação de fertilizantes, principalmente nitrogenados, os quais, através da atividade dos microrganismos no solo, ao participarem da nitrificação, liberam íons  $H^+$  para a solução (BRAGA, 2010).

A acidez do solo é dividida em ativa e potencial. A acidez denominada ativa representa a concentração de hidrogênio ( $H^+$ ) dissociado na solução do solo e

é expressa em valores de pH. Já a acidez potencial corresponde às substâncias que podem liberar o íon  $H^+$  para a solução do solo, incluindo principalmente o alumínio trocável adsorvido aos coloides de carga negativa e os grupos funcionais ( $-COOH$  e  $OH^-$ ) da matéria orgânica. É a acidez potencial que limita o crescimento radicular e que, de forma indireta, favorece a lixiviação de elementos dissociados na solução do solo, pois ocupa espaço nos coloides. Em tese, os problemas com o alumínio são agravados em pH em água menor que 5,0, quando o elemento pode representar 50% da CTC do solo. Já em valores de pH em água superiores a 5,5, o alumínio é insolubilizado na forma de hidróxido (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991).

Quando a presença do alumínio tem efeito tóxico em uma planta não resistente, é ideal a correção de pH com uma base. O corretivo mais comum é o calcário, no qual os carbonatos (de Cálcio e Magnésio) reagem com os íons da solução do solo e elevam o pH. Ao ligar-se ao hidrogênio, há liberação de água e gás carbônico, e ao combinar-se com o alumínio o mesmo é insolubilizado na forma de hidróxido (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1991). Adubos nitrogenados também podem interferir no pH quando aplicado em solos de baixo poder tampão, pois quando há absorção do amônio, por exemplo, as raízes liberam  $H^+$  para o meio afim de manterem a eletroneutralidade (MEURER, 2012). No entanto, desde a introdução do sistema plantio direto tem-se observado alterações na dinâmica do alumínio.

#### 4.4 PLANTIO DIRETO E A MATÉRIA ORGÂNICA

O plantio direto é uma técnica conservacionista amplamente difundida no Brasil caracterizado pela rotação de culturas, o mínimo revolvimento de solo (apenas na linha de semeadura), a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo e o controle do escoamento através de barreiras mecânicas. A cobertura de solo reduz a incidência de plantas invasoras, o impacto de gota causado pela chuva e atua na defesa contra o escoamento superficial, a erosão hídrica e eólica. Além disso, quando corretamente conduzido, a manutenção da cobertura morta resulta em um acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS) pela redução na velocidade de decomposição dos resíduos (CRUZ et al., 2010).

A matéria orgânica atua no tripé da ciência do solo, promovendo alterações nas características biológicas, físicas e químicas. No âmbito biológico é matéria prima energética para os organismos do solo, além de ser fonte natural de carbono. Na parte física promove maior agregação do solo, reduz a erosão, aumenta a porosidade e conseqüentemente, a infiltração de água e aeração, além de reduzir a densidade do solo. No que diz respeito às melhorias químicas, é responsável pela maior parte da CTC dos solos, especialmente em regiões de clima tropical, diminuindo perdas por lixiviação, aumentando a taxa de carbono pelo aumento de resíduos, além de estabilizar o solo pelo poder tampão e inativar elementos tóxicos, como o  $Al^{3+}$  (LEAL, 2017).

A matéria orgânica é composta por todo o carbono orgânico presente no solo. Sua porção “leve”, particulada, agrega restos de plantas de fácil decomposição, e é variável de acordo como clima e as características do solo e seu manejo. A fração denominada “biomassa” abrange a matéria orgânica proveniente de tecido microbiano vivo, como bactérias, fungos, protozoários, algas, etc. A biomassa microbiana atua como agente decompositor dos resíduos adicionados ao solo e compete por nutrientes com as plantas, porém também os disponibiliza na fase de mineralização do substrato e morte dos organismos (MEURER, 2012).

A matéria orgânica é composta ainda pelas “substâncias não húmicas ou biomoléculas” que compreendem os compostos orgânicos bioquímicos de rápida degradação, como carboidratos, aminoácidos, gorduras, resinas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular e tem influência na complexação de metais e na agregação do solo. Por fim, as “substâncias húmicas ou húmus estável” compreendem produtos da ressíntese da humificação, nas quais compostos orgânicos de alta reatividade e elevado peso molecular são gerados a partir de reações secundárias, como ácido fúlvico e húmico. Sua composição estrutural e química é indefinida e sua estabilização envolve agregados, e reações com as demais partículas de natureza inorgânica. (MEURER, 2012).

Essas também são fracionadas de acordo com a solubilidade, divididas em: húmicas, insolúveis, ligadas a fração mineral do solo; ácidos fúlvicos, grupos funcionais oxigenados solúveis em meio ácido e básico e; ácidos húmicos, mais estáveis, insolúveis em meio ácido (CANELLAS et al., 2001),

A matéria orgânica pode associar-se à fração mineral do solo e formar organominerais, microagregados, que atuam na estabilização do solo e interferem na formação e diferenciação de horizontes. Nesse sentido, essa relação atua na preservação dos compostos orgânicos contra a biodegradação e agrega a proteção física da MOS, reforçando a atividade biológica no intermédio entre o fluxo de energia e matéria no sistema pela transformação dos resíduos orgânicos (BAYER, 2004).

A MOS é capaz de realizar diversas reações no solo, entre elas, destaca-se a capacidade de complexar metais através de uma interação de caráter covalente, formando um complexo metálico conhecido como quelato. Esse fenômeno reduz a ação dos metais no solo e diminuiu o efeito tóxico potencial dos mesmos. O ácido fúlvico presente na MOS tem maior afinidade pelos metais de ferro, alumínio e cobre, formando complexos estáveis (MEURER, 2012).

#### 4.5 A MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO

Lima et al. (2007) avaliaram o efeito de doses crescentes de alumínio aplicado ao solo na presença e ausência de matéria orgânica sobre o crescimento da mamoneira. Utilizou-se solo contendo 96% de areia, classificado como Neossolo Regolítico. Empregou-se esterco bovino decomposto como fonte de matéria orgânica, adicionado na proporção de 5% (v/v) em relação ao volume total do vaso. O alumínio veio da adição de cloreto de alumínio hexahidratado ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) em doses de 0,00 - 0,15 - 0,30 - 0,60 - 1,20 e 2,40  $\text{cmol c dm}^{-3}$ . Foi observado que houve redução no crescimento das plantas, concomitante ao acréscimo do teor de alumínio; enquanto ocorreu aumento do crescimento das plantas em resposta à adição de matéria orgânica.

O acúmulo de matéria orgânica possibilita que seus agentes ligantes reduzam a toxidez do alumínio, pois nessas condições a complexação é favorecida pela presença de cátions e carbono orgânico solúvel, além do ácido fúlvico, outros ácidos como láctico, acético, cítrico, malêico e oxálico podem fazer parte deste complexo metálico (MIYAZAWA et al., 2000).

Da mesma forma, quando se compara os cultivos em plantio direto e preparo convencional, percebe-se que o primeiro propicia aumento no teor de cátions e ânions em relação ao plantio convencional, além de índices superiores de condutividade elétrica e concentração de nutrientes na camada superior do solo. Do mesmo modo, é possível perceber que, em plantio direto, a alta disponibilidade de matéria orgânica complexa o alumínio solúvel aos ligantes orgânicos que por sua vez, são altamente estáveis em reações com o elemento (SALET, 1998).

Sendo a matéria orgânica precursora na liberação de agentes orgânicos ligáveis ao alumínio tóxico, sua manutenção através do sistema plantio direto tornou-se fundamental para o manejo do elemento.

A composição química e a força iônica do material húmico influenciam diretamente sua capacidade de interação com metais. Esse contato pode ser feito através de reações de troca, adsorção ou pela forma mais importante, complexação. A complexação modifica a geoquímica dos íons metálicos alterando sua solubilidade, valência e potencial redox (BEZERRA; TAKIYAMA; BEZERRA, 2009).

O alumínio liga-se a ácidos húmicos, fúlvicos e orgânicos de baixo peso molecular provenientes de exsudados de raízes ou degradação oxidativa da própria matéria orgânica presente no solo, criando moléculas solúveis, ou não, dependendo do pH (GIONGO, 1997).

A complexação do alumínio por ácidos orgânicos está relacionada com a posição dos grupos inorgânicos hidroxil ( $\text{OH}^-$ ) e orgânico carboxil ( $-\text{COOH}$ ). Sendo considerados ácidos fortes quando apresentam dois pares dos grupos funcionais ( $\text{COOH}$  e  $\text{OH}$ ) ligados a dois carbonos adjacentes ou dois radicais, como os ácidos cítrico e malâmico, respectivamente. Dessa forma, esses compostos arranjam-se em diferentes complexos de estabilidade. Sendo os ácidos cítrico, oxálico, húmico, malâmico altamente constantes; fúlvico, láctico e tartárico, intermediários; e maleico e succínico, de baixa estabilidade (HUE; CRADDOCK; ADAMS, 1986).

Ao comparar os sistemas de plantio convencional e direto, observou-se que a extração de alumínio por  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  foi dificultada no plantio direto pela retenção do elemento às partículas do solo, o que se justifica pela maior concentração de matéria orgânica, ao formar complexos de esfera interna com o íon. Tal hipótese é validada após queima da matéria orgânica, pois assim se constatou

que os teores de alumínio extraídos foram maiores no sistema plantio direto, do que em relação ao convencional. Ou seja, a possibilidade de ligações coordenadas com o alumínio é proporcional ao teor de matéria orgânica no sistema (SALET, 1999).

Além de formar complexos solúveis com o íon alumínio e lixiviá-los, os ácidos orgânicos cítrico e fúlvico permitiram que os espaços ocupados pelo alumínio, junto aos sítios trocáveis, fossem substituídos por cálcio. Dessa forma, o incremento de matéria orgânica no solo reduz os níveis de alumínio trocável e possibilita o aumento de retenção de nutrientes essenciais que, quando disponibilizados para as plantas, permitirão seu desenvolvimento regular (SMITH et al, 1995).

Em síntese, em função do aumento nos teores de MOS conseguidos no sistema plantio direto, devido a redução na velocidade de decomposição dos resíduos, bem como pelo melhor controle da erosão do solo, é possível que o  $Al^{3+}$  tenha menor efeito tóxico, ou seja, a química do elemento é modificada pela presença da matéria orgânica, através da formação de quelatos.

Um ensaio experimental preliminar foi realizado visando elucidar o papel da matéria orgânica na complexação de alumínio. O experimento comparou dois solos com níveis distintos de matéria orgânica e a resposta de plantas de aveia-preta, da cultivar IAPAR 61 a adição de alumínio.

Ambos os solos foram coletados em Palmas, no Instituto Federal do Paraná, e pertencem a classe Latossolo. A diferença entre ambos eram os teores distintos de matéria orgânica, sendo um deles classificado como de alto teor de MOS (91,14 g  $dm^{-3}$ ) e outro de baixo teor (9,30 g  $dm^{-3}$ ).

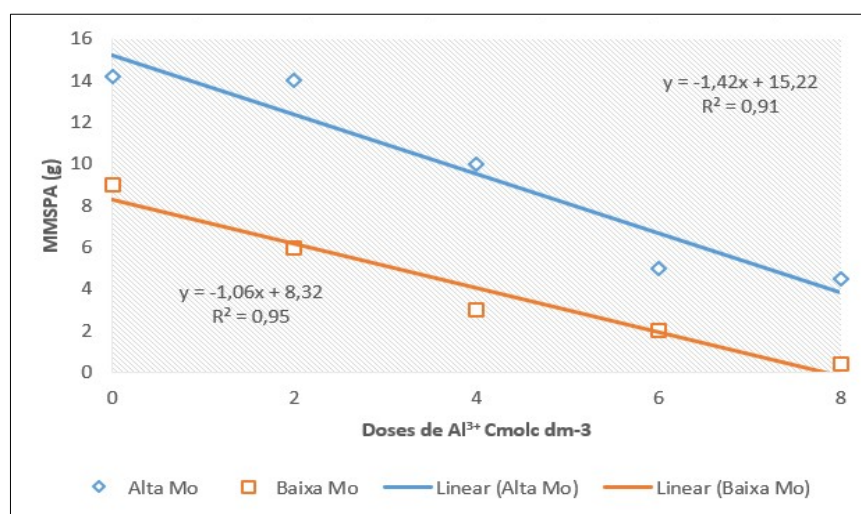
Os dois solos foram secos ao ar, moídos em moinho de facas, e analisados quimicamente. Mediante análise, foi feita correção nutricional de forma a deixar os dois solos com as mesmas condições químicas de fertilidade e posteriormente aplicou-se cinco doses crescentes de alumínio (0, 2, 4, 6 e 8  $cmol_c dm^{-3}$ ), nos dois solos, utilizando cloreto de alumínio como fonte. O delineamento experimental seguiu o modelo inteiramente casualizado (DIC), com os fatoriais 2x5 distribuídos em quatro repetições, em vasos de 3kg de solo.

Foram semeadas dez sementes de aveia por vaso e após desbaste, restaram cinco plantas por vaso. Após 60 dias coletou-se a parte aérea rente ao solo

para avaliação da produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) após secagem em estufa a 60° C. Estas mesmas plantas foram retiradas dos vasos para quantificação da massa de matéria seca de raízes (MMSR), as quais foram lavadas, secas em estufa a 60° C e avaliadas.

Para ambos os solos a MMSPA de aveia teve sua produção diminuída com o aumento das doses de alumínio, algo já esperado em função dos efeitos nocivos deste elemento junto ao metabolismo das plantas. Entretanto, no solo com alto teor de matéria orgânica obteve-se maiores produtividades, destacando o papel desse componente do solo em manter maiores produtividades para as plantas (Figura 1).

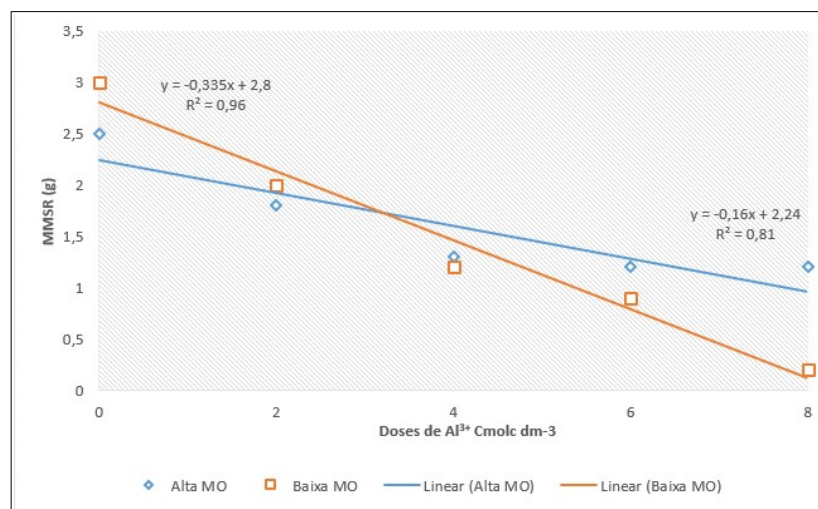
**Figura 1** – Massa da matéria seca de parte aérea de aveia-preta, cultivar IAPAR 61 submetida a diferentes doses de  $Al^{3+}$



Fonte: Autora, 2018.

Em relação a parte radicular, em ambos os solos houve decréscimo no desempenho da MMSR conforme o aumento das doses de alumínio, também algo já esperado. Salvo para o tratamento inicial com dose 0 de alumínio, no solo com alto teor de matéria orgânica obteve-se maior massa e volume de raiz, reafirmando o potencial da MOS na captura do elemento tóxico, permitindo ao sistema radicular expandir e nutrir-se (Figura 2).

**Figura 2** – Massa da matéria seca de raiz de aveia, cultivar IAPAR 61, submetida a diferentes doses de  $Al^{3+}$



Fonte: Autora, 2018.

Por problemas experimentais, não foi possível realizar a análise química após cultivo determinando pH, o alumínio trocável e calculando os valores de saturação por bases e saturação por alumínio. Portanto, não é possível afirmar que no solo com maior teor de matéria orgânica o  $Al^{3+}$  tenha sido complexado.

Porém, considerando os valores obtidos pela massa seca de parte aérea e de raiz, é possível verificar com clareza que o alumínio afetou de maneiras diferentes os solos com teor distinto de matéria orgânica, principalmente no desenvolvimento da parte aérea, por carência nutricional. O alumínio interferiu no desenvolvimento das plantas de forma mais agressiva no solo com teor de  $9,3 \text{ gdm}^{-3}$  de MOS, e de maneira mais branda no solo com alto teor de MOS ( $91,14 \text{ g dm}^{-3}$ ).

A partir dos apontamentos acima, é relevante destacar a importância de estudos diagnósticos de solos, principalmente no Brasil, onde é comum encontrar solos ácidos e de baixa produtividade. Por isso, a partir da compreensão dos processos de acidificação dos solos, torna-se possível pensar em estratégias de contenção e reversão desse quadro, como a técnica abordada nessa pesquisa: o plantio direto.

O alumínio, é um elemento abundante na natureza, portanto, com o uso irrestrito da terra e sem a adoção de práticas conservacionistas torna-se um problema e um dos principais motivos para a acidificação do solo e para a baixa produtividade de diferentes culturas. Nesse sentido, os resultados elencados na



discussão promovida por essa investigação demonstram a eficácia das técnicas do plantio direto, considerando principalmente: o não revolvimento de solo, apenas na linha de semeadura, e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo.

A matéria orgânica acumulada como cobertura no solo reduz a incidência de diferentes “pragas”, diminui a lixiviação pela ação da chuva, atua na defesa do escoamento superficial e da erosão hídrica e eólica. Por isso, quando conduzida de modo adequado, a manutenção da cobertura morta resulta em um acúmulo de matéria orgânica, o que contribui, por sua vez, com a neutralização da acidez no solo e do potencial de toxicidade do alumínio.

Com o ensaio, foi possível observar que a matéria orgânica promove alterações positivas nas características biológicas, físicas e químicas do solo; sendo fonte natural de carbono e matéria prima energética para diversos organismos. Já no que diz respeito a parte física, é possível afirmar que o uso de matéria orgânica contribui com a redução da erosão e da densidade do solo, o aumento da porosidade, da infiltração da água e da aeração. Quanto às melhorias químicas, o uso da matéria orgânica aumenta a taxa de carbono do solo, pois diminui as perdas de nutrientes por lixiviação, contribuindo com a estabilização e com o poder tampão do solo inativar elementos tóxicos.

## 5 CONCLUSÃO

Foram encontrados poucos trabalhos a respeito do tema, indicando carência de estudos sobre a ação da matéria orgânica especificamente na complexação do alumínio.

De qualquer forma, o ensaio preliminar realizado teve o comportamento esperado, seguindo o que a literatura tem revelado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A neutralização dos efeitos tóxicos do alumínio no solo garantem uma maior produtividade de plantio. Por isso, torna-se importante o incentivo de pesquisas que visem aprofundar o debate sobre o tema, posto que o solo brasileiro é predominantemente ácido, o que por sua vez, interfere nos resultados da produção agrícola. Nesse estudo, empreendeu-se um levantamento bibliográfico sobre o assunto, com objetivo de promover uma leitura crítica dos trabalhos acadêmicos já publicados.

Ressalta-se que a acidez natural presente em alguns tipos de solo brasileiros liga-se, geralmente, a deficiência de elementos como cálcio, magnésio, potássio e sódio que funcionam como bases trocáveis, ou ainda, quando o solo está sob intemperismo intenso. Esse panorama influenciará na estagnação do desenvolvimento radicular das plantas e no baixo rendimento de cultivo.

Nesse sentido, a técnica de plantio direto, que promove equilíbrio nos solos, tem como objetivo equalizar a acidez do solo, contribuindo para a diminuição direta da presença do alumínio e da toxicidade por ele provocada. Ainda ressalta-se que a correção desse malefício é realizado a partir da aplicação de uma base alcalina, sendo o calcário o componente mais utilizado.

Levando em consideração o exposto acima, o sistema plantio direto é uma opção de bons resultados, principalmente por tratar-se de um modelo de prática agrícola que intercala o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura para formação de palhada, numa combinação de processos que têm mostrado bons resultados na recuperação da produtividade de solos predominantemente ácidos.

## REFERÊNCIAS

BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais. In: UDESC LAGES, DEPARTAMENTO DE SOLOS, 26., 2004, Lages: Fertbio. Lages: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5, 2004.

BEZERRA, Paulo Sérgio Silva; TAKIYAMA, Luís Roberto; BEZERRA, Cícero Wellington Brito. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazonica: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, SciELO Brasil, Manaus, v. 39, n. 33, p. 639–648, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v39n3/v39n3a19.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017.

BRAGA, Gastão Ney Monte. **A acidez do solo: ativa e potencial**. 2010. Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/04/acidez-do-solo-ativa-e-potencial.html>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Os solos**. 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas— Rede-Ametista/Canal-Escola/Os-Solos-2620.html>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529–1538, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v36n12/7495.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

COLODETTI, Tafarel Victor et al. Efeito do alumínio na germinação e na morfologia radicular de cultivares de pepino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 767–776, 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/efeito%20do%20aluminio.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2018.

CONAB, Companhia Nacional do Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira – grãos. **Acompanhamento da Safra Brasileira**, Brasília, p. 161, 2017.

CRUZ, José Carlos et al. **Milho: plantio direto**. 2010. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG017259200523355.html>>. Acesso em: 18 maio 2017.

EMBRAPA. **Soja: Origem da acidez**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, ageitec, 2010. Disponível em:

<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01271020069132.html>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

(FAO), Organização das Nações Unidas Para A Alimentação e A Agricultura. **THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE: Livestock in the balance**. Roma, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

FERREIRA, Reinaldo de Paula; MOREIRA, Adônis; RASSINI, Joaquim Bartolomeu. Toxidez de alumínio em culturas anuais: Documentos 63. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)**, São Carlos, dez. 2006. ISSN 1980-6841. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/47901/4/Documentos63.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Alumínio: o alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre e o metal não ferroso mais utilizado pelo homem**. 2014. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/aluminio.html>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

FREITAS, Fábio Almeida de et al. Absorção de p, mg, ca e k e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 36, n. 1, p. 72–79, fev. 2006. ISSN 0103-8478. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v36n1/a11v36n1.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

GEOLOGIA, UFJR:. **Elementos sobre a Terra e a crosta terrestre**. 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GeologiaCap2.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.

GIONGO, Vanderlise. **Alumínio em sistemas de culturas no sistema de plantio direto**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/VanderliseGiongo.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, Fred. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Soc.*, jan. 1986. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/246044255\\_Effect\\_of\\_Organic\\_Acids\\_on\\_Aluminum\\_Toxicity\\_in\\_Subsoils](https://www.researchgate.net/publication/246044255_Effect_of_Organic_Acids_on_Aluminum_Toxicity_in_Subsoils)>. Acesso em: 25 maio 2017

JENNY, Hans. *Factors of soil formation: factors of soil formation*. New York: Courier Corporation, 1994. Disponível em: <<http://netedu.xauat.edu.cn/sykc/hjx/content/ckzl/6/2.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

KOCHIAN, Leon V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual review of plant biology**, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 46, n. 1, p. 237–260, June 1995. Disponível em: <<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.46.060195.001321?journalCode=arplant.2>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

LEAL, Marco Antonio de Almeida. **Aproveitamento agrícola de resíduos orgânicos**. Pato Branco, 2017.

LIMA, Rosiane de Lourdes Silva de et al. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15–21, 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Crescimento+da+mamoneira+em+solo+com+alto+teor+de+aluminio+na+presenca+e+ausencia+de+materia+organica+000h4u7e9vn02wx7ha0awymtyv67mai9.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

LOPES, Alfredo Scheid; SILVA, Marcelo de Carvalho; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. **Acidez do solo e calagem: boletim técnico n 1**. São Paulo, 1991. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Calagem\\_boletim\\_tecnicoID-80pHHoncbJ.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Calagem_boletim_tecnicoID-80pHHoncbJ.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2017.

MACEDO, Célia Maria Peixoto de et al. Germinação e vigor de sementes de café submetidas ao estresse com alumínio. **Scientia Agraria**, Universidade Federal do Paraná, v. 9, n. 2, p. 235–239, 2008. ISSN 1983-2443. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/11010/8202>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

MACEDO, Fabrício Lopes de et al. Efeito do alumínio em plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, v. 32, n. 1, p. 157–163, jan. 2011. ISSN 1676-546X. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744100016>>. Acesso em: 13 maio 2018.

MATOS, Antonio Teixeira de; COSTA, Liovando Marciano da. Lixiviação do resíduo do branqueamento da celulose em colunas de solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 171–177, 1996. ISSN 0100-6762. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ozSaAAAAIAAJpg=PA173lpg=PA173dq=Lixiviação+do+resíduo+do+branqueamento+da+celulose+em+colunas+de+solo.source=blots=cGIYp4C1qTsig=t8jdSLVyJJqPR-t8SB7PzPyTQhl=ptBRsa=Xved=2ahUKEwiLI4Xf0dLeAhWHUZAKHZcjA7UQ6AEwAnoECACQAQv=onepageq=Lixiviação%20do%20resíduo%20do%20branqueamento%20da%20celulose%20em%20colunas%20de%20solo.f=false>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

MEURER, Egon José. **Fundamentos de química do solo**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2006. ISBN 978-85-7727-225-9.

MIYAZAWA, Mario; PAVAN, Marcos A.; FRANCHINI, Julio Cezar. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **POTAFOS, Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 92, p. 1–8, dez. 2000. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/FD42FA059775689083257AA300691B05/FILE/Encarte%2092.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

SALET, Roberto Luiz. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Maio 1998. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/2662solos.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SALET, R. L. et al. Adsorção específica de alumínio no sistema plantio direto. **Plantio Direto, Passo Fundo**, 1999.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José. **Latossolos: definição e características gerais**. 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_11\\_2212200611540.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_11_2212200611540.html)>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SMITH, C. J. et al. Effects of organic and inorganic calcium compounds on soil-solution pH and aluminium concentration. *European Journal of Soil Science*, Wiley Online Library, v.46, n.1, p.53–63, mar. 1995. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01812.x/epdf?r3referer=woltracking&action=preview&clickshow&checkout=1purchase&referrer=www.google.com.brpurchase&site\\_license=LICENSE\\_EXPIRED](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01812.x/epdf?r3referer=woltracking&action=preview&clickshow&checkout=1purchase&referrer=www.google.com.brpurchase&site_license=LICENSE_EXPIRED)>. Acesso em: 15 maio 2017.