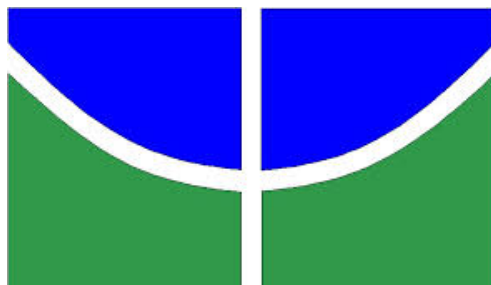


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA



FERNANDO JOSÉ VILELA

Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens*

- Tese de Doutorado -

Brasília-DF
2017

FERNANDO JOSÉ VILELA

Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica do Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Prof.^a Dra. Sarah Silva Brum

Brasília-DF
2017

Folha de Aprovação

Comunicamos a aprovação da Defesa de Tese de Doutorado do (a) aluno (a) **Fernando José Vilela**, matrícula nº **13/0092282**, intitulada ***“Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de Magonia pubescens”***, apresentada no (a) Auditório Azul do Instituto de Química (IQ) da Universidade de Brasília (UnB) em 10 de fevereiro de 2017.

Prof.^a Dra. Sarah Silva Brum
Presidente de Banca (IQ/UnB)

Prof. Dr. Fabrício Machado Silva
Membro Titular (IQ/UnB)

Prof. Dr. Wilton Duarte Ferreira
Membro Titular (FINOM)

Prof. Dr. Luiz Carlos Oliveira Alves
Membro Titular (IQ/UFGM)

Prof.^a Dra. Cinthia Castro Oliveira
Membro Titular (IQ/UNIFAL)

Prof.^a Dra. Andressa Regina Vasques Mendonça
Membro Suplente (IQ/UnB)

Em 10 de fevereiro de 2017.

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho a Sra. Duda, Educadora e Empresária em Carmo do Rio Claro - MG, que em 1998 orientou-me em uma tomada de decisão que possibilitou estar aqui desenvolvendo este trabalho.”

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha orientadora Prof.^a Doutora Sarah Brum, que aceitou-me como orientado e compartilhou tanto conhecimento, fundamental para realização deste trabalho.

Agradeço a todos os colegas do LMC do IQ da UnB, em especial a Ana Carolinne e Isabela, pelo apoio na realização do trabalho.

Agradeço imensamente a equipe dos Laboratórios Ambiental e Agrícola do CTA da CAMPO, pelo enorme apoio na realização dos experimentos e análises, em especial ao Mark Le Petit, Juliene Ferreira e Fábio Martins. Prometo retribuir a ajuda nos mestrados e doutorados de vocês que teremos pela frente.

Agradeço imensamente ao Geraldo Lima, Diretor do CTA da CAMPO que autorizou, motivou e contribuiu muito para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço a todos os colegas e amigos e contribuíram nas conversas para nortear os testes, experimentos e ideias.

Registro também meu agradecimento a Instituições UnB e CAMPO pela possibilidade de realização deste doutoramento.

Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens*

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um condicionador de solos a partir da biomassa de *Magonia pubescens*, uma planta típica do cerrado brasileiro. Foi aplicado a biomassa um tratamento químico oxidativo e posterior secagem. Foi avaliada a composição química do condicionador de solos produzido, as propriedades físico-químicas de capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água, assim como foram realizados ensaios com aplicação diretamente em dois solos, sendo um com textura arenosa e outro com textura argilosa. Os resultados indicaram que o tratamento químico oxidativo empregado permite a obtenção de um material com composição majoritariamente holocelulósica, assim como foi evidenciado que o condicionador de solos produzido apresenta capacidade de retenção de água de 35 g.g⁻¹ e 471 mmol_c.kg⁻¹ de capacidade de troca catiônica. Os testes com aplicação de 1% do condicionador produzido nos dois solos selecionados evidenciaram que no solo argiloso, o condicionador de solos elevou a água total disponível de 0,175 g.g⁻¹ para 0,258 g.g⁻¹, o que representou um aumento de 47%. Quando aplicado em no solo arenoso, observou-se uma elevação da água total disponível ainda mais acentuado, aumentando de 0,035 g.g⁻¹ para 0,060 g.g⁻¹, representando um aumento de 71%. Os ensaios de lixiviação realizados em colunas evidenciaram que o condicionador de solos desenvolvido reduziu a lixiviação dos nutrientes cálcio, potássio, enxofre, zinco e boro, evidenciando que a utilização do mesmo no solo resulta em um aumento na capacidade de retenção de nutrientes. Os resultados dos testes realizados evidenciam que o material produzido se apresenta como um produto potencial para o mercado de condicionador de solos.

Palavras-chave: condicionador de solos, hidrogel, capacidade de retenção de água, *Magonia pubescens*, tingui.

Development of a Soil Conditioner from *Magonia pubescens* biomass

ABSTRACT

This study aimed to develop a soil conditioner from *Magonia pubescens* biomass, a typical plant from Brazilian savanna. It was used an oxidative chemical treatment and subsequent drying was applied. After evaluation of the chemical composition of the produced soil conditioner, the physic-chemical properties of cation exchange capacity and water holding capacity, as well as directly application tests were performed in two soils, one with sandy texture and one with clayey . The results indicated that the employed oxidative chemical treatment allows to obtain a material mainly composed by holocellulose, as evidenced by the soil conditioner produced presents water retention capacity of 35 g.g⁻¹ and 471 mmol_c.kg⁻¹ of capacity cation exchange. Tests with application of 1% conditioner produced in two selected soils showed that the clay soil, the soil conditioner brought the total water available 0.175 g.g⁻¹ to 0.258 g.g⁻¹, which represented an increase of 47%. When applied to the sandy soil, there was an increase of the total water available even higher, increasing from 0.035 g.g⁻¹ to 0.060 g.g⁻¹, an increase of 71%. The leach tests carried out in columns showed that the soil conditioner developed reduced the leaching of calcium, potassium, sulfur, zinc and boron nutrients, showing that the use of the same in the soil results in an increase in nutrient retention capacity. The results of the tests carried out show that the material produced is a potential product for the soil conditioner market.

Keywords: soil conditioner, hydrogel, water retention capacity, *Magonia pubescens*, tingui.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condutibilidade hidráulica vs volume de água no solo.....	9
Figura 2: Capacidade de retenção de água sob diferentes tensões.....	10
Figura 3: Capacidade de retenção de água sob diferentes tensões.....	10
Figura 4: Forma padrão da CRA obtida por meio do modelo de Van Genuchten.....	12
Figura 5: Triângulo Textural de classificação de solos.....	13
Figura 6: Estrutura molecular da celulose.....	18
Figura 7: Estrutura macromolecular da celulose.....	19
Figura 8: Estrutura macromolecular Hemicelulose	19
Figura 09: Árvore e fruto da semente do tingui.....	20
Figura 10: Espectroscopia da região do infravermelho da biomassa de <i>Magonia pubescens</i> e Hidrogel purificado.....	21
Figura 11: Principais açúcares constituintes da Hemicelulose do Hidrogel do tingui <i>in natura</i>	22
Figura 12: Micrografias eletrônicas de varredura da evolução do processo de hidratação. A- material não hidratado. B – após 30s de imersão. C – 90s de imersão.....	23
Figura 13: Representação esquemática dos ensaios.....	24
Figura 14: Árvore, fruto e envoltório da semente do tingui.....	25
Figura 15: A imagem à esquerda apresenta o tingui antes da moagem e a Figura a direita após a moagem.....	26
Figura 16: Material obtido após o tratamento químico oxidativo e secagem em estufa.....	27
Figura 17: Representação esquemática do Condicionador de Solos Desenvolvido com diferentes granulometrias.....	28
Figura 18: Mesa de granulação construída em mdf.....	29
Figura 19: CSD granulado.....	29
Figura 20: Câmara de Richards.....	34
Figura 21: Coluna de garrafa PET utilizada nos ensaios de lixiviação.....	35
Figura 22: Adição do CSD ao solo antes de ser homogeneizado.....	35
Figura 23: Coluna de garrafas pet prontas para o ensaio de lixiviação	35
Figura 24: Sistema Respirométrico – Adaptado.....	37

Figura 25: Mistura de solo e CSD a esquerda e solo e CSC a direita antes do início do experimento	38
Figura 26: Correlação entre proporção de CSD e Capacidade de Campo.....	46
Figura 27: Curva de Retenção de Água para os tratamentos com CSD em solo argiloso.....	48
Figura 28: Curva de Retenção de Água para os tratamentos com CSD em solo arenoso.....	50
Figura 29: Água Disponível Total para os tratamentos nos solos argiloso e arenoso	53
Figura 30: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 0,5% de CSD em dois diferentes tipos de solo	55
Figura 31: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 0,5% de CSC em dois diferentes tipos de solo	55
Figura 32: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,0% de CSD em dois diferentes tipos de solo	55
Figura 33: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,0% de CSC em dois diferentes tipos de solo	56
Figura 34: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,5% de CSD em dois diferentes tipos de solo	56
Figura 35: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,5% de CSC em dois diferentes tipos de solo	57
Figura 36: Resultados dos teores acumulados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso... ..	59
Figura 37: Resultados dos teores acumulados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso... ..	62
Figura 38: Resultados dos teores de cálcio nas amostras de solo arenoso e arenoso após o período de experimentação.....	63
Figura 39: Resultados dos teores acumulados de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso... ..	64
Figura 40: Resultados dos teores acumulados de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso... ..	67
Figura 41: Resultados dos teores de potássio nas amostras de solo arenoso e arenoso após o período de experimentação.....	68

Figura 42: Resultados dos teores acumulados de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	70
Figura 43: Resultados dos teores acumulados de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	71
Figura 44: Resultados dos teores de zinco nas amostras de solo arenoso e arenoso após o período de experimentação.....	71
Figura 45: Resultados dos teores acumulados de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	74
Figura 46: Resultados dos teores acumulados de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	76
Figura 47: Resultados dos teores de enxofre nas amostras de solo arenoso e arenoso após o período de experimentação.....	77
Figura 48: Resultados dos teores acumulados de boro no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	79
Figura 49: Resultados dos teores acumulados de boro no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso...	80
Figura 50: Resultados dos teores de boro nas amostras de solo arenoso e arenoso após o período de experimentação.....	81
Figura 51: Quantidade de CO ₂ acumulado para os tratamentos utilizando solo argiloso e arenoso.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área superficial e CTC de diferentes aluminossilicatos	3
Tabela 2: Composição da biomassa do tingui	21
Tabela 3: Codificação das colunas de lixiviação montadas.....	34
Tabela 4: Resultados das análises químicas do Tingui <i>in natura</i> e tratado.....	39
Tabela 5: Resultados dos testes de CTC e CRA para o CSD.....	40
Tabela 6: Resultados dos testes de CTC e CRA para o CSD com diferentes granulometrias.....	40
Tabela 7: Análise Química da Fertilidade do Solo Argiloso e Arenoso.....	43
Tabela 8: Análise Química da Fertilidade do Solo Argiloso e Arenoso.....	44
Tabela 9: Resultados de CC dos solos com diferentes adições de CSD.....	45
Tabela 10 - Resultados de CRA dos solos argilosos e arenosos.....	47
Tabela 11: Valores de W (g.g ⁻¹) calculados e obtidos da curva de retenção de água em solo argiloso	49
Tabela 12: Parâmetros do modelo de Van Genuchten calculados para solos argilosos.....	50
Tabela 13: Valores de W (g.g ⁻¹) calculados e obtidos da curva de retenção de água em solo arenoso	51
Tabela 14: Parâmetros do modelo de Van Genuchten para calculados para solos arenosos.....	51
Tabela 15: Água Disponível Total nos dois tipos de solos.....	52
Tabela 16: Condutividade Elétrica dos ensaios de lixiviação.....	54
Tabela 17: Concentração de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso.....	58
Tabela 18: Concentração de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.....	61
Tabela 19: Concentração de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso.....	63
Tabela 20: Concentração de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.....	66
Tabela 21: Concentração de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo	

arenoso.....	69
Tabela 22: Concentração de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.....	70
Tabela 23: Concentração de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso.....	72
Tabela 24: Concentração de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.....	75
Tabela 25: Concentração de boro no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso.....	77
Tabela 26: Concentração de boro no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA: Agência Nacional de Águas

CRA: Capacidade de Retenção de Água

CTC: Capacidade de Troca Catiônica

CTA: Capacidade de Troca Aniônica

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FMI: Fundo Monetário Internacional

IES: Instituição de Ensino Superior

IFET: Instituto Federal de Ensino Tecnológico

PIB: Produto Interno Bruto

ONU: Organizações das Nações Unidas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 Química dos Solos.....	3
3.2 Interação Água – Solo.....	7
3.3 Propriedades Físicas do Solo.....	13
3.4 Condicionadores de Solos.....	14
3.5 Hidrogéis.....	16
3.5.1 Hidrogéis Naturais.....	17
3.5.2 Hidrogéis sintéticos.....	19
3.6 Tingui.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Coleta da Matéria Prima.....	26
4.2 Preparação dos Condicionadores de solo.....	27
4.2.1 Preparação do condicionador de solo – CSD.....	27
4.2.2 Teste de Granulação.....	29
4.4 Análises químicas do condicionador de solo desenvolvido - CSD.....	30
4.5 Análises Química e Física dos solos utilizados nos ensaios.....	31
4.6 Preparo do Solo com os Condicionadores.....	33
4.7 Curva de Retenção de água.....	33
4.8 Testes em colunas de solo e ensaios de lixiviação.....	34
4.8.1 Construção das Colunas.....	35

4.8.2 Testes de Lixiviação	37
4.9 Ensaio de Geração de CO ₂ utilizando respirometria.....	38
5. <i>RESULTADOS E DISCUSSÕES</i>	40
5.1 Caracterização dos materiais	40
5.2 Resultados de produção do CSD	42
5.3 Avaliação do efeito de Aplicação do CSD no solo	43
5.3.1 Avaliação da fertilidade química das amostras de solo.	43
5.3.2 Avaliação do CSD na Capacidade de Campo das amostras de solo.	45
5.3.3 Avaliação do CSD na Curva de Retenção de Água das amostras de solo.	47
5.3.4 Avaliação do Água Disponível Total das amostras de solo.	52
5.3.5 Avaliação da Influência do CSD na CTC do solo – Ensaio de Lixiviação.	54
5.4 Avaliação da geração de Dióxido de Carbono em ensaio de respirometria.....	81
6 <i>CONCLUSÕES</i>	83
7.0 <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	84

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias tem sido um dos grandes desafios da indústria do século XXI, sendo considerado um grande diferencial para a longevidade das empresas no mercado. O desenvolvimento de novas tecnologias é possível por vários meios, entre eles o *Know How* das empresas em seus respectivos nichos tecnológicos e a pesquisa científica. No Brasil, grande parte da pesquisa científica é realizada em instituições de ensino como as IES, IFET e órgãos específicos de pesquisa como por exemplo a EMBRAPA, Instituto Oswaldo Cruz, Instituto Agrônomo de Campinas, entre outros. A observação deste cenário aponta, portanto, para a importância da atuação conjunta e próxima das instituições que realizam as pesquisas e as empresas, para que, somando forças, possam produzir avanços e conhecimentos tecnológicos.

O Brasil é hoje a sétima maior economia do mundo, segundo dados do FMI e apresenta um PIB onde o setor Agrícola representa em torno de 25% de toda a riqueza produzida no país (CEPEA, 2015). Estes números refletem a extensa área territorial agricultável do país e o crescimento da produção agrícola das últimas décadas. Porém, apesar dos números parecem otimistas, o setor agrícola apresenta-se em um período onde soluções tecnológicas são necessárias, seja devido a limitação dos recursos naturais, produtividade ou custeio de produção.

Várias alternativas tecnológicas têm sido desenvolvidas para o melhoramento da agricultura, principalmente ligadas à mecanização e automatização, visando o alto rendimento das culturas e a diminuição no custeio agrícola. Além do desenvolvimento necessário para modernização da agricultura, percebe-se a necessidade de desenvolvimentos que torne a agricultura mais sustentável e que a prepare para enfrentar os desafios de escassez hídrica e degradação dos solos.

Segundo dados da FAO (2015), organismo da Organização das Nações Unidas que se dedica ao estudo da Agricultura, um terço dos solos do planeta estão degradados, sejam por mecanismos químicos, físicos ou biológicos. Esta degradação dos solos, os torna, sem dúvidas, menos férteis e portanto, influencia na produção mundial de alimentos. Alinhada aos danos provocados pelo manejo inadequado dos solos, a agricultura irrigada no Brasil é responsável por 72% de toda a água consumida do país, segundos dados da ANA&EMBRAPA (2015) e portanto, considerando os

desafios futuros devido a limitação dos recursos hídricos, faz se necessários desenvolvimentos de tecnologias que permitam uma utilização mais racional da água, aumento de eficiência dos sistemas de irrigação atuais, melhor aproveitamento da água utilizada na irrigação e melhoria nos aspectos relacionados a fertilidade do solo.

Neste contexto, este trabalho foi concebido e executado, objetivando desenvolver um produto que pudesse ser utilizado na agricultura, contribuindo para melhorar os aspectos físicos e químicos do solo, no que tange a sua capacidade de retenção e utilização de água e nutrientes. Utilizou-se como matéria prima a biomassa de uma árvore típica e abundante no cerrado, denominada Tingui e com nome científico *Magonia pubescens*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir um condicionador de solos a partir da biomassa de *Magonia pubescens*, uma árvore típica do cerrado.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir um condicionador de solos a partir da biomassa de *Magonia pubescens* utilizando um ataque químico oxidativo;
- Caracterizar química e fisicamente o condicionador de solos obtidos;
- Avaliar as propriedades físico-químicas de CRA - capacidade de retenção de água e CTC - capacidade de troca catiônica dos condicionadores de solo produzidos;
- Avaliar os efeitos de aplicação do condicionador de solos produzido na cinética de nutrientes em dois diferentes solos de áreas de produção agrícola nacional.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Química dos Solos

O solo pode ser definido como um corpo natural, constituído de componentes inorgânicos e orgânicos e que apresenta diversas propriedades químicas, físicas e biológicas. Os solos geralmente são classificados com base nas suas propriedades físicas e composição química, esta última bastante relacionada aos processos de intemperismo dos leitos rochosos (Kabata, 2010).

Analisando do ponto de vista químico, o solo é fundamentalmente uma interação de constituintes nas fases líquida, sólida e gasosa. Estes constituintes estão em constante contato e há um fluxo de matéria e energia entre eles, trocas estas regidas pela termodinâmica (Nunes, 2005).

O potencial de adsorção de nutrientes de um solo está relacionado com a presença de partículas em tamanhos coloidais, principalmente composto de materiais argilo-minerais, na fração argila do solo. Além das argilas, a matéria orgânica mineralizada também é comumente um constituinte coloidal do solo, que apresenta potencial de adsorção de cátions devido a hidrólise de grupos carboxílicos e fenólicos, presentes nos ácidos orgânicos (Chassapis, 2010).

A dinâmica dos nutrientes no solo é regulada principalmente conforme os mecanismos de troca iônica, por meio de adsorção reversível de íons, principalmente cátions. As cargas negativas do solo são principalmente provenientes das argilas e matéria orgânica, sendo a primeira, geralmente, a mais importantes. A capacidade de absorver reversivelmente cátions de um solo pode ser definida pela Capacidade de Troca Catiônica – CTC e a capacidade de absorver reversivelmente ânions é denominada Capacidade de Troca Aniônica – CTA.

As cargas negativas das argilas aluminosilicatadas surgem a partir da substituição de átomos de silício (tetravalentes) por átomos de alumínio (trivalentes) nas células unitárias. Esta substituição resulta em uma carga negativa proveniente de um átomo de silício já presente na estrutura. A CTC dos aluminosilicatos naturais varia de valores próximos a zero para minerais isomórficos ou pouco substituídos para valores superiores a $150 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, em minerais como as vermiculitas. A CTC de algum aluminosilicatos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Área superficial e CTC de diferentes aluminossilicatos (fonte: McBride, 1994)

Aluminossilicatos	Fórmula Química	Área Superficial (m ² .g ⁻¹)	CTC (cmol _c .kg ⁻¹)
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	5-20	1-15
Ilita	(K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O]	80-150	10-40
Vermiculita	(Mg,Ca) _{0.7} (Mg,Fe,Al) _{6.0} [(Al,Si) ₈ O ₂₀](OH) ₄ .8H ₂ O	300-500	100-150
Esmeclita	(1/2Ca,Na) _{0.7} (Al,Mg,Fe) ₄ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ .nH ₂ O	700-800	70-120

As cargas positivas – CTA nas argilas do solo geralmente são resultados de substituições isomórficas de cátions de menor valência por cátions de maior valência.

Os mecanismos de adsorção no solo, considerando as fases solução do solo e adsorventes, como argila por exemplo, são regulados conforme a equação de Vanselow (McBride, 1994).

$$\text{razão mássica } X = \frac{[XA]}{[XA]+[YA]} \quad (1)$$

Onde: X e Y são os cátions em equilíbrio e A é o ânion.

Segundo Vanselow, a quantidade mássica de adsorvato é proporcional a fração deste adsorvato nos sítios ocupados e não pela quantidade deste no adsorvente.

Isto se torna principalmente importante quando se avalia os aspectos termodinâmicos das interações que ocorrem nos componentes do solo. Conforme proposto por Yu (2011), a heterogeneidade da distribuição de íons no solo, principalmente na fração coloidal, é interpretada como resultado da interação eletrostática das partículas coloidais com a fase líquida do solo, sendo observado uma maior concentração de eletrólitos na superfície dos coloides do que na solução do solo. Ainda segundo este mesmo autor, no solo podem ocorrer adsorção e troca iônica, o que difere termodinamicamente no tipo de energia envolvida, sendo no primeiro caso a energia de adsorção e no segundo a energia de troca iônica. A energia livre de adsorção – ΔG_{ads} – na superfície coloidal de um solo pode ser expressa por:

$$\Delta G_{ads} = \Delta G_{Coul.} + \Delta G_{chem.} + \Delta G_{reac.} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta G_{Coul.}$ = Energia eletrostática

$\Delta G_{chem.} = \text{Energia química}$

$\Delta G_{reac.} = \text{Energia polarização}$

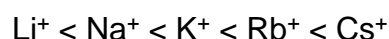
A $\Delta G_{coul.}$ é energia eletrostática e refere-se a mudança na energia livre causada pela interação entre a carga do íon e a carga elétrica do sítio de adsorção. Esta energia está relacionada com a carga elétrica dos íons envolvidos na reação e independe de outras propriedades.

A $\Delta G_{chem.}$ é a energia resultante da adsorção do íon na superfície, podendo assumir valores positivos, negativos ou zero. Esta energia é resultante da natureza e espécie do íon adsorvido, o que inclui forças de polarização, coordenação e forças de Van de Walls. Se esta energia for alta o suficiente para superar a energia eletrostática, um íon pode ser adsorvido em um sítio de mesma carga.

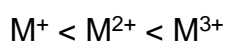
A $\Delta G_{reac.}$ está relacionada com o tamanho e polarizabilidade de íon adsorvido, assim como da estrutura da superfície do adsorvente, podendo assumir valores positivos ou negativos. É importante ressaltar que esta energia difere de energia química na medida em que esta pode mudar com a alteração no potencial de superfície, quando a superfície não apresenta carga elétrica, a energia de polarização é igual a zero.

A importância de cada uma destas energia varia conforme os fenômenos observados no solo, por exemplo, em adsorções onde o íon apresenta uma carga oposta à superfície do adsorvato, a componente da energia eletrostática se torna a componente principal equação 2. Porém, quando ocorre uma adsorção seletiva, ou seja, ocorre uma adsorção maior de um íon em uma solução onde outros íons de mesma carga estão presentes, a componente de energia de polarização se torna a mais importante na equação 2.

Exemplo da importância destas componentes também pode ser observado na seletividade de íons de mesma carga em argilas, resinas de troca iônica e alguns óxidos, conforme estudos de Gast (1969), onde a seletividade é dada por:



o que indica que o raio de hidratação é um fator importante na adsorção no solo. Quando se avalia íons com cargas diferentes, a seletividade genérica é:



o que indica que existe uma maior probabilidade da adsorção ocorrer com o cátion de maior valência.

A adsorção de íons na superfície dos coloides é função das cargas positivas ou negativas existentes, porém, não há uma relação estrita entre a carga líquida de um solo e as reações de adsorção. Isto porque, pode ocorrer em certas regiões uma concentração de cargas e deste modo, favorecer um certo tipo de reação.

A carga eletrostática líquida de um solo pode ser entendida analisando o conceito do Potencial de Carga Zero – PCZ. O PCZ é o ponto no qual a carga líquida do solo é zero, ou seja, a quantidades de cargas positivas é igual a de carga negativas.

As cargas elétricas nos solos podem ser permanentes ou temporárias, sendo as primeiras originárias de coloides completamente polarizáveis ou de carga superficial constante e a segunda de coloides com carga superficial reversíveis (Raij, 1973).

As cargas negativas permanentes geralmente são originárias das argilas aluminosilicatadas, devido a substituição de um átomo por outro de valência menor, como já discutido anteriormente. As cargas positivas em argilas aluminosilicatadas são originárias da substituição isomórfica de átomos de menor por átomos de maior valência. Solos de países com clima temperado são exemplos de solos com cargas líquidas predominantemente de argilas aluminosilicatadas.

Em coloides com cargas temporárias e reversíveis, a carga é determinada pelos íons determinadores de potencial, como por exemplos os óxidos metálicos e matéria orgânica. Os íons determinadores de potencial em solos são em geral os íons H^+ e OH^- , ou seja, o pH do solo.

A interação de cargas na superfície dos coloides dos solos é explicada pela teoria da Dupla Camada Difusa, que descreve a distribuição de íons próximos à superfície carregada de coloides, relacionando a carga com o potencial elétrico da superfície (Raij, 1972). A equação simplificada do potencial da dupla camada elétrica é:

$$\Psi_0 = \frac{RT}{F} \ln \frac{H^+}{H_{pcz}^+} \quad (3)$$

Onde R é a constante dos gases, T é a temperatura absoluta e F é a constante de Faraday. Substituindo as constantes R, T e F e simplificando, tem-se a Equação 4:

$$\Psi_0 = 59,1 * (PCZ - pH) \quad (4)$$

Onde:

Ψ_0 : potencial da dupla camada difusa em mV

PCZ: ponto de carga zero

pH: pH do solo

Com a Equação 4, é possível determinar o potencial da dupla camada difusa em solos utilizando métodos analíticos relativamente simples e usuais em laboratórios químicos.

Analisando a Equação 4, é possível avaliar que haverá um potencial positivo quando a subtração PCZ – pH for maior que zero, ou seja, quando o valor de pH do solo for menor que o ponto de carga zero. Nesta situação, haverá no solo uma predominância de cargas negativas. Outro aspecto importante que pode ser avaliado nesta mesma equação é que, para coloides com cargas permanentes, um aumento na concentração de eletrólito irá resultar em uma diminuição do potencial elétrico, para manter constante a densidade de cargas da superfície. Já para coloides com cargas reversíveis, em um dado pH, ocorre o aumento da densidade de carga com o aumento da concentração do eletrólito (Alleoni, 1994).

3.2 Interação Água – Solo

A água presente no solo pode estar em três diferentes formas: Livre, adsorvida nos sólidos do solo ou na solução do solo. A retenção e movimentação da água no solo, sua captação e transporte pelas plantas, assim com sua liberação para a atmosfera, seja pela evaporação diretamente do solo ou pela evapotranspiração das plantas, são processos relacionados a fenômenos energéticos, onde estão envolvidas energia potencial, cinética e elétrica (Brady, 1989).

A importância da água no solo vai muito além de atender a demanda hídricas das plantas. Conforme Sposito (1984), as principais reações no solo ocorrem quando a água apresenta-se como um fluido no solo, em contato com as partículas sólidas e gás e portando, atuando na solubilização, transporte e armazenamento de eletrólitos. Ainda segundo este mesmo autor, a água pode apresentar diferentes comportamentos quando no solo, implicando em diferentes efeitos se encontra-se na fase líquida como um fluido ou se está envolvendo uma molécula sólida, como por exemplo no processo de solvatação das argilas e íons. A presença da água pode alterar o comportamento das argilas, resultando, segundo o autor, em um comportamento parecido com um

grupo funcional.

Conforme princípios da termodinâmica, toda substância tende a deslocar-se para um estado de menor energia. Com a água no solo, isto não é diferente e a interação e movimento da água no solo são regidos pela soma das energias envolvidas.

Brady (2014) propõe que a água no solo está sujeita a três forças principais: A força gravitacional, a força matricial a força osmótica e ainda um potencial residual. A força resultante destes potenciais pode ser representada por:

$$\Psi_{\text{água}} = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_r \quad (5)$$

Onde: Ψ_g : Potencial gravitacional

Ψ_m : Potencial matricial

Ψ_o : Potencial osmótico

Ψ_r : Potencial residual

O potencial gravitacional atua sobre a água do solo do mesmo modo que atua sobre qualquer outro corpo. Deste modo, tomando como referência a superfície da terra, a força gravitacional poderia ser representada pelo produto da equação $\Psi_g = mgh$, onde m é a massa, g é a aceleração da gravidade e h é a altura com relação a um referencial da superfície do solo. Neste caso, o Ψ_g seria um potencial negativo.

A gravidade desempenha um importante papel na remoção do excesso de água das zonas radiculares após intensas precipitações ou irrigação abundante.

Ainda segundo este mesmo autor, o potencial matricial é resultado da atração dos sólidos do solo com a água, resultando em um processo de adsorção ou capilaridade. A água poderá ocupar os poros dos solos, desde que estes não estejam ocupados com ar. O somatório destas forças irá reduzir a energia da água do solo, quando comparado com a energia da água livre ou não adsorvida, deste modo, o Ψ_m será sempre negativo. O potencial matricial é importante para a movimentação da água do solo e uma região úmida (alta energia) para uma região seca (baixa energia) do solo.

O potencial osmótico é resultado da atração dos solutos com a água, principalmente na solução do solo. A água tenderá a se deslocar de regiões com menor concentração de soluto para regiões com maior concentração de soluto. Este

mecanismo é menos importante que o potencial matricial para o deslocamento do fluxo de água no solo, porém, é de extrema importância para entender a absorção radicular.

A movimentação de água no solo se dá por três tipos de movimentos: Fluxo saturado, fluxo não saturado e equalização de vapor.

O fluxo saturado ocorre quando todos os poros do solo estão ocupados com água. Neste caso, a movimentação da água no solo pode ser dada por:

$$V = kf \quad (6)$$

Onde V : Volume total de água movimentada

k : condutibilidade hidráulica do solo

f : força motora da água.

A movimentação de água no solo é proporcional ao tamanho dos poros. O fluxo de água nos macroporos são os principais responsáveis pela movimentação de água por fluxo saturado. Os solos arenosos possuem, em geral, uma condutibilidade saturada maior que os solos com textura mais argilosas. Isto ocorre porque os solos com textura mais fina podem sofrer um maior empacotamento, o que diminui o tamanho de poros. A condutibilidade hidráulica é principalmente acentuada com índices de maior umidade no solo e porosidade, conforme apresentado na Figura 1, onde P representa a porosidade de dois solos. Isto é, na prática, bastante importante, principalmente em solos com baixa capacidade de drenagem (Bruand et al., 2005).

O fluxo não saturado ocorre quando os macroporos encontram-se ocupados com ar e os meso e microporos encontram-se ocupados com água. A movimentação de água sob estas condições é menor quando comparada a movimentação devido ao fluxo saturado. Isto ocorre porque, no fluxo não saturado, a força motriz da movimentação da água é resultado das forças matriciais.

Um terceiro tipo de movimentação de água no solo é a movimentação do vapor de água. A movimentação da água por meio do vapor pode ocorrer em dois casos, sendo o primeiro na superfície do solo e o segundo no interior do solo. O segundo é mais importante para os aspectos químicos e biológicos. A água como vapor encontra-se no ar presente no solo, conferindo-lhe uma umidade relativa próxima a 100%. A movimentação do vapor de água se dá pelo gradiente de pressão de vapor. Isto ocorre por exemplo quando um solo úmido está em contato com um solo seco e com menor

pressão de vapor. Neste caso, haverá uma difusão do vapor de água do solo mais úmido para o solo mais seco. A movimentação da água por meio do vapor é a que apresenta a menor significância, quando comparado com transferência por fluxo saturado e fluxo insaturado (Van Wijk, 1985).

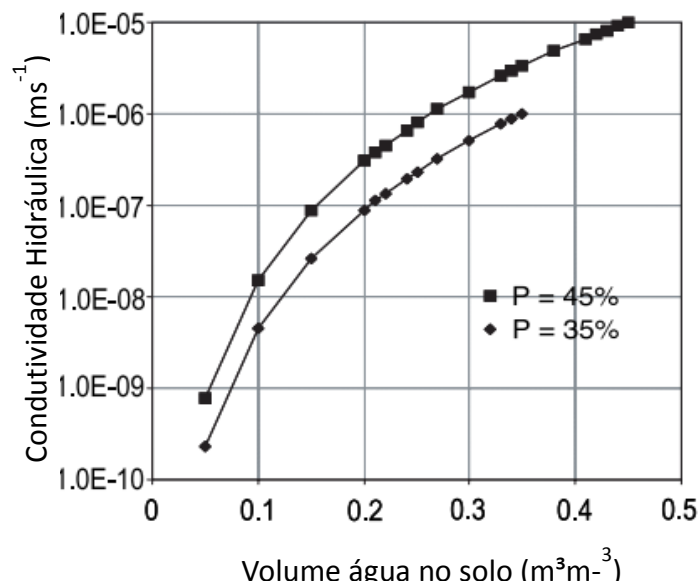


Figura 1: Condutibilidade hidráulica *versus* volume de água no solo (Bruand et al., 2005)

A capacidade de retenção de água de um solo pode ser avaliada por dois fatores: o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo. O ponto de murcha permanente - PMP é o teor de umidade no qual a planta não consegue mais retirar água do solo. A capacidade de campo - CC é a capacidade máxima do solo em reter água, acima da qual ocorrem perdas por percolação de água no perfil ou por deslocamento superficial. Usualmente, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente são considerados os limites máximo e mínimo, respectivamente, de água disponível no solo. O ponto de murcha permanente é determinado por meio de uma pressão de 15 bar, enquanto a capacidade de campo é determinada a 0,1 bar. A Figura 2 apresenta a indicação da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), coeficiente higroscópico, assim como as forças relacionadas em cada parâmetro no lado direito da Figura. É possível observar que a água no solo acima da capacidade de campo está sujeita a força gravitacional e não ficará retida. A faixa de

água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente está sujeita às forças capilares (matricial e osmótica) e abaixo do ponto de murcha permanente, pode-se observar que a água está sob influência das forças higroscópica (Williamson, 1970).

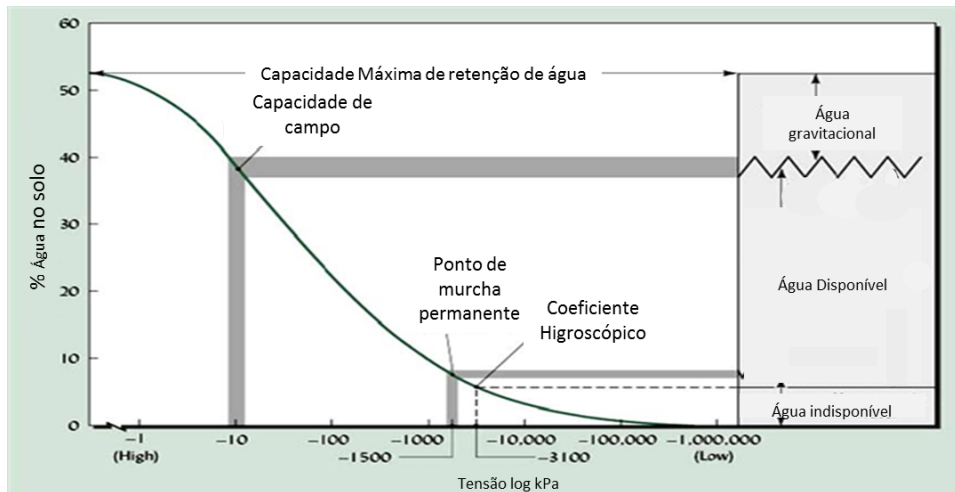


Figura 2: Capacidade de retenção de água sob diferentes tensões (Fonte: Blaskó, 2008).

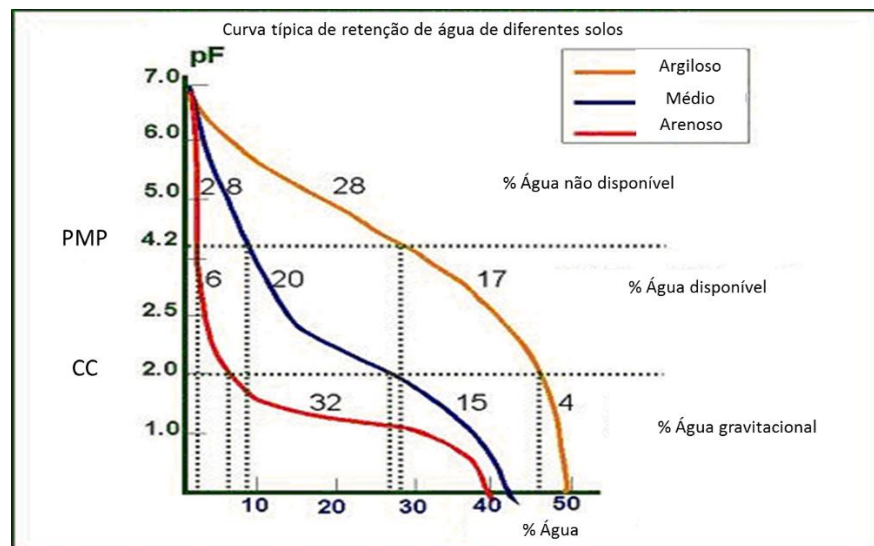


Figura 3: Capacidade de retenção de água sob diferentes tensões (Fonte: Blaskó, 2008).

A capacidade de retenção de água irá variar conforme as características de cada solo. Solos com textura mais arenosa tende a reter menos água quando comparados com solos argilosos. Estes últimos podem reter até 40% do seu peso em água. A Figura 3 apresenta as curvas de capacidade de retenção de água para três tipos de solos. É possível observar nesta Figura que os solos argilosos apresentam o

maior potencial de retenção de água, porém, é importante notar que parte disponível desta água está acima do ponto de murcha permanente, não estando desta forma disponível para as plantas.

A relação do conteúdo de água retida no solo em função da pressão suficiente para remoção desta quantidade de água é conhecida como Curva de Retenção de Água – CRA. O modelo matemático para descrever a função característica desta curva foi primeiramente proposto por Van Genuchten (1980) e tem sido amplamente utilizado até os dias atuais com elevados índices de predição. A função proposta pelo autor é caracterizada por apresentar duas assíntotas paralelas, as quais representam o conteúdo de água no solo nas condições de saturação e residual. Entre as duas assíntotas, a função descrita no modelo apresenta um ponto de inflexão, o qual é dependente das características de cada solo, como textura, porosidade, densidade e teores de argila, areia, silte, matéria orgânica entre outros (Van Genuchten, 1980).

A função que representa o modelo é dada por:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\nu\Psi)^n]^m} \quad (7)$$

Onde:

θ : quantidade de água retida.

θ_r : quantidade de água na pressão residual

θ_s : quantidade de água na umidade de saturação

Ψ : pressão aplicada

ν , n e m : parâmetros de ajuste

A forma da equação resultante do modelo de Van Genuchten está apresentada na Figura 4.

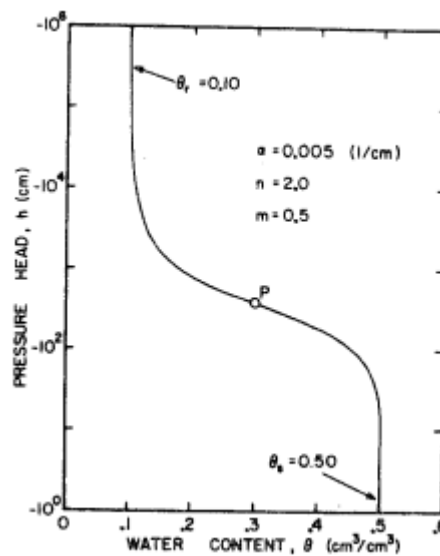


Figura 4: Forma padrão da CRA obtida por meio do modelo de Van Genuchten (Fonte: Van Genuchten, 1980).

3.3 Propriedades Físicas do Solo

A textura de um solo é determinada como sendo resultado da composição de partículas de diferentes tamanhos, classificadas como areia, silte e argila. Esta classificação se dá em função do tamanho das partículas, sendo os tamanhos definidos conforme abaixo:

Areia: entre 2 e 0,05 mm

Silte: entre 0,05 e 0,002 mm

Argila: menor que 0,002 mm

O conhecimento da proporção entre estes três constituintes permite a classificação do solo em classes texturais, o que geralmente é realizada utilizando um triângulo textural, conforme apresentado na Figura 5.

A textura exerce um importante papel nas propriedades físicas e químicas do solo, como capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de nutrientes, densidade, elasticidade e porosidade. Alguns destes aspectos estão relacionados, como por exemplo, solos com maior porosidade, tendem a apresentar uma maior condutibilidade hidráulica, porém, relação oposta pode ser evidenciada quando se avalia a densidade do solo. A capacidade de retenção de nutrientes está principalmente relacionada com a área superficial das partículas que compõem o solo. Estudos indicam que um grama de argila apresenta uma área superficial de 24,4 m²,

enquanto esta mesma quantidade de areia apresenta apenas 0,14 m² (Resende et al., 2008)

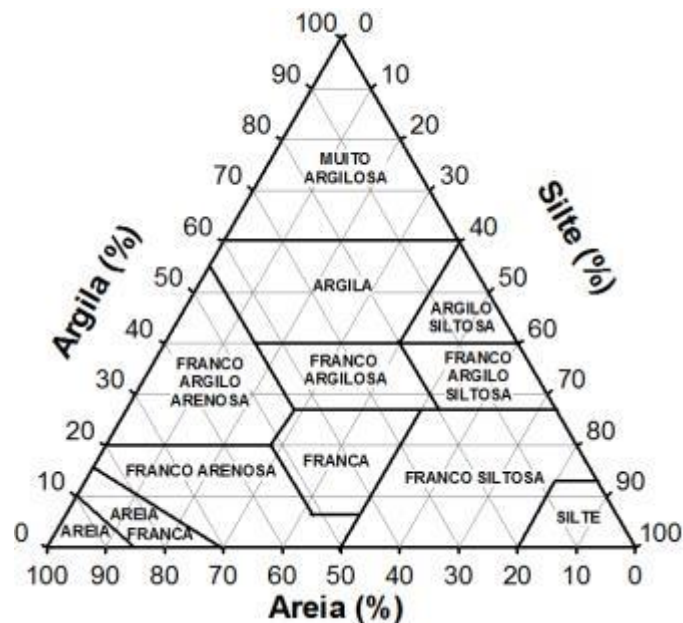


Figura 5: Triângulo Textural de classificação de solos (Fonte: Resende et al., 1988).

A relação entre textura dos solos e capacidade de retenção de água foi avaliada por Carducci (2011) que evidenciou que a CRA é proporcional ao teor de argila de um solo. Porém, conforme estudos de Carlesso (1995) em um solo com elevados teores de argila, a água fica retida ao solo com uma maior pressão, o que pode diminuir a quantidade de água disponível para as plantas.

3.4 Condicionadores de Solos

Os condicionadores de solos são definidos como produtos que promovem uma melhoria nas propriedades físicas, químicas ou biológicas do solo (Almeida, 2008). Embora produtos com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e químicas de solos, como esterco animal e casca de arroz, sejam utilizados a longa data pelos agricultores, não há no mercado nacional variedade significativa de condicionadores de solos sendo comercializados. Segundo a Instrução Normativa número 35 de 04 de julho de 2006, um condicionador de solos deve apresentar como especificações de garantia uma CTC mínima de 200 mmol_c.kg⁻¹ e capacidade de retenção de água mínima de 0,6 g.g⁻¹ (Brasil, 2006).

As especificações da IN 35 de 2006 supracitada é talvez um dos limitadores

para a comercialização de condicionadores de solos, já que, diversos materiais que são utilizados como tal, não apresentam os requisitos mínimos de qualidade que permitam a sua comercialização como condicionador de solos.

Rashad *et al.* (2013) estudaram a utilização de casca de arroz, cinza de casca de arroz, assim como celulose, lignina e sílica extraídas a partir da casca do arroz, em solos com textura predominantemente arenosa. Foi avaliado o efeito destes aditivos em concentrações de 0,1 e 0,3% do volume de solo e monitoraram as propriedades hidro físicas: densidade aparente, porosidade total, capacidade de retenção de água, capacidade de campo, condutividade hidráulica e condutividade elétrica. Os autores observaram que os aditivos afetaram positivamente as propriedades de condutividade elétrica, densidade, porosidade e capacidade de retenção de água, sendo a celulose o aditivo com maior impacto sobre os resultados. Os autores também observaram que os efeitos foram mais pronunciados em solos com textura predominantemente arenosas, quando comparados com solos com textura argilosa.

Os resultados obtidos por Rashad *et al.* (2013) corroboram o proposto por Chang *et al.* (2011) de que os materiais lignocelulósicos apresentam propriedades químicas que os tornam materiais potenciais para utilização na agricultura.

Mangwandi *et al.* (2014) estudaram a viabilidade de produção de um fertilizante organomineral utilizando resíduos de chá, calcário moído e agente ligante carboxi-metil celulose. Os autores observaram que a granulação somente do resíduo do chá não foi possível. Quando foi utilizando o resíduo do chá juntamente com o calcário, os autores evidenciaram que uma elevada quantidade de agente ligante foi necessária, o que inviabilizaria a comercialização do produto.

Além do potencial para melhorar as propriedades do solo, a utilização de condicionadores orgânicos aplicados à superfície do solo, também podem atuar como cobertura de solo, diminuindo a perda de umidade e aumentando a capacidade de retenção de água (Grose, 2011). Já Neto *et al.* (2005) avaliaram a capacidade de retenção de água e a fito toxicidade de casca de pinus, comparando os resultados com substratos comerciais de musgo e xaxim (*Dicksonia sellowianna*). Os autores evidenciaram que a casca de pinus (<5mm) apresentou uma capacidade de retenção de água de 1,5 g.g⁻¹, enquanto o musgo e xaxim apresentam capacidade de retenção de água de 19,3 g.g⁻¹ e 3,7 g.g⁻¹, respectivamente, com ensaio de 1 dia. Estes resultados indicaram que a utilização da casca de pinus com o objetivo de aumentar a capacidade de retenção de água, irá exigir regas mais frequentes, quando

comparada com os materiais estudados.

3.5 Hidrogéis

Gel pode ser definido um material com estrutura polimérica tridimensional, geralmente insolúvel e com capacidade para dispersão de um soluto em uma matriz de solvente. Os hidrogéis são materiais onde o soluto, geralmente um material sólido, está disperso em uma fase aquosa, formando uma rede polimérica estável, principalmente, devido as ligações de hidrogênio das moléculas de água com o sólido (Atkins, 2006).

Hidrogéis superabsorventes são materiais formados por uma rede de polímeros com características hidrofílicas e que possuem a capacidade de dispersar a água entre suas cadeias, promovendo a formação de um gel e geralmente resultando no inchamento do material. Estes materiais podem ocorrer naturalmente ou podem ser sintetizados (Ahmed, 2015).

A quantidade de água retida entre as cadeias macromoleculares do hidrogel variam conforme o material constituinte da rede polimérica, seja este natural ou sintético, assim como varia com as condições ao qual o hidrogel está submetido, tais como pH, temperatura, força iônica da solução entre outros (Sannino, 2009).

Os hidrogéis foram descobertos a partir da segunda metade do século XX, e desde então, diversos trabalhos têm sido publicados mostrando as diversas aplicações destes materiais. Dentre algumas áreas de pesquisa, pode-se destacar a aplicação na área farmacêutica, na indústria de alimentos, de materiais, na purificação de água e na agricultura (Chang et al., 2011).

Os hidrogéis também podem ser utilizados na agricultura e segundo Ma (2015), esta utilização permitem uma melhora nas propriedades físico-químicas do solo, contribuem para a redução das regas e ainda diminuem a perda de nutrientes, resultando numa conseqüente diminuição no custo de produção.

Hidrogéis superabsorventes a base de celulose têm sido preparados e utilizados na agricultura devido a sua elevada capacidade de retenção de água, capacidade de intumescimento e biocompatibilidade. A elevada capacidade de retenção de água dos hidrogéis se deve às propriedades hidrofílicas destes materiais, propriedades estas geralmente resultantes da abundância de grupos OH⁻ das estruturas celulósicas (Chang et al., 2011).

Os hidrogéis podem ser produzidos por diversas vias de obtenção, utilizando para isso matérias primas sintéticas ou naturais. Entre os hidrogéis sintéticos, principalmente os obtidos a partir da poliacrilamida, destaca-se a vantagem da durabilidade que, em contrapartida, acarreta a desvantagem da sua não biodegradabilidade, o que pode provocar prejuízos ao meio ambiente, em determinadas circunstâncias (Cai & Zhang, 2006).

3.5.1 Hidrogéis Naturais

Os hidrogéis naturais geralmente têm origem de polímeros como a celulose e seus derivados. Atualmente existem trabalhos e pesquisas que promovam uma melhora nas propriedades desses materiais, assim como trabalhos que relatem a síntese desses materiais a partir destes reagentes já purificados (Chang et al., 2011).

A celulose, constituinte majoritária da parede celular das plantas, é um homopolímero de glicose formado por meio de reações de condensação, resultando em grandes cadeias poliméricas lineares, que interagem entre si por ligação de hidrogênio, o que confere o alto grau de coesão destas cadeias. É um material tipicamente insolúvel e com certo grau de cristalinidade.

A estrutura molecular da celulose é apresentada na Figura 6, com destaque para o monômero de glicose. A Figura 7 apresenta a estrutura macromolecular da celulose, onde é possível perceber a cadeias lineares e as interações entre estas por meio das ligações de hidrogênio.

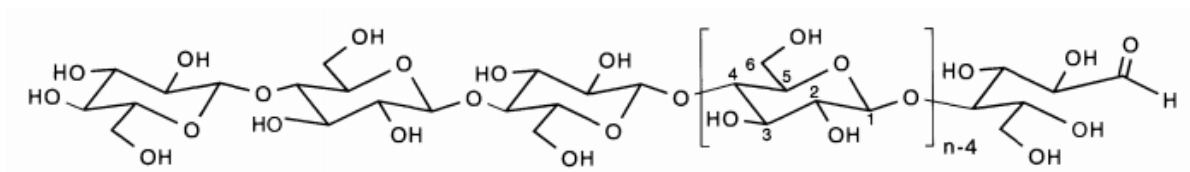


Figura 6: Estrutura molecular da celulose.

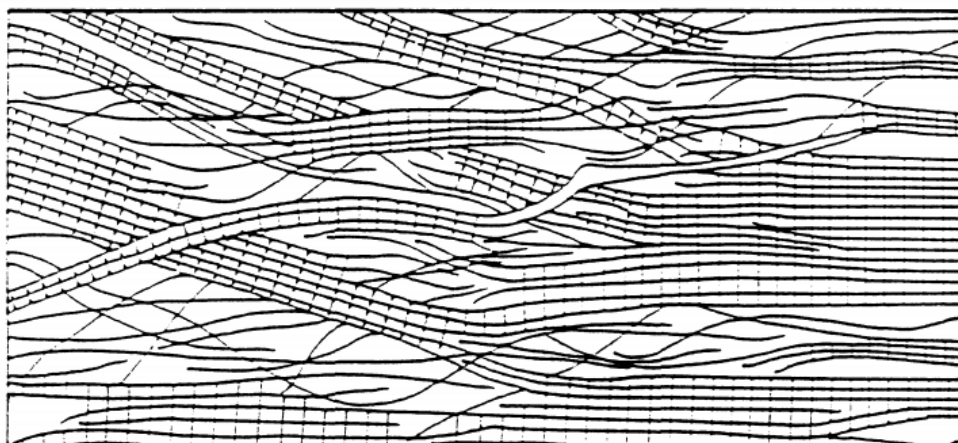


Figura 7: Estrutura macromolecular da celulose.

A estrutura macromolecular da celulose, organizada na forma de fibras, apresenta ainda alguma porosidade e área superficial na forma de sítios. Estudos de Fink (1992) demonstraram que a celulose nativa do algodão apresenta 1,7% de poros, com uma área superficial de $5,6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e 12 nm de diâmetro médio. Neste mesmo estudo o autor observa que a celulose após o processo de branqueamento tem a quantidade de poros reduzida para 1,4%, enquanto que a celulose submetida a um processo enzimático tem a quantidade de poros aumentada para 2,5%.

Outro constituinte importante nos hidrogéis naturais é a hemicelulose. Assim como a celulose, a hemicelulose é um polissacarídeo, porém, pode apresentar em sua constituição pentoses, hexoses e ácidos urônicos. As hemiceluloses apresenta elevada reticulação e uma estrutura amorfa. Devido a sua variada composição, as hemiceluloses apresentam uma estrutura mais irregular quando comparada com a celulose, além de açúcares com diferentes propriedades e desta forma, potencial de absorção de água. (David, 2000) A Figura 8 apresenta as hemiceluloses e sua interação com a celulose.

Hidrogéis superabsorventes podem ser obtidos a partir da celulose, quitina, ácido hialurônico, entre outros, devido principalmente a abundância de grupos hidroxilas presentes nessas estruturas, que podem formar uma rede potencial para realizar ligações físicas ou químicas. Os desafios da produção de hidrogéis a partir da celulose estão relacionados a pouca solubilidade desta em solventes orgânicos convencionais. Estudos recentes têm indicados solventes como óxido de N-metil-morfolina-N (NMMO), líquidos iônicos e ureia/NaOH como potenciais solubilizadores para a estrutura da celulose (Fink, 2001; Kadokawa, 2008).

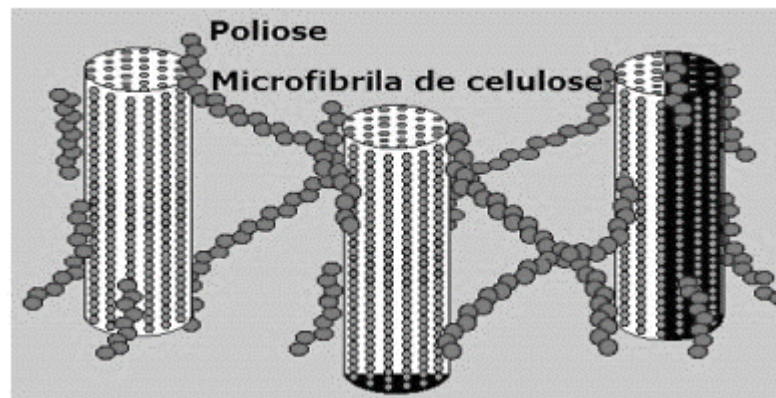


Figura 8: Estrutura macromolecular da Hemicelulose (Navarro, 2011)

No Brasil, Miranda et al. (2011) avaliou o efeito de diferentes condicionadores naturais como esterco bovino, gesso e serragem em um solo salino-sódico. Os resultados indicaram que os fertilizantes orgânicos com maiores concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos contribuíram mais significativamente para a melhoria das propriedades do solo quando comparado com o gesso.

3.5.2 Hidrogéis sintéticos

A utilização de polímeros sintéticos na agricultura tem sido amplamente estudada e avaliada como alternativa para utilização na agricultura, principalmente em regiões onde há déficit hídrico (Barvenik, 1994).

De fato, estes polímeros apresentam propriedades hidrofílicas que os confere um potencial significativo para capturar e reter a água. A abundância de cargas elétricas negativas, ocasionam uma forte interação do polímero com os hidrogênios da molécula de água. Devido as cargas positivas e negativas destes polímeros, as moléculas de água acabam por ocupar o espaço entre as ramificações das cadeias poliméricas e causando desta forma, um processo de aumento do volume ou um inchaço destes polímeros (Waly et al., 2015).

Os polímeros também afetam algumas propriedades hidro físicas do solo, como condutividade hidráulica, densidade, aeração, coesão, assim como influência nos processos contração e expansão dos agregados de solo. A modificação destas propriedades melhora a qualidade do solo e também influencia positivamente na interação solo-planta (Abedi et al., 2008).

Yang (2014) utilizou polímeros superabsorventes - PSA a base de

poliacrilamida para melhorar as condições de solo e desenvolvimento de plantas em encostas de estradas. Estas áreas são particularmente críticas devido ao fluxo intenso de água durante as chuvas, o que pode causar perda de solo e conseqüentemente, reduzir a fração de solo para as plantas. Os autores testaram concentrações de 0,15, 0,30 e 0,45%(em peso) de PSA em colunas de solo e verificaram que com o aumento da quantidade de PSA adicionada, maior foi a capacidade de retenção de água no solo. A adição de 0,45% resultou em um aumento de 203,47% na capacidade de retenção de água (capacidade de campo). Já a evaporação de água em 5 dias de experimento, reduziu de 26,84% na amostra controle para 4,75% na amostra com 0,45% de PSA. Os autores avaliaram que a maior capacidade de retenção de água dos tratamentos avaliados se devem às características hidrofílicas dos PSA, como grupos hidroxilas e carboxilas.

O uso de hidrogéis também pode contribuir para a estabilidade física do solo, reduzindo por exemplo, os processos erosivos. Estudos de Seybold (1994) indicam que o uso de polímeros orgânicos sintéticos, como a poliacrilamida, pode reduzir os processos erosivos devido a estabilização das partículas do solo, além de aumentar a capacidade de infiltração. Kumar e Saha (2011) avaliação a eficiência de utilização de poliacrilamida e gesso na diminuição da erosão e na perda de nutrientes. Os autores observação que a utilização da PAM e gesso é mais efetiva que a utilização de somente gesso, porém, devido aos aspectos econômicos, os autores concluíram que a utilização era inviável.

Um aspecto importante quanto a CRA de um solo e que é muitas vezes negligenciado por alguns pesquisadores é que nem toda a água retida no solo estará disponível para as plantas, conforme discutido anteriormente. Estudos de Huttermann et al. (1999) avaliaram a aplicação de um hidrogel a base de poliacrilamida no solo e sua influência na sobrevivência de espécies de *Pinus halepensis* sob estresse hídrico. Foram adicionados ao solo quantidades de hidrogel que variaram de 0,04 a 0,4% e os testes foram conduzidos em estufa. Os resultados mostraram que a aplicação do hidrogel a 0,4% em um solo arenoso reduziu a perda de água de 91% (amostra controle) para 54%. Resultados similares foram encontrados para o tempo de vida das plantas, onde os autores evidenciaram que com a aplicação de 0,4% de hidrogel, o tempo de vida das plantas estudadas aumentou de 49 (amostra controle) para 82 dias. Além destas informações, os autores também evidenciaram que a morte das plantas ocorreu com um percentual de água no solo de 0,6% na amostra controle e 10,7% na amostra com

0,4% de hidrogel. Estes resultados indicam que, parte da água retida pelo hidrogel não está disponível para as plantas, reforçando assim a necessidade de mensuração dos parâmetros de capacidade de campo e ponto de murcha permanente em estudos com aplicação de condicionadores em solos.

3.6 Tingui

O Tingui (*Magonia pubescens*) é uma espécie nativa do bioma Cerrado e pertencente à família das sapindaceae. De nome científico *Magonia pubescens* é ainda conhecido popularmente como cuité, mata-peixe, pau-de-tingui, timbó, timbó-do-cerrado, timpopeba, tingui-açu, tingui-capeta, tingui-de-cola. Ocorrendo nos solos mais ricos em relação a K, Ca e Mg, sua distribuição está no Distrito Federal e nos estados de Rondônia, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Piauí, São Paulo e Tocantins (Almeida et al., 1998). A imagem da árvore e do fruto do Tingui está apresentada na Figura 9.



Figura 9: Árvore e do tingui (Fonte: Vieira, 2015).

O tingui utilizado neste estudo é uma espécie nativa do bioma do Cerrado e usado pela comunidade local na fabricação de sabão, como inseticida e ainda no tratamento de úlceras. Sua membrana externa é dividida em cinco diferentes regiões e a segunda mais externa, composta basicamente de carboidratos, é responsável pela formação de um hidrogel de características físico-químicas singulares. Para a planta, a função deste hidrogel é auxiliar na germinação de suas sementes em tempos de seca, e promover a aderência da semente ao solo (Salgado, 1973).

Vieira (2015) realizou estudos para de preparação de um hidrogel a partir da biomassa de tingui concluiu que o tratamento com Clorito de sódio 30% em presença de ácido é adequado para obtenção do hidrogel. Os resultados da caracterização

química do tingui natural e purificado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição da biomassa do tingui (Viera, 2015).

Material	%C	%H	%N	%O
Tingui In natura	45,26	5,11	3,36	46,27
Hidrogel Purificado	52,98	8,4	0,41	38,21

Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 2, o tratamento químico oxidativo resultou na elevação de carbono de 45,26 para 52,98%, assim como houve elevação na quantidade de hidrogênio. As quantidades de nitrogênio e oxigênio foram reduzidas com o tratamento, muito possivelmente devido a remoção de extrativos.

O autor também avaliou o efeito da purificação por Espectrometria de Infravermelho, como pode ser observado na Figura 10.

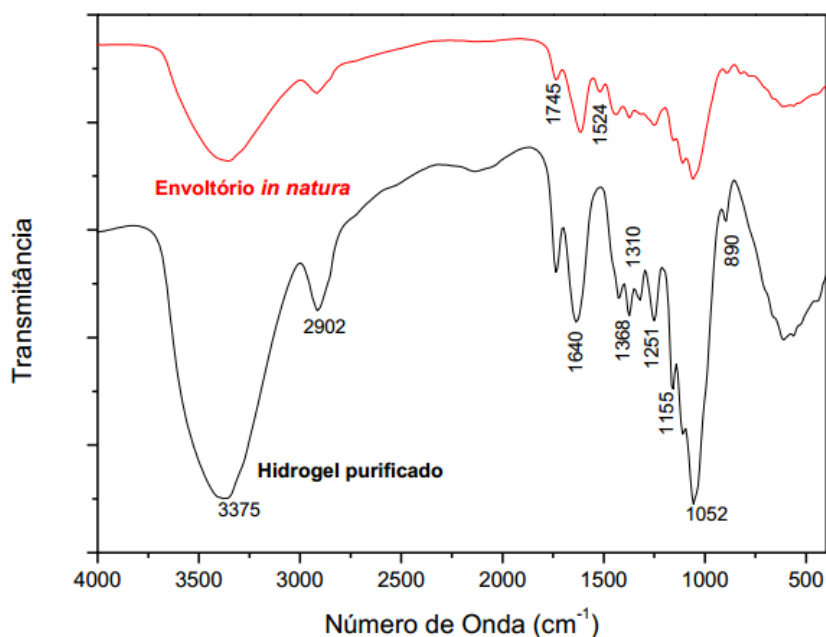


Figura 10: Espectroscopia da região do infravermelho da biomassa de *Magonia pubescens* e Hidrogel purificado (Vieira, 2015)

Conforme observações da autora, possível identificar um espectro típico de materiais lignocelulósicos. Dentre os espectros da biomassa *in natura* e Hidrogel purificado (HP), pode-se distinguir uma banda em 1524 cm^{-1} referente as vibrações do anel aromático da lignina específicos do anel guaiacílico. Por ter sofrido um

processo de extração da lignina e outros materiais, esta banda específica não aparece na biomassa purificada. Uma banda forte em 1052 cm^{-1} está relacionada à vibração do grupamento C–O–C do anel piranosídico esquelético da celulose e hemicelulose e as bandas em $1155\text{--}1251\text{ cm}^{-1}$ referem-se ao estiramento do grupo acetil (C–O). As bandas de absorção evidenciadas abaixo de 1000 cm^{-1} são específicas dos grupos hidroxílicos da celulose. A banda encontrada em 3375 cm^{-1} é referente ao estiramento das ligações de OH presente nos materiais lignocelulósicos. Em 2902 cm^{-1} , identificam-se as bandas características do estiramento das ligações CH alifáticas. As vibrações de estiramento do grupamento carbonila (C=O) dos componentes da hemicelulose surgem em 1745 cm^{-1} e, em 1640 cm^{-1} a banda evidenciada é referente a água residual absorvida pela amostra.

Os carboidratos presentes no hidrogel da biomassa do tingui foram determinados por Gorin et al. (1996), que evidenciou que o principal constituinte das hemiceluloses são os ácidos urônicos. O autor quantificou os principais monossacarídeos utilizando RMN- ^{13}C e observou a presença de xilose, glicose, rafinose, arabinose, galactose e manose, nas frações molar de 45, 29, 10, 6, 6 e 3 %mol na composição dos ácidos urônicos.

A representação estrutural dos principais açúcares encontrados no hidrogel do tingui *in natura* está apresentada na Figura 11.

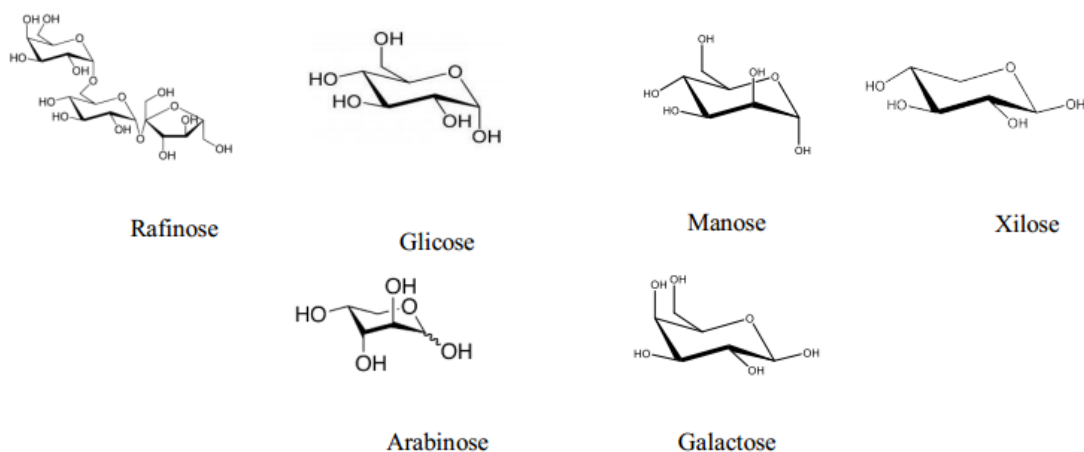


Figura 11: Principais açúcares constituintes da Hemicelulose do Hidrogel do tingui *in natura* (Gorin, 1996).

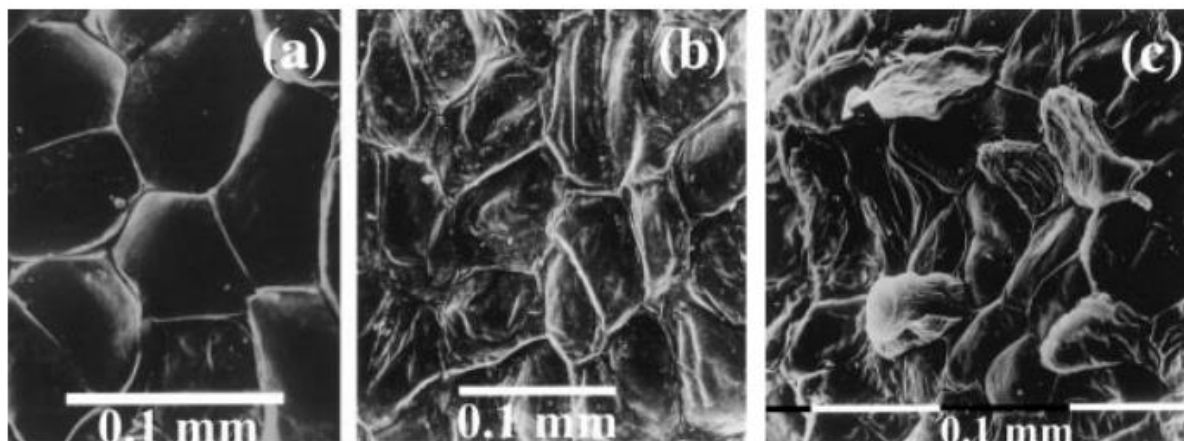


Figura 12: Micrografias eletrônicas de varredura da evolução do processo de hidratação. A- material não hidratado. B – após 30s de imersão. C – 90s de imersão (Oliveira et al., 2001).

Já Oliveira et al. (2001) avaliou o processo de hidratação da semente do tingui *in natura* durante a formação do hidrogel e observou que já nos primeiros 30 segundos percebe-se o processo de inchamento da estrutura. A micrografia dos estudos realizados pelo autor pode ser observada na Figura 12, onde é possível observar o aumento do material, devido ao processo de intumescimento.

Avaliando os resultados das pesquisas já realizadas com o tingui e as propriedades dos hidrogéis, reconheceu-se a possibilidade de produção de um condicionador de solos com elevado potencial de melhoria das propriedades hidrológicas, física e químicas dos solos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para obtenção dos objetivos deste estudo, os trabalhos foram planejados e executados conforme o fluxograma apresentado na Figura 13.

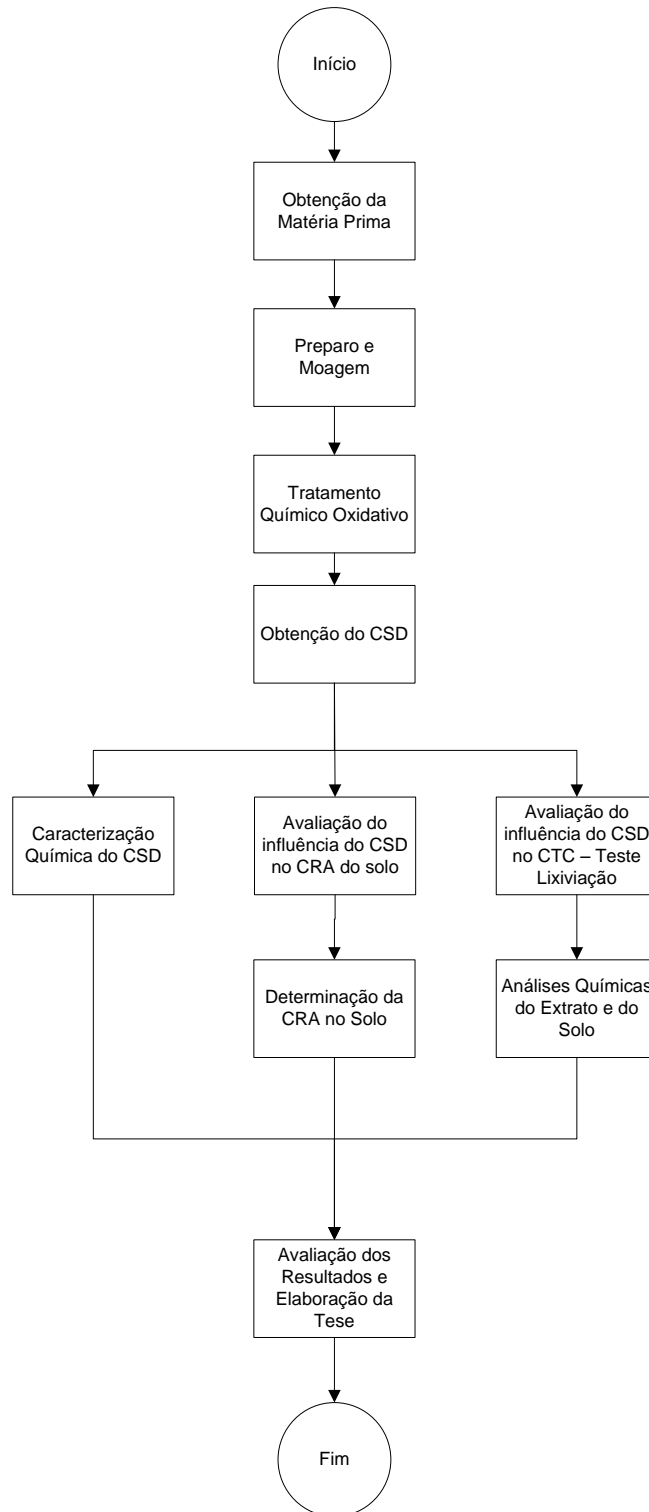


Figura 13: Representação esquemática dos ensaios (Fonte: Do autor, 2015)

Os procedimentos para coleta da matéria prima, tratamento químico e produção dos condicionadores de solo, análises químicas e ensaios realizados, estão apresentados nos itens 4.1 a 4.9.

4.1 Coleta da Matéria Prima

A coleta do fruto do Tingui (*Magonia pubescens*) foi realizada na região do cerrado, na cidade de Formosa em Goiás. Uma imagem de umas das árvores onde foram coletados os frutos está apresentada na Figura 14.



Figura 14: Árvore, fruto e envoltório da semente do tingui (Fonte: Vieira, 2015).

Foram coletados aproximadamente 10 Kg de frutos secos, enquanto estes ainda estavam presos à árvore. Os frutos foram coletados e acondicionados em sacos plásticos até a chegada no laboratório. As amostras coletadas foram moídas em moinho de facas e peneirados em peneira de 2 mm, para tratamentos químicos posteriores. A Figura 16 mostra o material *in natura* antes e após a moagem.



Figura 15: A imagem à esquerda apresenta o tinguí antes da moagem e a imagem à direita após a moagem (Fonte: A autor, 2015).

4.2 Preparação dos Condicionadores de solo

A partir da matéria prima preparada conforme descrito no item 4.1, foi realizada a preparação de condicionador de solos, conforme descrito nos itens abaixo e considerando as melhores condições de tratamento da matéria prima, conforme estudo de Vieira (2015). Os procedimentos de preparação estão apresentados nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.2.1 Preparação do condicionador de solo – CSD

O tratamento foi realizado em bateladas de 20 g de matéria prima, que foram devidamente pesados em balança de precisão calibrada e posteriormente adicionados a erlenmeyers de 250 mL. Ao Erlenmeyer foram adicionados posteriormente 20 mL de solução de Clorito de Sódio a 30% (v/v), marca Dinâmica e 20 mL de solução de ácido acético a 20%(v/v), marca Synth. O erlenmeyer contendo a matéria prima e os reagentes foram mantidos em chapa termostatzada ajustada em 70°C. Foram realizadas 3 adições das soluções de ácido acético e clorito de sódio, em intervalos de 45 minutos até que houvesse a clarificação da matéria prima (Vieira, 2015). Após esta etapa, o material foi filtrado em cadinho de fundo poroso e lavado com etanol PA, marca Synth. Posteriormente, o material foi seco em estufa ventilada, Marca Tecnal,

a 65°C e armazenado em embalagens plásticas para os ensaios posteriores. O hidrogel purificado - HP, conforme apresentado na Figura 16, foi denominado Condicionador de Solos Desenvolvido - CSD.



Figura 16: Hidrogel Purificado - HP obtido após o tratamento químico oxidativo e secagem em estufa (Fonte: Do Autor, 2015).

A partir do Hidrogel Purificado – CSD obtido por meio do tratamento químico oxidativo, conforme descrito no item 4.2,1, foi realizada uma nova moagem objetivando avaliar o efeito da granulometria final do CSD como condicionador de solos, já que este material produzido apresenta uma granulometria passante em 2 mm. Para tal, foram realizadas moagens no CSD produzido utilizando moinho de facas e liquidificador, com posterior peneiramento em peneiras de 1 e 0,5 mm. A representação esquemática do deste processo está apresentada na Figura 17.

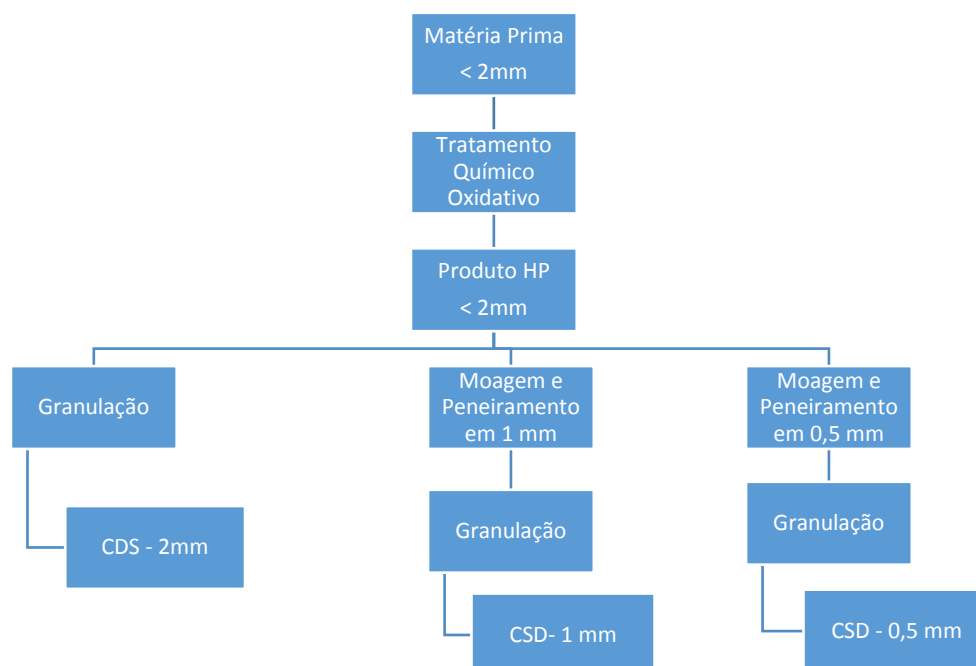


Figura 17: Representação esquemática do Condicionador de Solos Desenvolvido - CSD com diferentes granulometrias.

Com os três produtos granulados obtidos conforme Figura 17, realizou-se os testes de Capacidade de Retenção de Água e CTC, conforme procedimentos descritos em 4.5

4.2.2 Teste de Granulação

Para avaliar a estabilidade física do condicionador de solos desenvolvido foram realizados testes de granulação utilizando um molde construído em mdf com furos de 6 mm, conforme Figura 18. O CSD foi adicionado em um recipiente plástico e foi adicionado água na proporção de 10:1 (m/m) para umidificação do material. Posteriormente o CSD umidificado foi adicionado a mesa de granulação. Após a adição na mesa de granulação, o material foi deixado ao ar ambiente para secagem e os grãos do CSD foram retirados após 48 horas. O material granulado obtido foi armazenado em embalagens plásticas para análises químicas posteriores. Um exemplo do material granulado obtido está apresentado na Figura 19.



Figura 18: Mesa de granulação construída em mdf (Fonte: Do Autor, 2015).

4.4 Análises químicas do condicionador de solo desenvolvido - CSD

Para caracterização química do condicionador de solos desenvolvido - CSD, foram realizados ensaios para determinação da composição química, CTC e CRA utilizando como referência o Manual de Métodos para Análises de Fertilizantes e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, publicado pela IN 03/2015. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Corretivos e Fertilizantes da empresa CAMPO, localizada em Paracatu – MG.



Figura 19: CSD granulado (Fonte: Do Autor, 2015).

4.5 Análises Química e Física dos solos utilizados nos ensaios

Para realização dos ensaios de lixiviação e CRA, foram utilizados dois solos, sendo um com textura média argilosa, coletado na região de João Pinheiro-MG e outro com textura predominantemente arenosa, coletada na região de Paracatu-MG. Foram coletados aproximadamente 50 kg de cada tipo de solo na profundidade de 0 a 20 cm. Após a coleta, estes solos foram peneirados em peneira de 2 milímetros e armazenados em recipiente plástico até a preparação das colunas de testes.

Foram realizadas análises químicas e físicas para caracterização da Fertilidade do Solo, conforme procedimento descrito no Manual de Análises Químicas do Solo da EMBRAPA (Brasil, 2013).

Os métodos de determinação utilizados foram validados conforme orientações do INMETRO, no documento DOQ-CGCRE-008, Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos, Revisão 04 de julho de 2011.

Os ensaios realizados nas amostras de solo foram:

pH

Foram realizadas as determinações de pH em água e pH em cloreto utilizando procedimento descrito em Brasil (2013) e utilizando um pHmetro marca Hanna, modelo HI 2221, devidamente calibrado com soluções tampões rastreadas de pH 4, 7 e 10.

Fósforo, Potássio e Micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn)

Foram realizadas as determinações de P, K, Fe, Mn, Cu e Zn utilizando uma solução Melich I, conforme procedimento descrito em Brasil (2013). Após a obtenção dos extratos, a determinação de cada nutriente foi realizada utilizando um Espectrofotômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado – ICP-EOS, Modelo Cirus Vision e Marca Spectro. Para construção das curvas de calibração foram utilizadas soluções padrão de 1000 mg.L⁻¹ de cada elemento, marca Accustandard.

Alumínio, Cálcio e Magnésio

Foram realizadas as determinações de Al, Ca e Mg utilizando uma solução Cloreto de Potássio, conforme procedimento descrito em Brasil (2013). Após a obtenção dos extratos, as determinações de cada nutriente foram realizadas utilizando um Espectrofotômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado – ICP-EOS, Modelo Cirrus Vision e Marca Spectro. Para construção das curvas de calibração foram utilizadas soluções padrão de 1000 mg.L⁻¹ de cada elemento, marca Accustandard.

Carbono Orgânico Total

Foram realizadas as determinações de Carbono Orgânico Total utilizando o método Walkley-Black-Black (Leite et al., 2004). Este método consiste na oxirredução da matéria orgânica presente no solo por meio da utilização de dicromato de potássio 1 mol.L⁻¹ e ácido sulfúrico concentrado. Após o ataque ácido, foi realizado a quantificação do teor de Carbono Orgânico Total utilizando um espectrofotômetro modelo B52, marca Micronal, devidamente calibrado.

Acidez Potencial

Foram realizadas as determinações de Acidez Potencial, ou H + Al, utilizando uma solução tamponada de acetado de cálcio a pH 7 e posterior titulação com NaOH 0,025 mol.L⁻¹, conforme procedimento descrito em Brasil (2013).

Capacidade de Troca Catiônica – CTC

A CTC de um solo é definida, conforme Brasil (2013), como a soma das bases trocáveis e a acidez potencial. Desta forma, a CTC pode ser definida como:

$$CTC \text{ (cmolc. dcm}^{-3}\text{)} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + \textit{Acidez Potencial} \quad (8)$$

Areia, silte e argila

Foram realizadas as determinações dos teores de areia, silte e argila utilizando o método do densímetro, após dispersão da argila com solução de NaOH a 0,0606 mol.L⁻¹, conforme procedimento descrito em Brasil (2013).

4.6 Preparo do Solo com os Condicionadores

Para simular os testes o mais próximo possível das condições reais de utilização em campo, cada solo coletado foi dividido em três partes, sendo que cada parte recebeu uma quantidade específica do condicionador de solos desenvolvido - CSD, nas proporções de 0,5, 1,0 e 1,5% (m/m). A quantidade de 1% é recomendada como ideal para aplicação de condicionadores de solos, segundo Ribeiro et al. (1999).

Para efeito de comparação, foi utilizado em todos os ensaios um condicionador de solo comercial, codificado como CSC, com as garantias indicadas de 200 mmol_c.kg⁻¹ de CTC e capacidade de retenção de água de 0,6 g.g⁻¹. Este condicionador foi adquirido no mercado local em Paracatu-MG e foi adicionado também em quantidades de 0,5; 1 e 1,5% em ambos os tipos de solo (arenoso e argiloso).

Também para efeito de comparação, foi utilizado um lote sem adição de quaisquer condicionadores, para servir como controle ou amostra testemunha.

As amostras dos solos argiloso e arenoso foram separadas para os ensaios de Curva de Retenção e Água (conforme item 4.7) e Teste de Lixiviação (conforme item 4.8).

4.7 Curva de Retenção de água

As determinações de curva de retenção de água foram realizadas utilizando o método da câmara de Richards, no Laboratório de Hidrologia, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras - MG.

O método consiste na utilização de um equipamento, que é construído com uma câmara de pressão hermeticamente fechada. A placa porosa interna permite o fluxo de água, por vazios muito pequenos (Richards, 1965), como apresentado na Figura 20.



Figura 20: Câmara de Richards (Sondaterra, 2015).

As amostras preparadas foram saturadas em uma bandeja de plástico por elevação gradual de uma lâmina de água: até 1/3 por 24 horas e em seguida foi completado até 2/3 da altura do cilindro volumétrico por mais 48 horas. As amostras foram retiradas da bandeja para medir a massa da água correspondente ao ponto de saturação (0 Mpa), colocadas em placas de cerâmica previamente saturadas e submetidas a oito pressões: -0,001, -0,003, -0,01, -0,033, -0,06, -0,1 e -0,3 e -1,5 Mpa. E após as amostras atingirem a drenagem máxima da água contida em seus poros, foi determinada a umidade do solo correspondente a cada pressão aplicada. A etapa seguinte foi colocar as amostras na estufa a 105°C por 72 horas, dessecar, esfriar, medir a massa do solo seco e determinar a umidade gravimétrica (kg.kg^{-1}).

4.8 Testes em colunas de solo e ensaios de lixiviação

Para avaliar o comportamento dos condicionadores produzidos, foram realizados testes em colunas de solo, onde as alterações nos aspectos físicos e químicos foram monitoradas através de análises químicas dos extratos obtidos e da posterior análise química das amostras de solo utilizadas para montagem das colunas.

4.8.1 Construção das Colunas

Foram montadas 4 colunas para cada tratamento, perfazendo um total de 56 colunas para os tratamentos detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 – Codificação das colunas de lixiviação montadas

Codificação do Tratamento	Solo Utilizado	Condicionador Utilizado	% Condicionador utilizado (V/V)
T1.1.1	Arenoso	CSD	0,5
T1.1.2	Arenoso	CSD	1,0
T1.1.3	Arenoso	CSD	1,5
T1.2.1	Arenoso	Condicionador Comercial	0,5
T1.2.2	Arenoso	Condicionador Comercial	1,0
T1.2.3	Arenoso	Condicionador Comercial	1,5
T2.1.1	Argiloso	CSD	0,5
T2.1.2	Argiloso	CSD	1,0
T2.1.3	Argiloso	CSD	1,5
T2.2.1	Argiloso	Condicionador Comercial	0,5
T2.2.2	Argiloso	Condicionador Comercial	1,0
T2.2.3	Argiloso	Condicionador Comercial	1,5
T1.C (Controle)	Arenoso	-	0
T2.C (Controle)	Argiloso	-	0

Para construção das colunas, foram utilizadas garrafas pet devidamente lavadas e cortadas de modo que uma coluna de 20 cm de solo pudesse ser adicionado no interior da garrafa.

Na parte inferior das colunas, foram utilizados lã de vidro para impedir o deslocamento do solo e servir como filtro. Foi adicionado em cada coluna o solo e os condicionadores e cada amostra foi devidamente homogeneizada para garantir a completa distribuição do condicionador em toda a coluna.

As Figuras 21 a 23 apresentam algumas imagens da montagem das colunas construídas.



Figura 21: Coluna de garrafa PET utilizada nos ensaios de lixiviação (Fonte: Do Autor, 2015).



Figura 22: Adição do CSD ao Solo antes de ser homogeneizado (Fonte: Do Autor, 2015).



Figura 23: Colunas de garrafa PET prontas para os ensaios de lixiviação (Fonte: Do Autor, 2015).

4.8.2 Testes de Lixiviação

Para realização dos testes de lixiviação, foram adicionados à superfície das colunas, nutrientes que apresentam elevada mobilidade no perfil de solo, de modo a permitir a avaliação se o uso do condicionador de solos melhora o potencial de retenção de nutrientes e por consequência, diminui a lixiviação destes. Foram utilizados os seguintes produtos:

Gesso Agrícola: 22% de Ca e 11% de S

KCl: Cloreto de Potássio com 52% de K

Borogran: Boro a 20%

Zincogran: Zinco a 18%

Os nutrientes foram adicionados nas colunas em proporções reais as utilizadas em culturas de feijão, sendo 172 kg/ha de K_2O , 200 kg/ha de $CaSO_4$ e 2 kg/ha de B e Zn.

Para obtenção dos lixiviados, foi simulado um processo de 500 mm de chuva durante um período de 12 semanas. Para tal, foram adicionados 70 mL de água diariamente em cada coluna.

Os extratos foram coletados diariamente e encaminhados ao Laboratório de Análises de Solos para as análises químicas.

Após a coleta do lixiviado, foram realizadas determinações de Condutividade Elétrica, Ca, K, S, B e Zn.

As determinações de condutividade elétrica foram realizadas utilizando um condutímetro modelo HI 9889, Marca Hanna, utilizando solução 1412 μS como padrão de calibração.

As determinações de Ca, K, S, B e Zn foram realizadas utilizando um Espectrofotômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado – ICP-EOS, Modelo Cirus Vision e Marca Spectro. Para construção das curvas de calibração foram utilizadas soluções padrões de 1000 mg/L de cada elemento, marca Accustandard.

Após o período de 12 semanas dos ensaios de lixiviação, as amostras de solos de cada coluna foram coletadas e analisamos quimicamente conforme descrito no item 4.5 com o objetivo de avaliar se houve alteração na quantidade de nutrientes retidos.

4.9 Ensaio de Geração de CO₂ utilizando respirometria

Os ensaios de geração de gás dióxido de carbono foram realizados utilizando um respirômetro adaptando os procedimentos descritos na NBR ABNT 14283 (1999). Para realização do experimento, foram construídos no Laboratório um sistema fechado que permitisse reproduzir as condições de experimento de um respirômetro de Bartha. O sistema montado está apresentado nas Figura 24 e 25.

Para montagem do experimento, foram utilizados dois tipos de solo (arenoso e argiloso) e os condicionadores CSD e CSC, além de amostras controle. Em cada frasco foram adicionados 50 g de solo, 5 g do condicionador a ser testado, 15 mL de água e 1 mL de solução nutritiva, contendo nitrogênio, fósforo e magnésio, conforme procedimento descrito na metodologia de referência. O experimento foi realizado em triplicata. Os frascos foram mantidos entre 25 e 30 °C, protegidos da luz solar.



Figura 24: Sistema Respirométrico – Adaptado (Fonte: Do Autor, 2016).



Figura 25: Mistura de solo e CSD a esquerda e solo e CSC a direita antes do início do experimento (Fonte: Do Autor, 2016).

A cada 4 dias até o vigésimo dia e a cada 10 dias entre os dias 20 e 180 foi realizada a quantificação de CO_2 gerado em cada tratamento por meio da titulação da solução de KOH com ácido clorídrico $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios químicos e físicos com os dois tipos de condicionadores de solos produzidos, assim como os testes realizados com solo estão apresentados nos itens 5.1 a 5.4

5.1 Caracterização dos materiais

5.1.1 Análises Químicas

Os resultados da análise química do tingui *in natura* e após o tratamento químico oxidativo (CSD) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Análises químicas do Tingui *in natura* e tratado.

Parâmetro	Tingui <i>in natura</i>	CSD
Extraíveis (%)	31,7	<1
Cinzas (%)	4,82	6,14
Holocelulose (%)	50,1	100
Hemicelulose (%)	20,16	39,18
Celulose (%)	29,84	60,81
P (mg/kg)	182,03	18,65
B (mg/kg)	10,45	<0,002
Cu (mg/kg)	3,15	2,65
Mn (mg/kg)	114,4	1,1
Zn (mg/kg)	1,7	4,47
Fe (mg/kg)	24,89	38,68
Al (mg/kg)	15,69	<0,002
Cr (mg/kg)	12,42	9,62
Pb (mg/kg)	6,12	12
Ni (mg/kg)	7,7	11,3
Co (mg/kg)	0,2	2,15
Ba (mg/kg)	1,07	1,37

Como pode ser observado na Tabela 5, o tratamento químico oxidativo possibilitou a remoção de praticamente todo os extraíveis, assim como de alguns metais. Este mesmo tratamento também possibilitou a concentração de celulose de 29,84 para 60,81%, assim como houve um aumento na concentração de Hemicelulose, que passou de 20,16 para 39,18%, conferindo ao Hidrogel purificado 100% de holocelulose. A alteração das concentrações supracitadas se deve a

remoção dos extraíveis, o que permite o aumento percentual das frações indicadas. Estes mesmo resultados foram encontrados por Vieira (2015) em trabalho prévio.

A composição majoritária de celulose e hemicelulose é desejada neste material devido as características de formação de hidrogel atribuída a estes compostos.

5.1.2 Ensaio de CTC e CRA

Após a obtenção do material, realizou-se os testes de CTC e CRA, cujo resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Testes de CTC e CRA para o CSD.

Material	CTC mmolc.kg ⁻¹	CRA g.g ⁻¹
CSD	471 ± 41	35 ± 4
Limite Mínimo Especificado ¹	200	0,6

¹ conforme IN 35/2006 do MAPA

Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 6, o CSD apresentou uma CTC de 471 ± 41 mmolc.kg⁻¹ e CRA de 35 ± 4 g.g⁻¹, o que indica que o material atende aos requisitos de especificação mínima exigidas pela Instrução Normativa nº 35 de 2006 do Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento – MAPA que trata a respeito das normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo. Esta IN especifica uma CTC mínima de 200 mmolc.kg⁻¹ e Capacidade de Retenção de Água (CRA) mínima de 60% (0,6 g.g⁻¹).

As propriedades de capacidade de troca catiônica e retenção de água estão principalmente relacionadas com a composição química do material preparado. Pelos ensaios de caracterização química realizados, pôde-se evidenciar que o material é constituído majoritariamente de celulose e hemicelulose, compostos estes com grande quantidade de grupos hidroxila e com características macromoleculares para formação de hidrogéis. Segundo Klen (1998), a capacidade de formar géis é atribuída às hemiceluloses. Já a celulose, além de absorver água funciona como um suporte, conferindo maior estabilidade ao material formado. Estes grupos conferem ao material

uma característica hidrofílica. Outra característica importante é o aumento de volume quando em contato com a água. Este aumento de volume ou inchamento, ocorre devido ao posicionamento das moléculas de água entre as cadeias química de celulose e hemicelulose, promovendo uma expansão do material. Com relação aos resultados de CTC obtidos, é possível inferir que estes estão relacionados aos inúmeros grupos hidroxilas, que atuam como ácidos de Lewis, assim como a porosidade da celulose e hemicelulose.

Os resultados obtidos corroboram com os estudos realizados por Viera (2015) que obteve resultados de CTC entre 240 e 300 $\text{mmol}_c.\text{kg}^{-1}$ em hidrogéis obtidos do Tingui. Estudos de Jianzhong et al. (2015) também apresentam hidrogéis produzidos a base de celulose com uma elevada CRA, chegando a valores superiores a 200 $\text{g}.\text{g}^{-1}$, porém, este autor realizou modificações químicas na matriz do material. Vale ressaltar que no CSD produzido não há processo de reticulação.

5.2 Resultados de produção do CSD

A partir do CSD obtido por meio do tratamento químico oxidativo, conforme descrito no item 4.2.1, foi realizada uma nova moagem objetivando avaliar o efeito da granulometria final no condicionador de solos, já que este material produzido apresenta uma granulometria passante em 2 mm.

Com os três produtos granulados obtidos conforme Figura 11, realizou-se os testes de Capacidade de Retenção de Água e CTC, conforme procedimentos descritos em 4.4. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – CTC e CRA para o CSD em diferentes granulometrias.

Material	Granulometria (mm)	CTC $\text{mmol}_c.\text{kg}^{-1}$	CRA $\text{g}.\text{g}^{-1}$
CSD	< 0,5	477 a1	35 b1
CSD	< 1,00	442 a1	37 b1
CSD	< 2,00	464 a1	35 b1

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 7, não houve diferença significativa entre os testes de moagem a granulação do CSD após o

tratamento químico. Estes resultados evidenciam que, nas granulometrias avaliadas, não houve alteração nas propriedades de CTC e CRA do material. Considerando os resultados obtidos, optou-se pela produção do CSD sem moagem após o ataque químico, por este ser o processo de menor custo operacional.

5.3 Avaliação do efeito de Aplicação do CSD no solo

O Condicionador de Solos Desenvolvido – CSD foi adicionado a dois tipos de solos típicos do cerrado, sendo um solo com textura predominantemente argilosa e outro com textura predominantemente arenosa. Ambos os solos foram coletados e analisados conforme descrito no item 4.5.

5.3.1 Avaliação da fertilidade química das amostras de solo.

Os resultados das análises químicas da fertilidade dos solos argiloso e arenoso estão apresentados na Tabela 8. Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 8, os solos apresentam composição química da fertilidade com significativa diferença. É possível observar que os valores de pH em água foram de 5,23 para o solo arenoso e 4,47 para o solo argiloso. Para avaliar a diferença entre os valores de pH para os dois tipos de solo, é importante ressaltar que a interpretação do pH em solo deve ser realizada com base nos conceitos de Brønsted-Lowry (Atkins, 2002), onde um solo com menor valor de pH é um melhor doador de prótons quando comparado com outro solo com maior valor de pH. Desde modo, observa-se que os resultados de pH do solo argiloso é menor que o pH do solo arenoso, o que está relacionado ao maior número de cargas negativas nas argilas, o que promove uma maior retenção de prótons no solo. O mesmo pode ser observado para os resultados de pH em cloreto de cálcio.

Avaliando os resultados de matéria orgânica, observa-se que o solo argiloso apresentou uma maior concentração de matéria orgânica quando comparado com o solo arenoso, porém, ambos os valores podem ser considerados baixos para fins de fertilidade do solo. O teor de matéria orgânica é proveniente da degradação de compostos vegetais ou de fontes de matéria orgânica adicionada aos solos, como por exemplo alguns condicionadores. Um avanço na tecnologia agrícola foi adoção do

sistema de plantio direto, que além de diminuir a degradação do solo, ainda promove a incorporação da palhada, resultando em um aumento da matéria orgânica. Ambos os solos analisados apresentam baixos valores de matéria orgânica por terem sido coletados em regiões de mata nativa..

Tabela 8 – Análise Química da Fertilidade do Solo Argiloso e Arenoso.

Amostra	Unidade	Solo Arenoso	Solo Argiloso
pH Água	-	5,23 ± 0,12	4,47 ± 0,21
pH CaCl ₂	-	4,27 ± 0,06	3,9 ± 0,2
M.O	%	0,78 ± 0,09	1,84 ± 0,29
C.O	%	0,45 ± 0,05	1,06 ± 0,12
Ca	cmol _c /dm ³	0,4 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Mg	cmol _c /dm ³	0,41 ± 0,02	0,3 ± 0,02
Al	cmol _c /dm ³	0,33 ± 0,01	0,78 ± 0,03
H+Al	cmol _c /dm ³	2,86 ± 0,1	4,68 ± 0,1
S	mg/kg	4,33 ± 0,31	4,55 ± 0,28
B	mg/kg	0,1 ± 0,01	0,14 ± 0,01
P	mg/kg	2,23 ± 0,2	2,58 ± 0,34
K	mg/kg	19,75 ± 1,17	62,69 ± 2,13
Mn	mg/kg	22,25 ± 0,58	25,23 ± 1,54
Fe	mg/kg	66,58 ± 3,69	87,84 ± 9,41
Cu	mg/kg	0,28 ± 0,09	0,64 ± 0,03
Zn	mg/kg	5,7 ± 0,16	0,35 ± 0,03
CTC	cmol _c /dm ³	3,72 ± 0,08	5,34 ± 0,1
CRA	g/g	0,074 ± 0,001	0,41 ± 0,02

(Fonte: Do autor, 2016).

Com relação aos teores de alumínio, observa-se que o solo argiloso apresenta uma maior concentração deste elemento, quando comparado com o solo arenoso. Esta diferença está relacionada a composição deste tipo de solo e ao baixo pH, resultando em uma maior disponibilização de alumínio trocável. O mesmo pode ser observado para o potássio, onde o teor deste nutriente no solo argiloso é, naturalmente, aproximadamente três vezes maior que a concentração do solo arenoso. O teor de potássio no solo argiloso está relacionado aos sítios das argilas presentes no solo argiloso, o que aumenta a capacidade de retenção de cátions.

Observando os resultados obtidos, pode se observar que há uma tendência para que as concentrações de micronutrientes sejam maiores no solo argiloso, fato este que está relacionado a fração de argila presente. A maior capacidade de retenção de cátions é evidenciada pelos valores de CTC obtidos. O solo arenoso apresenta

uma CTC de 3,72 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e o solo argiloso apresenta uma CTC de 5,34 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Estes resultados expressam a influência da fração de argila no solo argiloso, já que as argilas contêm um maior número de sítios quando comparadas com a fração areia e portanto, apresenta um maior potencial de retenção de cátions.

Para os valores de CRA, observa-se que o solo argiloso apresenta uma capacidade de retenção de água de 0,41 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e o solo arenoso de 0,074 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Esta diferença está principalmente relacionada ao teor de argila nos dois solos, sendo o primeiro com 65% e o segundo com 15%. A argila apresenta um elevado potencial para retenção de água no solo devido a sua porosidade. Estes resultados corroboram com o proposto por Gimenes (2012) e Beutler (2002) que solos com textura arenosa, caracteristicamente com partículas maiores e menor distribuição de poros, apresenta uma menor capacidade de retenção de água quando comparado com solos com textura predominantemente argilosa ou siltosa.

5.3.2 Avaliação do CSD na Capacidade de Campo das amostras de solo.

Os resultados de CC para os testes realizados estão apresentados na Tabela 9. Avaliando somente os resultados obtidos para os testes realizados com o solo argiloso, pode se observar que com adição de 0,5% de CSD houve uma elevação da CC de 0,41 para 0,43 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, indicando uma elevação de 4,9%. Quando se avalia a adição de 1 e 1,5%, observa que a CC aumentou para 0,48 e 0,56 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente. Com estes percentuais de adição, observa-se um aumento percentual de 17 e 36%, para as adições de 1 e 1,5%, respectivamente. Analisando estes resultados, pode-se observar que a utilização do CSD resulta em uma significativa melhora na CC nos solos argilosos, melhoria esta devido a capacidade de retenção de água do CSD.

Tabela 9: Resultados de CC dos solos com diferentes adições de CSD.

Descrição do Tratamento	CRA $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	
	Solo Argiloso	Solo Arenoso
Sem adição de CSD	0,41 a1	0,074 b1
Adição de 0,5% CSD	0,43 a2	0,086 b2
Adição de 1,0% CSD	0,48 a3	0,11 b3
Adição de 1,5% CSD	0,56 a4	0,17 b4

Resultados seguidos de mesma letra e número na coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Quando se avalia os resultados obtidos nos testes realizados com as amostras de solo arenoso, observa-se que houve um aumento na CC de 0,074 para 0,086 g.g^{-1} , o que representa um aumento percentual de 16%. Um aumento significativo de CC também pode ser observado para os testes com adição de 1 e 1,5% de CSD em amostras de solos arenosa, onde foi observada uma capacidade de campo 0,110 e 0,132 g.g^{-1} , indicando uma elevação da CC em 49 e 130%, respectivamente.

O aumento na CC com adição de condicionadores de solos também foi observado por Miranda et al. (2011) que avaliou efeito de condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solos salinos sódicos. Este autor observou que houve aumento na CC com a adição de esterco bovino e estérno ovino, ambos na proporção de 2% com relação a quantidade de solo. O aumento na CC com a adição dos condicionadores orgânicos está relacionado a contribuição destes ao teor de matéria orgânica do solo, o que resultou em aumento no número de poros e redução da densidade.

A Figura 26 apresenta a correlação entre o percentual de CSD adicionado ao solo e a CC resultante. Observa-se que há uma correlação positiva entre a quantidade de CSD adicionada e a capacidade de campo, o que está relacionado com a elevada capacidade de adsorção de água do CSD. Estes resultados indicam que com adição de CSD pode-se preparar solos com elevadas CC, o que é particularmente importante no plantio de mudas de algumas espécies e experimentos de pesquisa.

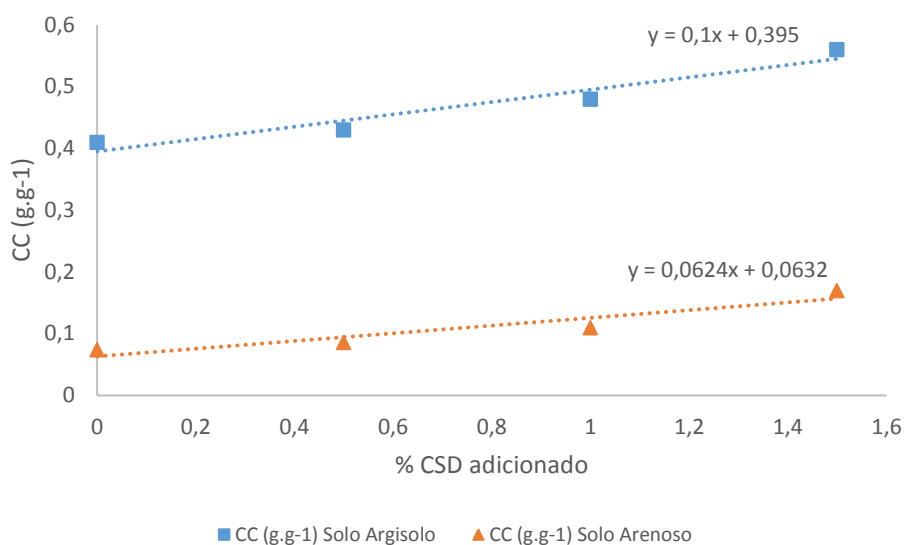


Figura 26: Correlação entre proporção de CSD em Capacidade de Campo.

Estes resultados são corroborados pelos resultados obtidos por Al-Darby (1996) que avaliou o efeito da aplicação de um hidrogel a um solo arenoso nas proporções de 0,2 a 0,8%, observando uma correlação positiva entre proporção de condicionador de solos e capacidade de campo.

5.3.3 Avaliação do CSD na Curva de Retenção de Água das amostras de solo.

Objetivando avaliar o efeito do CSD na Curva de Retenção de Água do solo, foram preparadas amostras dos solos argiloso e arenoso com adição de 1% do condicionador desenvolvido para realização dos ensaios de CRA conforme descrito no item 4.7. Para efeito de comparação, também foram preparadas duas amostras com a mesma proporção de um condicionador de solos comercial, denominado aqui CSC.

A quantidade de água adsorvida em cada uma das diferentes pressões está apresentada na Tabela 10. Pode ser observado que houve um aumento significativo na quantidade de água adsorvida em todas as pressões avaliadas quando houve a adição do CSD. Na pressão de 0,1 bar (capacidade de campo) houve um aumento de 23 e 47% para os tratamentos nos solos argiloso e arenoso, respectivamente. O aumento quantidade de água retida (W) permanece próximo a 20% até a pressão de 5 bar para o solo argiloso, caindo para 6% na pressão de 15 bar. Comportamento semelhante pode ser observado nos tratamentos com solo arenoso, onde a água

retida (W) aumenta em valores próximos a 50% nas tensões de 0,1 a 5 bar, decrescendo para um acréscimo de 26% na pressão de 15 bar. Este resultado permite inferir que a maior parte da água retida no CSD pode ser removida com uma pressão menor que 5 bar, ou seja, pode ser caracterizada como uma água que está ligada ao solo por uma força matricial. Este resultado corrobora a hipótese de que a capacidade de adsorção de água do CSD está relacionada com a abundância dos grupos hidroxilas das cadeias de celulose e hemicelulose.

Tabela 10: Capacidade de retenção de água - CRA dos solos argilosos e arenosos.

Tratamentos	W(g.g ⁻¹)					
	0,1	0,33	0,5	1	5	15
Solo Argiloso (Controle)	0,413 a1	0,358 b1	0,322 c1	0,311 d1	0,256 e1	0,238 f1
Solo Argiloso com 1% de CSC	0,426 a1	0,363 b1	0,326 c1	0,314 d1	0,261 e1	0,239 f1
Solo Argiloso com 1% de CSD	0,510 a2	0,442 b2	0,392 c2	0,372 d2	0,304 e2	0,252 f2
Solo Arenoso (Controle)	0,074 a3	0,073 b3	0,060 c3	0,057 d3	0,045 e3	0,039 f3
Solo Arenoso com 1% de CSC	0,074 a3	0,074 b3	0,061 c3	0,057 d3	0,045 e3	0,040 f3
Solo Arenoso com 1% de CSD	0,109 a4	0,108 b4	0,095 c4	0,088 d4	0,066 e4	0,049 f4

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

A adição do condicionador de solos comercial – CSC não apresentou diferenças significativas na quantidade de água retida nas diferentes pressões avaliadas, quando comparado com a amostra controle.

Para a construção da curva de retenção de água – CRA do solo, utilizou-se o modelo de Van Genuchten (1980), conforme função apresentada na equação 7.

Para os ensaios realizados, foi aplicado o modelo de Van Genuchten para cálculo e modelagem da curva de retenção de água. Os parâmetros de ajuste foram calculados de modo a se obter a melhor correlação possível, utilizando pesquisa operacional não linear com o algoritmo simplex (Colin, 2007).

As curvas de retenção de água para os tratamentos realizados no solo argiloso estão apresentadas na Figura 27 e os resultados obtidos e calculados pelo modelo

estão apresentados na Tabela 11.

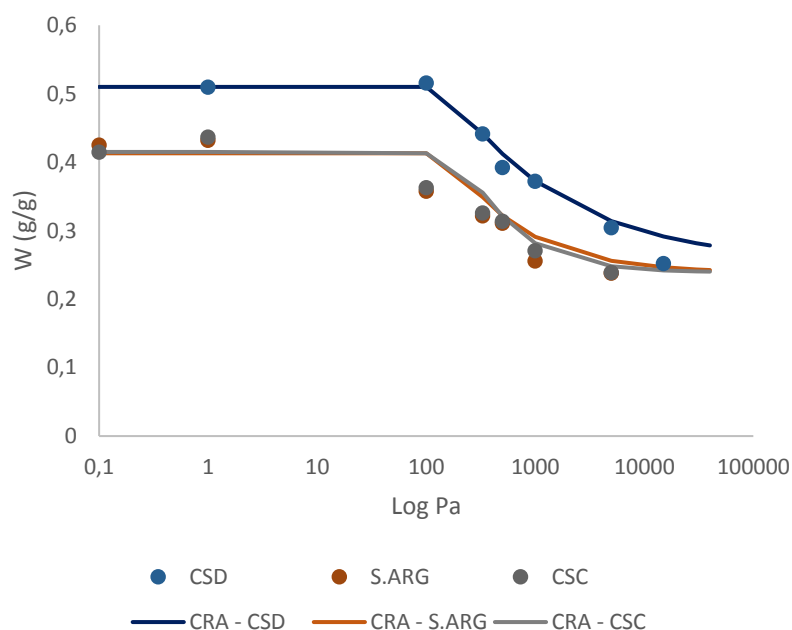


Figura 27: Curva de Retenção de Água para os tratamentos com CSD em solo argiloso.

Tabela 11: Valores de W ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) calculados e obtidos da curva de retenção de água em solo argiloso.

Pressão (Pa)	Argiloso CSD		Argiloso CSC		Argiloso Controle	
	Obtido	Calculado	Obtido	Calculado	Obtido	Calculado
1	0,510	0,510	0,425	0,426	0,415	0,413
100	0,516	0,510	0,432	0,424	0,437	0,413
330	0,442	0,442	0,363	0,363	0,358	0,349
500	0,392	0,412	0,326	0,326	0,322	0,322
1000	0,372	0,372	0,314	0,284	0,311	0,291
5000	0,304	0,314	0,271	0,249	0,256	0,256
15000	0,252	0,292	0,239	0,242	0,238	0,247

Como pode ser observado na Figura 27 e Tabela 11, o modelo de Van Genuchten apresenta uma boa adequação aos tratamentos realizados. Observa-se um deslocamento na curva de retenção de água do solo com a adição de CSD, quando comparado a amostra controle e a amostra com CSC, que não apresentam diferença significativas entre si. Estes resultados corroboram os resultados obtidos quando se avaliou a influência do CSD na capacidade de campo e evidencia que a maior parte da água adsorvida está entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente e, portanto, disponível para as plantas. Resultados semelhantes foram

obtidos por Narjary *et al.* (2012) que avaliou a aplicação de um hidrogel a base de poliacrilamida com capacidade de absorção de água de 350 g.g^{-1} nas proporções de 0,5 e 0,7%. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram que a aplicação de ambas as quantidades resultaram em um aumento na quantidade de água retida no solo, o que pode ser avaliado por meio do deslocamento da curva de retenção de água.

Os valores dos coeficientes de ajustes e correlação estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Parâmetros do modelo de Van Genuchten calculados para solos argilosos.

Parâmetros	CSD	Solo Argiloso - Controle	CSC
$\theta_r \text{ (g.g}^{-1}\text{)}$	0,252	0,238	0,239
$\theta_s \text{ (g.g}^{-1}\text{)}$	0,510	0,413	0,426
v	0,0064	0,0060	0,0045
n	30,25	22,82	3,70
m	0,014	0,029	0,26
R ²	0,988	0,983	0,973

Como pode ser observado na Tabela 12, o modelo de Van Genuchten para cálculo de curva de retenção de água do solo apresentou uma boa correlação, sendo o maior valor de 0,988 obtido para o tratamento com o CSD. Os valores dos parâmetros de ajustes v e m obtidos estão próximos aos obtidos por Carducci (2011) e Gimenes (2012), porém, observa-se no modelo encontrado maiores valores de n que os apresentados na literatura. Os maiores valores de n obtidos estão possivelmente relacionados à influência dos condicionadores aplicados aos solos para realização dos experimentos, já que estes alteram a textura e conseqüentemente influencia no tamanho dos poros da amostra ensaiada. Esta hipótese concorda com o proposto por Liao *et al.* (2016) que em um experimento com aplicação de hidrogéis superabsorventes em solos arenosos observou que os parâmetros da curva de retenção de água sofreram alteração na forma, possivelmente devido a influência do hidrogel adicionado na porosidade e na quantidade de água retida no solo.

As curvas de retenção de água para os ensaios realizados com o solo arenoso estão apresentadas na Figura 28 e Tabela 13.

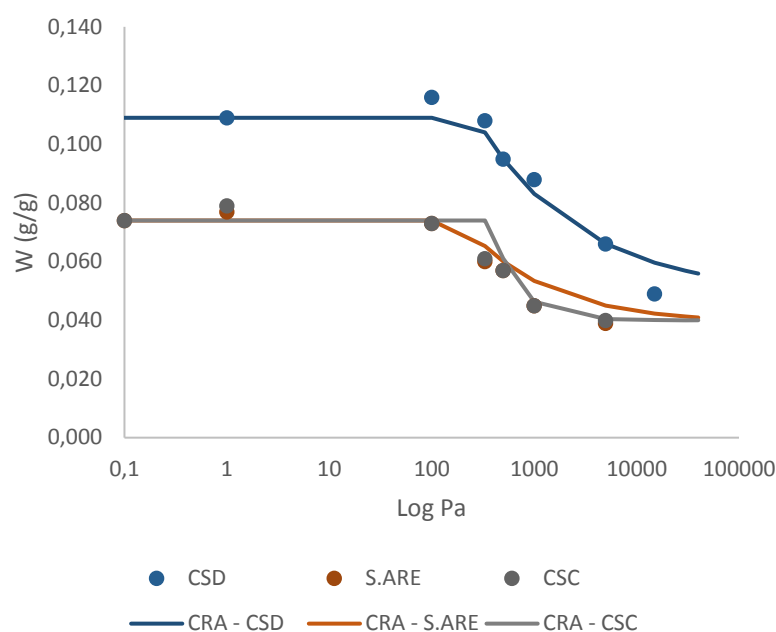


Figura 28: Curva de Retenção de Água para o tratamento com CSD em solo arenoso.

Tabela 13: Valores de W ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) calculados e obtidos da curva de retenção de água em solo arenoso.

Pressão (Pa)	Arenoso CSD		Arenoso CSC		Arenoso Controle	
	Obtido	Calculado	Obtido	Calculado	Obtido	Calculado
1	0,109	0,109	0,074	0,074	0,074	0,074
100	0,116	0,109	0,079	0,074	0,077	0,074
330	0,108	0,104	0,073	0,074	0,073	0,065
500	0,095	0,095	0,061	0,061	0,060	0,060
1000	0,088	0,083	0,057	0,046	0,057	0,053
5000	0,066	0,066	0,045	0,040	0,045	0,045
15000	0,049	0,060	0,040	0,040	0,039	0,042

Observando as Curvas de Retenção de Água apresentadas nas Figuras 25 e os valores de W obtidos e calculados apresentados na Tabela 13, pode-se observar que o modelo de Van Genuchten também apresenta uma boa adequação aos solos com textura arenosa. A utilização do CSD resultou em um deslocamento da CRA devido ao aumento da capacidade de retenção de água do solo. Devido ao baixo potencial de retenção de água dos solos arenosos, o efeito da adição do CSD é mais impactante quando comparado com os solos argilosos. Os parâmetros de ajuste

obtidos para os ensaios em solos arenosos estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Parâmetros do modelo de Van Genuchten para calculados para solos arenosos.

Parâmetros	CSD	Solo Arenoso - Controle	CSC
θ_r (g.g-1)	0,049	0,039	0,04
θ_s (g.g-1)	0,109	0,074	0,074
v	0,00369	0,00511	0,00265
n	53,887	26,232	152,102
m	0,0080	0,0207	0,0113
R^2	0,971	0,930	0,956

Como pode ser observar na Tabela 14, assim como observado nos parâmetros obtidos para os solos argilosos, porém com valores de correlação ligeiramente menores, o que indica que o modelo de Van Genuchten pode se adequar melhor a solos com distribuição uniforme de poros. Observações semelhantes também foram feitas por Dexter et al. (2008). Os valores de v e m apresentam coerência com os valores publicados na literatura, porém, novamente observa-se valores de n elevados, o que possivelmente está relacionado ao efeito da adição dos condicionadores na porosidade da amostra ensaiada. Um efeito semelhante da influência da aplicação de hidrogéis em solos foi encontrado por Rabat *et al* (2016) que observou que o processo de inchamento dos polímeros aplicados resultou na alteração das propriedades hidrofísicas do solo.

5.3.4 Avaliação do Água Disponível Total das amostras de solo.

A Água Disponível Total é a quantidade de água que efetivamente estará disponível pelas plantas e é por definição a quantidade de água contida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

A ADT foi calculada conforme a equação 8.

$$ADT (g \cdot g^{-1}) = W_{0,1bar} - W_{15 bar} \quad (8)$$

A água disponível total para os dois tipos de solo está apresentada na Tabela

15 e Figura 29.

Tabela 15: Água disponível total nos dois tipos de solos

Tratamentos	ATD (g.g ⁻¹)	
	Solo Argiloso	Solo Arenoso
Amostra Controle	0,175 a1	0,035 b1
Adição de 1% de CSC	0,187 a1	0,034 b1
Adição de 1% de CSD	0,258 a2	0,060 b2

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t.

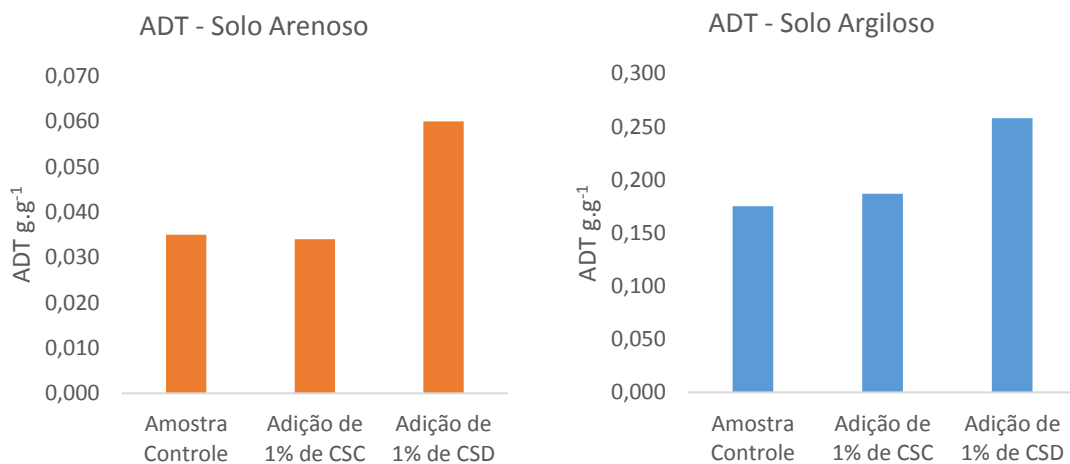


Figura 29: Água Disponível Total para os tratamentos nos solos argiloso e arenoso

Como pode ser observado na Tabela 15 e Figura 29, a utilização de 1% do CSD resulta em um aumento significativo na ADT quando comparado com a amostra controle, tanto para o solo argiloso quanto para o solo arenoso. Quando aplicado no solo argiloso, o CSD elevou a ADT de 0,175 g.g⁻¹ para 0,258 g.g⁻¹, o que representou um aumento de 47%. Quando aplicado em no solo arenoso, observou-se uma elevação da ADT ainda mais acentuado, aumentando de 0,035 para 0,060 g.g⁻¹, representando um aumento de 71%. Em ambos os tipos de solo, o condicionador comercial CSC não apresentou diferença significativa ao nível de 95% para a ADT. É importante destacar que o aumento da ADT quando utilizado o CSD é uma evidência que a água absorvida pelo condicionador produzido estará disponível para a planta, já que ADT é o conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha

permanente.

Estes resultados também evidenciaram que a água absorvida pelo CSD ocorre em pressões menores que 15 bar, ou seja, é uma água matricial, resultante da interação da água com os grupos hidroxila do hidrogel e, portanto, disponível para as plantas.

5.3.5 Avaliação da Influência do CSD na CTC do solo – Ensaio de Lixiviação.

Os resultados das análises químicas dos ensaios de lixiviação estão apresentados nas Tabelas 16 a 26 onde também estão apresentados os resultados das análises estatísticas e em gráficos, onde é possível realizar mais facilmente uma avaliação comparativa.

Os experimentos realizados com amostras de diferentes solos e diferentes dosagens de condicionadores objetivou avaliar se a adição destes condicionadores resulta em um aumento na capacidade de retenção dos nutrientes e conseqüentemente uma menor concentração destes nos extratos lixiviados.

5.3.5.1 Condutividade Elétrica

Os resultados das análises de Condutividade elétrica em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para cada um dos ensaios estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) dos ensaios de Lixiviação.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Solo Arenoso Controle	410	624	1451	1313	1086	1337	1225	442	392	230	155	200
Solo Arenoso com CSD 0,5%	514	642	1521	1236	926	1109	1009	418	373	297	194	241
Solo Arenoso com CSD 1,0%	851	1040	1586	1191	835	893	806	341	319	238	161	186
Solo Arenoso com CSD 1,5%	909	1473	2106	2056	1960	1721	1792	702	329	229	160	197
Solo Arenoso com CSC 0,5%	919	1469	1952	897	650	758	746	242	171	156	118	123
Solo Arenoso com CSC 1,0%	847	1379	1809	1628	1311	1122	1359	507	385	324	236	327
Solo Arenoso com CSC 1,5%	817	1299	1898	1931	1908	2067	1790	677	456	334	209	283
Solo Argiloso Controle	364	522	920	959	871	963	844	305	309	264	163	169

continua...

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Solo Argiloso com CSD 0,5%	546	679	784	768	628	799	781	245	204	160	118	122
Solo Argiloso com CSD 1,0%	680	715	1022	974	870	637	576	270	244	184	138	176
Solo Argiloso com CSD 1,5%	832	940	1025	976	825	692	538	280	225	133	112	147
Solo Argiloso com CSC 0,5%	750	1055	1088	475	494	663	538	274	307	205	105	137
Solo Argiloso com CSC 1,0%	681	926	1160	1244	941	968	1041	463	249	163	123	140
Solo Argiloso com CSC 1,5%	533	725	741	878	605	658	531	232	258	218	167	214

Para facilitar a interpretação dos resultados de Condutividade Elétrica - CE, estes mesmos resultados foram expressos em gráficos por tratamento. As Figuras 30 e 31 apresentam os resultados de CE para o tratamento de 0,5% de CSD e CSC.

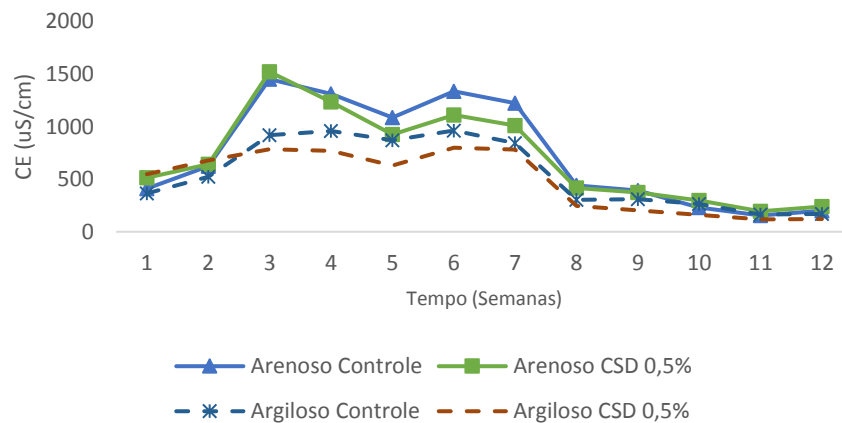


Figura 30: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 0,5% de CSD em dois diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

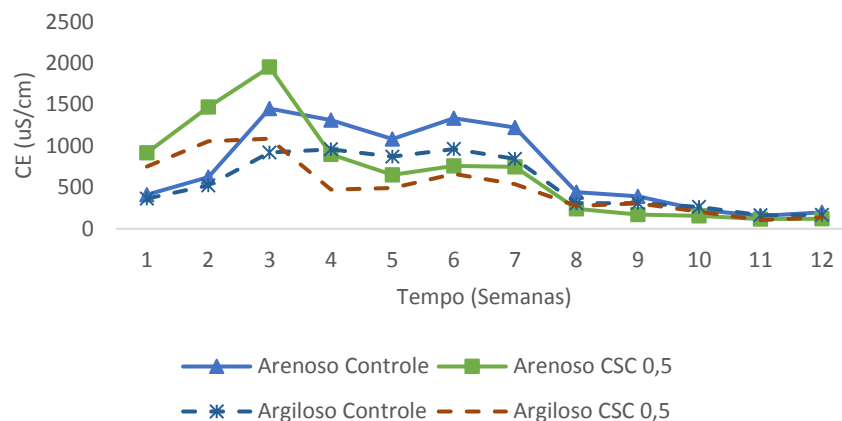


Figura 31: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 0,5% de CSC em dois

diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

As Figuras 32 e 33 apresentam os resultados de CE para o tratamento de 1,0% de CSD e CSC.

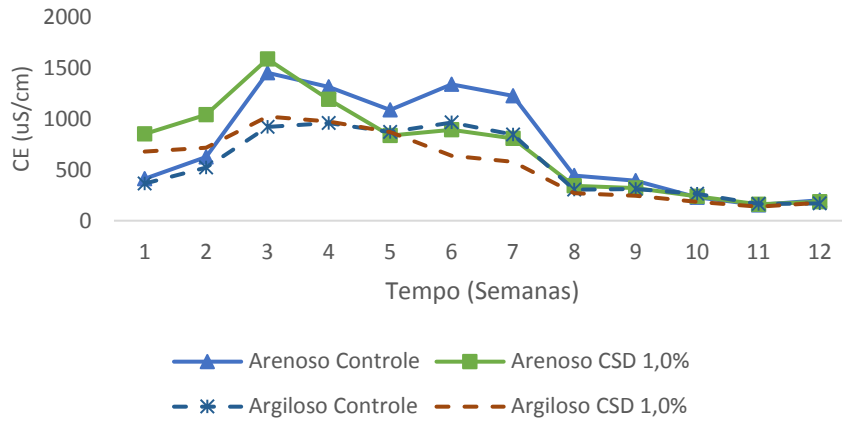


Figura 32: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,0% de CSD em dois diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

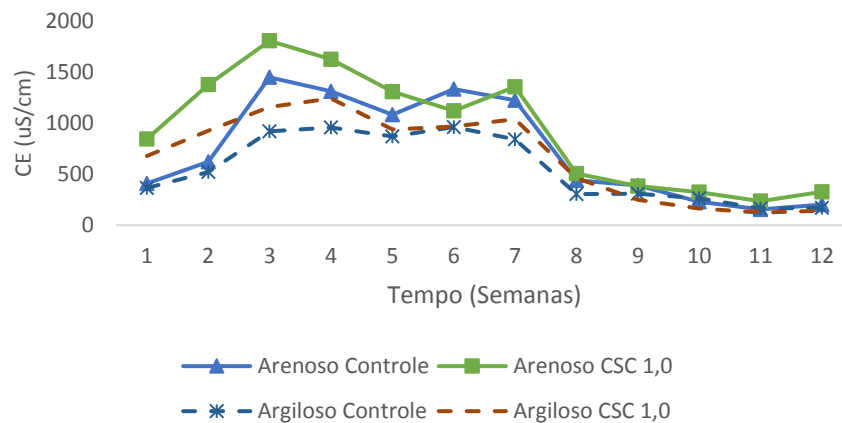


Figura 33: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,0% de CSC em dois diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

As Figuras 34 e 35 apresentam os resultados de CE para o tratamento de 1,5% de CSD e CSC.

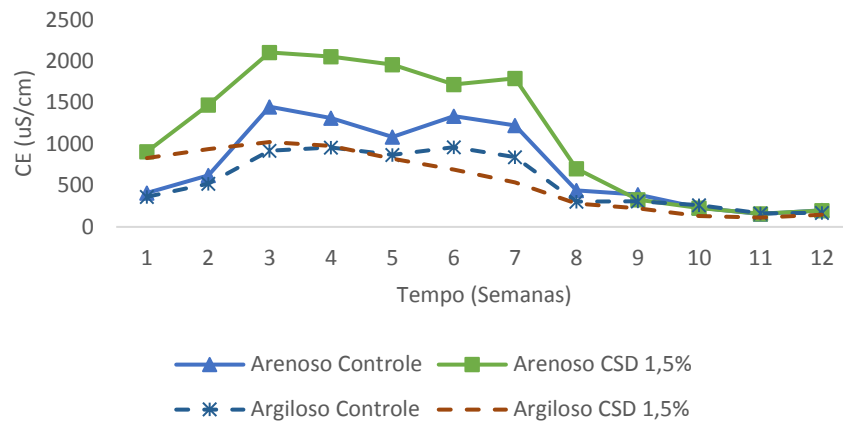


Figura 34: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,5% de CSD em dois diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

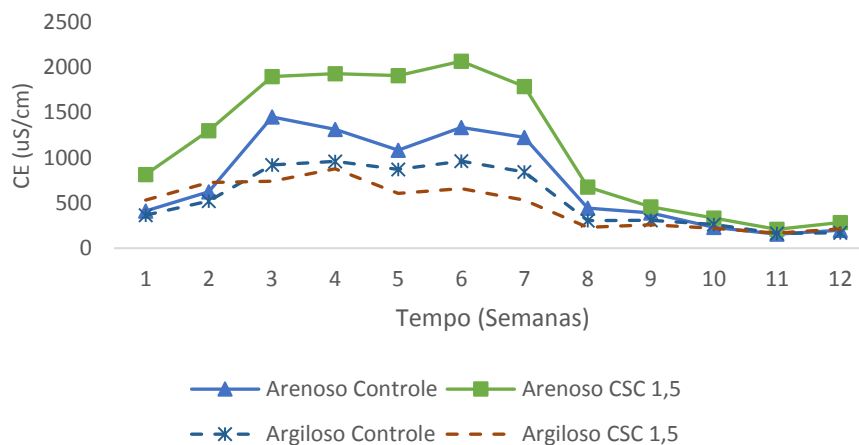


Figura 35: Condutividade Elétrica dos tratamentos com adição de 1,5% de CSC em dois diferentes tipos de solo (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Tabela 16 e Figuras 30 a 35, há uma significativa diferença entre os valores de condutividade elétrica dos extratos obtidos com ensaios em solos arenosos e argilosos, tanto para o CSC quanto para CSD. Pode-se observar uma diferença na condutividade elétrica entre os tipos de solos. Além disso a adição de ambos condicionadores de solos tende a resultar em uma menor condutividade elétrica no extrato quando comparado com as respectivas amostras controle.

Em ambos os tipos de solo, observa-se que há um aumento na condutividade a partir da primeira semana até a terceira semana. Posteriormente, observa-se valores elevados de condutividade até a semana 08, quando a partir desta semana, os valores de condutividade elétrica observados foram diminuindo até o final do experimento. Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que o aumento da condutividade

observado entre as semanas 3 e 8 está relacionado à lixiviação dos nutrientes adicionados. Como estes nutrientes foram adicionados ao topo das colunas, estes não foram observados nos extratos lixiviado da primeira e segunda semanas. Do mesmo modo, pode se inferir que a diminuição e estabilização da condutividade elétrica após a semana 8 indicam que o tempo de lixiviação foi suficiente para que os nutrientes adicionados pudessem ser lixiviados.

Quando se compara os efeitos dos condicionadores avaliados com relação aos tipos de solo, observa-se que os extratos obtidos das colunas de solo arenosos apresentaram condutividade elétrica maior que a condutividade elétrica dos extratos dos solos argilosos, em todas as semanas do experimento. Esta maior condutividade elétrica dos extratos está relacionada às características de cada solo, já que os solos arenosos apresentam menor CTC e, deste modo menor potencial para retenção de cargas, o que resulta em uma maior lixiviação de nutrientes e, conseqüentemente, uma maior condutividade elétrica quando comparado ao solo argiloso. Também é possível observar que, quando se avalia a condutividade elétrica somente dos extratos de solos argilosos, para ambos os condicionadores testados, nota-se que até próximo a terceira semana, nas amostras onde houve a adição dos condicionadores (CSD ou CSC), a condutividade elétrica foi maior que a condutividade elétrica dos extratos das amostras controle. A partir da terceira semana, ocorre a inversão dos valores medidos de condutividade elétrica nos extratos e observa-se que as amostras com condicionadores apresentou menor condutividade. Estes resultados podem estar relacionados a presença de nutrientes no próprio condicionador, como é o caso do CSC que apresenta 2,7 % de cálcio e 1,0% de potássio ou no caso do CSD, pode conter íons cloreto resultantes do processo de purificação.

Vale ressaltar que as medições de condutividade elétrica nos extratos lixiviados foram realizados com o objetivo de fazer uma avaliação qualitativa do experimento, já que, estes parâmetros são influenciados por diversos ânions e cátions não analisados no extrato lixiviado. Devido a este fato, não foi realizado uma avaliação estatística dos dados.

5.3.5.2 Cálcio

Os resultados da concentração acumulada de cálcio ao longo das 12 semanas de experimento estão apresentados nas Tabelas 17 e 18 e Figuras 36 e 37.

Como pode ser observado na Tabela 17, onde estão apresentados os resultados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso, na primeira semana de ensaio houve uma diferença significativa entre os ensaios CSD 1,5, CSC 0,5, CSC 1,0 e CSC 1,5 em relação a amostra controle. Já os tratamentos CSD 0,5 e CSD 1,0 não apresentaram diferença significativa com a amostra controle na primeira semana. A partir da segunda semana, observa-se que os tratamentos CSD 0,5 e CSD 1,0 passaram a apresentar diferença significativa entre si, porém, o tratamento CSD 0,5 ainda não apresentou diferença significativa com a amostra controle. A partir da terceira semana, todos os ensaios apresentaram diferença significativa quando comparadas com a amostra controle, até que, na semana 12, observa-se que todos os tratamentos diferiram entre si, exceto os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5.

Tabela 17: Concentração de Cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	4,3 a1	6,3 a1	9,1 a1	11,8 a1	13,3 a1	16,4 a1	29,1 a1	29,8 a1	31,0 a1	32,5 a1	33,4 a1	34,7 a1
CSD 1,0	2,3 a1	3,5 a2	5,6 a2	7,2 a2	9,3 a2	11,7 a2	15,8 a2	16,5 a2	17,2 a2	18,1 a2	18,8 a2	19,5 a2
CSD 1,5	0,9 a2	2,0 a2	5,7 a2	8,2 a2	10,3 a2	12,2 a2	13,2 a2	13,8 a2	14,7 a2	15,6 a2	16,4 a2	17,4 a2
CSC 0,5	18,2 a3	27,4 a4	47,6 a3	64,5 a3	78,9 a3	95,7 a3	120,8 a3	128,4 a3	131,8 a3	133,7 a3	135,2 a3	136,8 a3
CSC 1,0	10,8 a4	21,7 a3	49,9 a4	70,5 a4	98,5 a4	127,7 a4	156,6 a4	168,0 a4	170,7 a4	173,6 a4	174,5 a4	175,8 a4
CSC 1,5	10,1 a4	26,3 a4	45,4 a5	67,8 a4	81,2 a3	94,1 a3	106,3 a5	110,8 a5	114,0 a5	116,9 a5	118,9 a5	121,2 a5
Controle	3,3 a1	7,5 a1	22,9 a6	34,5 a5	45,4 a5	54,9 a5	65,9 a6	70,4 a6	72,8 a6	73,8 a6	74,7 a6	75,7 a6

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Para facilitar a avaliação do efeito dos tratamentos na concentração de cálcio do extrato lixiviado, os dados da Tabela 17 foram apresentados na forma de gráfico na Figura 36.

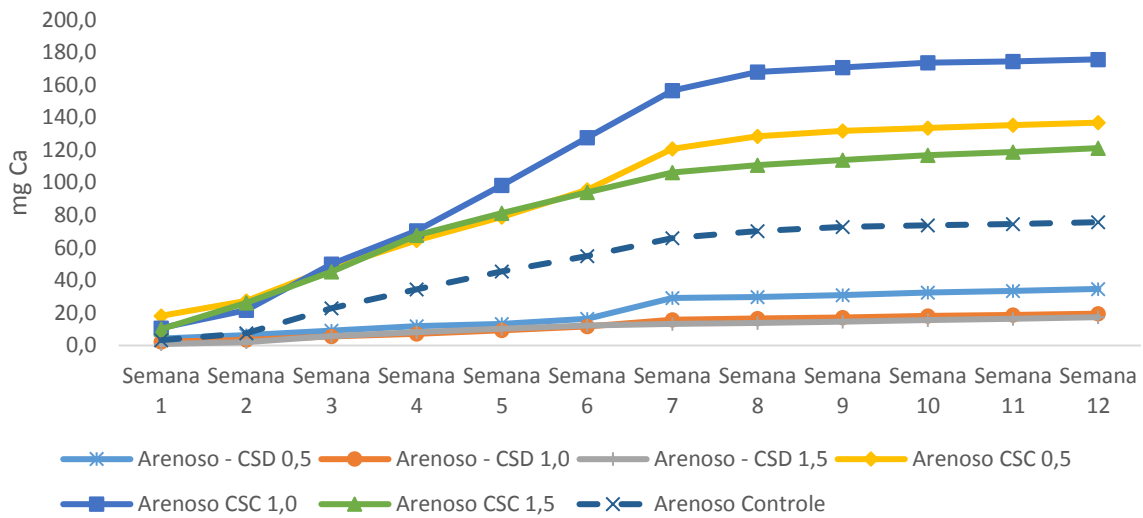


Figura 36: Teores acumulados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Figura 36, os tratamentos utilizando o condicionador comercial nas 3 concentrações avaliadas (CSC 0,5, CSC 1,0 e CSC 1,5) resultaram em uma maior concentração de cálcio no extrato lixiviado, quando comparadas com a amostra controle, enquanto que, os três tratamentos realizados com o condicionador de solos desenvolvido (CSD 0,5, CSD 1,0 e CSD 1,5) resultaram em uma menor concentração de cálcio no extrato lixiviado quando comparado com a amostra controle. Considerando-se a função de um condicionador de solos, era de se esperar que em todos os tratamentos realizados a quantidade de cálcio no extrato lixiviado fosse menor que a amostra controle. Porém, quando utilizou-se a condicionador de solo comercial observou-se efeito inverso. Esta maior concentração de cálcio no extrato lixiviado quando utilizou-se o CSC possivelmente está relacionada a presença de cálcio na mistura do próprio condicionador comercial, que como citado anteriormente, apresenta em sua composição 2,7% de cálcio, o que resultou em uma adição de 360 mg de cálcio somente pelo condicionador. A presença do cálcio contido no próprio condicionador de solos comercial, somada ao cálcio também adicionado na forma de CaSO_4 possivelmente resultou em uma maior concentração deste nutriente da solução do solo e devido aos ensaios de adição de água, este nutriente foi lixiviado. Estes resultados estão de acordo com o proposto por Havlin *et al.* (1999) que observou que quando uma quantidade de cálcio for maior que a capacidade de absorção de um solo, haverá um deslocamento do equilíbrio para que o cálcio fique na solução do solo ou poderá haver precipitação, dependendo

das condições de cada solo.

Quando se avalia os tratamentos realizados com o condicionador de solos desenvolvido, observa-se que o CSD 0,5 resultou em uma menor concentração de cálcio no lixiviado quando comparado com a amostra controle. Porém, esta concentração foi maior que com os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5, que não apresentaram diferença entre si. Estes resultados confirmam a eficiência do produto desenvolvido como condicionador de solos, devido principalmente a elevada CTC do CSD. É possível observar também que, a utilização da dose de 1% de CSD apresentou uma maior eficiência quando comparado a dose de 0,5%, porém, não houve diferença significativa quando comparada com a dose de 1,5%, indicando que, nas condições de ensaio, o melhor custo-benefício seria obtido com a aplicação do CSD 1,0%. Estes resultados corroboram o proposto por Ribeiro *et al.* (1999) que cita que a dose ideal de condicionador de solos é de 1,0%.

Os resultados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Concentração de Cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	1,5 a1	2,7 a1	3,3 a1	4,2 a1	4,9 a1	5,4 a1	6,2 a1	6,4 a1	6,6 a1	6,9 a1	7,2 a1	7,2 a1
CSD 1,0	1,0 a2	2,6 a1	3,2 a1	4,3 a1	4,7 a1	5,6 a1	6,4 a1	6,6 a1	6,9 a1	7,4 a1	7,7 a1	7,9 a1
CSD 1,5	1,0 a2	2,8 a1	3,3 a1	4,4 a1	4,7 a1	5,1 a1	5,5 a1	5,8 a1	5,9 a1	6,3 a1	6,6 a1	6,8 a1
CSC 0,5	5,0 a3	15,9 a2	24,9 a2	35,3 a2	42,8 a2	50,1 a2	55,7 a2	58,6 a2	60,1 a2	61,5 a2	62,5 a2	63,8 a2
CSC 1,0	4,5 a4	13,7 a3	21,6 a3	30,0 a3	35,6 a3	41,7 a3	45,8 a3	47,8 a3	50,2 a3	52,2 a3	54,1 a3	56,1 a3
CSC 1,5	4,2 a4	12,4 a4	16,9 a4	24,7 a4	29,8 a4	34,4 a4	37,8 a4	39,7 a4	41,0 a4	41,4 a4	41,9 a4	42,4 a4
Controle	3,0 a5	8,0 a5	12,5 a5	17,3 a5	22,8 a5	28,9 a5	33,8 a5	36,6 a5	39,5 a4	41,4 a4	42,4 a4	43,0 a4

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Quando se observa os resultados da Tabela 18, é possível notar que na primeira semana de ensaio todos os tratamentos apresentam diferença significativas quando comparados com a amostra controle. Observa-se ainda que os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5, assim como CSC 1,0 e CSC 1,5 são iguais entre si. A partir da segunda semana, observa-se que não houve diferença significativa entre os

tratamentos realizados com o CSD, o que persiste até a semana 12. Quando se observa os resultados dos experimentos realizados com o CSC, é possível evidenciar que os três tratamentos realizados diferenciaram entre si a partir da segunda semana até a semana 12, porém, a partir da semana 8, observa-se que o CSC 1,5 não apresentou diferença significativa quando comparado com a amostra controle. Os resultados da Tabela 18 estão apresentados na forma gráfica na Figura 37.

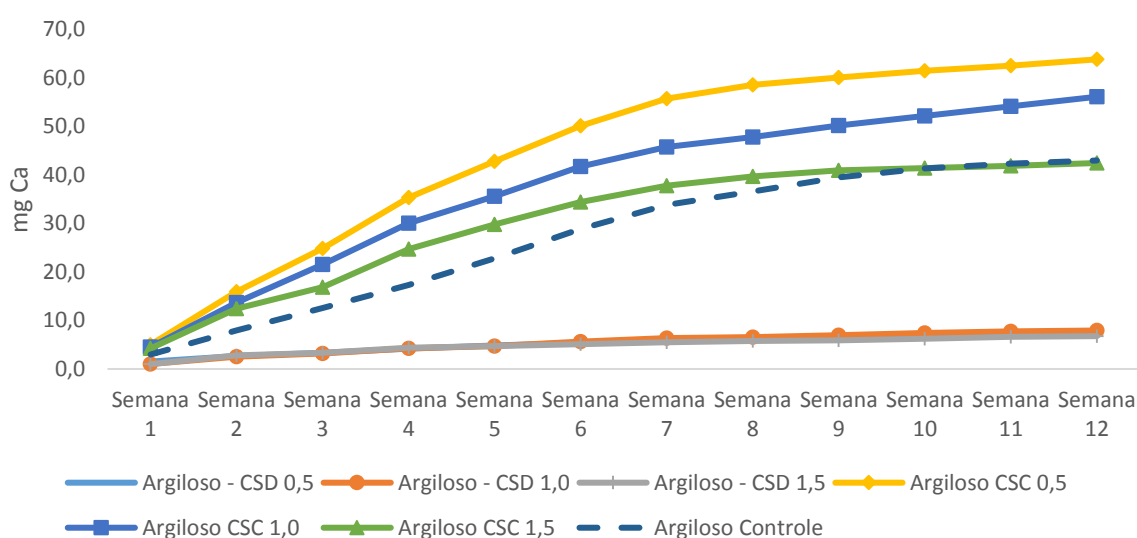


Figura 37: Teores acumulados de cálcio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso (Fonte: Do autor, 2016).

Assim como observado para os experimentos realizados com o solo arenoso, nestes ensaios com solo argiloso, observa-se que a utilização do CSC resultou em uma maior lixiviação de cálcio quando comparada com a amostra controle, o que, como discutido anteriormente, está relacionado a presença de cálcio na mistura do condicionador de solos comercial. Quando se compara os três tratamentos com o CSC, observa-se que o tratamento CSC 0,5 apresentou a maior concentração de cálcio no lixiviado, enquanto o CSC 1,5 apresentou a menor concentração deste nutriente entre os três tratamentos. Esta diferença possivelmente está relacionada a quantidade de condicionador adicionado em cada tratamento, já que, com a adição de uma maior quantidade de condicionador, maior será a capacidade de retenção de nutrientes do solo.

Quando se avalia os experimentos realizados com o CSD, observa-se que não houve diferença significativa entre as três doses testadas. Isto pode estar relacionado

a elevada CTC das amostras de solo argiloso utilizadas e a maior concentração de outros nutrientes neste tipo de solo. Alguns nutrientes podem concorrer com o cálcio pelos sítios disponíveis, não possibilitando uma maior retenção de cálcio pelo solo e consequentemente, uma maior lixiviação.

A Figura 38 apresenta os resultados de cálcio nas amostras de solo, após as 12 semanas de experimento.

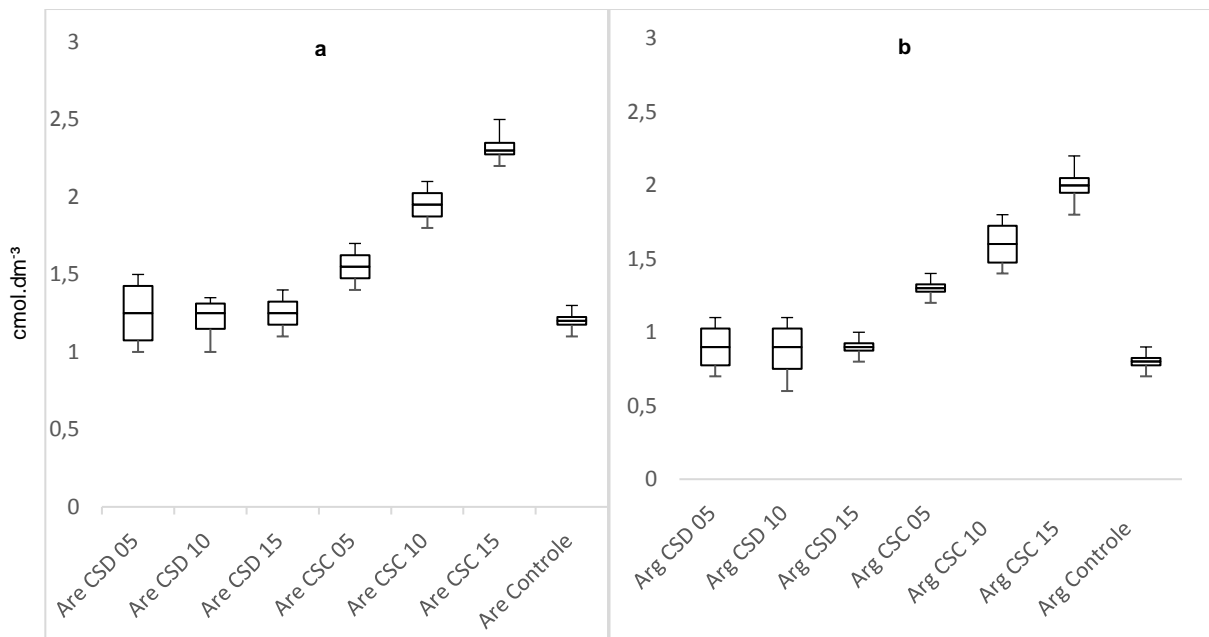


Figura 38: Teores de cálcio nas amostras de solos arenoso (a) e argiloso (b), após 12 semanas de experimentação (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Figura 38, mesmo resultando em lixiviados com maiores teores de cálcio em relação a amostra controle, o uso do CSC resultou em uma maior concentração de cálcio no solo, provavelmente devido a maior quantidade disponível de cálcio, resultante da soma do cálcio contido no CSC e do cálcio aplicado.

5.3.5.3 Potássio

Os resultados da concentração acumulada de potássio ao longo das 12 semanas de experimento estão apresentados nas Tabelas 19 e 20 e Figuras 39 e 40.

Como pode ser observado na Tabela 19, todos os tratamentos realizados com as amostras de solo arenoso resultaram em uma diferença significativa com relação a amostra controle já na primeira semana de experimento. Como pode ser observado,

os tratamentos CSD 0,5 e CSC 1,0 foram iguais entre si, enquanto CSD 1,0 e CSC 0,5 e CSD 1,5 e CSC 1,5 também não apresentam diferença significativa entre eles, respectivamente. A partir da segunda semana, já é possível verificar uma diferença significativa entre os três tratamentos realizados com o CSD e a amostra controle. Quando se avalia os tratamentos com o CSC, observa-se que CSC 1,0 e CSC 1,5 são estatisticamente iguais ao CSD 0,5, enquanto o CSC 0,5 diferencia-se de todos os demais tratamentos realizados. Ao final das 12 semanas de experimento, observa-se que os três tratamentos realizados com o CSD apresentaram diferença significativa entre si e com relação a amostra padrão, enquanto os tratamentos CSC 0,5 e CSC 1,5 foram iguais ao CSD 1,0. Já o tratamento CSC 1,0 apresentou diferença significativa de todos os demais tratamentos.

Tabela 19: Concentração de potássio no extrato lixiviado das amostras como solo arenoso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	1,9 a1	4,0 a1	7,3 a1	10,9 a1	13,2 a1	16,5 a1	18,9 a1	21,0 a1	22,9 a1	23,8 a1	24,7 a1	26,3 a1
CSD 1,0	3,0 a2	6,0 a2	7,4 a1	9,4 a2	11,5 a2	13,6 a2	16,7 a2	17,3 a2	18,9 a2	20,5 a2	22,3 a2	24,5 a2
CSD 1,5	1,0 a3	1,9 a3	4,3 a3	6,4 a3	8,0 a3	9,8 a3	11,7 a3	12,9 a3	14,8 a3	16,6 a3	18,4 a3	20,8 a3
CSC 0,5	2,7 a2	5,0 a4	6,7 a4	8,9 a2	10,1 a4	12,5 a2	17,0 a2	18,3 a2	19,8 a2	20,9 a2	22,3 a2	24,2 a2
CSC 1,0	2,0 a1	4,3 a1	7,1 a1	10,0 a4	12,9 a1	18,1 a4	22,8 a4	25,1 a4	26,1 a4	27,6 a4	28,6 a4	30,8 a4
CSC 1,5	0,9 a3	3,8 a1	6,4 a4	9,2 a2	11,2 a2	13,4 a2	15,8 a3	16,8 a2	17,8 a2	19,3 a2	21,0 a2	23,1 a2
Controle	4,4 a4	10,6 a5	14,7 a5	19,5 a5	21,9 a5	25,2 a5	29,8 a5	31,8 a5	32,9 a5	34,1 a5	35,6 a5	37,7 a5

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Os resultados da Tabela 19 estão apresentados na forma gráfica na Figura 39.

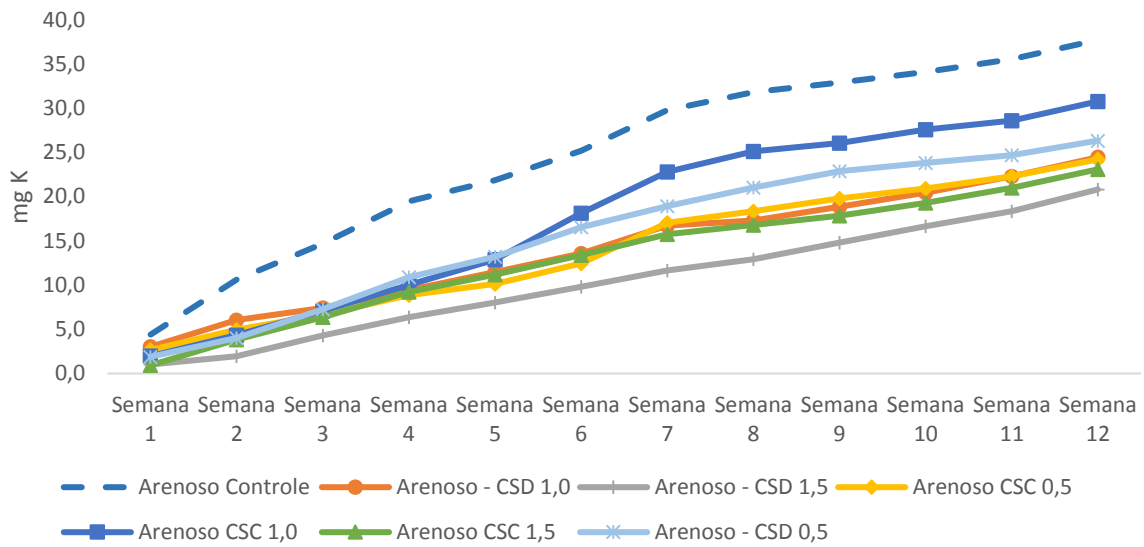


Figura 39: Teores de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Figura 39, desde a primeira semana de ensaio todos os experimentos com solo arenoso resultaram em uma menor lixiviação de potássio quando comparado com a amostra controle. O tratamento CSD 1,5 apresentou-se como o mais eficiente para diminuir a lixiviação de potássio em amostras de solo arenosos, seguido pelos tratamentos CSC 1,5, CSC 0,5 e CSD 1,0 que apresentam a mesma eficiência. Os tratamentos menos eficientes foram CSD 0,5 e CSC 1,0 que apresentou os maiores resultados de potássio no lixiviado.

Por se tratar de um nutriente com significativa mobilidade, pode-se inferir que todos os condicionadores de solos testados em todas as concentrações apresentaram eficiência na diminuição da retenção de potássio em solos arenosos, sendo que, para os tratamentos realizados com o CSD a quantidade de condicionador adicionada foi proporcional a eficiência. Quando se avalia os resultados obtidos com a utilização do CSC, observa-se que o mesmo apresentou uma menor eficiência quando comparado com o CSD. É importante salientar que apesar do CSC ter apresentado em torno de 1% de potássio em sua composição, não se observou uma maior lixiviação de potássio quando comparado com a amostra controle. Isto possivelmente está relacionado ao equilíbrio dos nutrientes no solo, já que segundo Havlin *et al.* (1999) o potássio pode substituir o cálcio nos sítios de carga do solo, o que resultaria em uma menor lixiviação de potássio e uma maior lixiviação de cálcio.

Os resultados da concentração de potássio no extrato lixiviado das amostras com solo

argiloso estão apresentadas na Tabela 20.

Como pode ser observado na Tabela 20, na primeira semana de ensaio todos os experimentos apresentaram diferença significativa com relação a amostra controle, sendo os tratamentos CSD 0,5 e CSC 0,5 iguais entre si e os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5 também iguais entre si. A partir da segunda semana de ensaio observa-se que os tratamentos com o CSD passam a diferenciar-se entre si, assim como os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5. Na semana 12, ao final do ensaio de lixiviação, observa-se que os tratamentos CSD 1,5 e CSC 0,5 foram iguais entre si e diferentes de todos os demais experimentos, incluindo a amostra controle. Pode se observar que a utilização do CSC 1,5 resultou em uma redução da quantidade de potássio lixiviada de quase 80% quando comparado a amostra controle, enquanto que, o melhor tratamento com o CSD apresentou uma redução de quase 50% na quantidade de potássio lixiviado. Os dados da Tabela 20 estão apresentados na forma gráfica na Figura 40.

Tabela 20: Concentração de potássio no extrato lixiviado das amostras como solo argiloso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,6 a1	1,5 a1	2,6 a1	3,4 a1	4,5 a1	5,8 a1	6,9 a1	7,4 a1	7,8 a1	8,3 a1	8,7 a1	9,1 a1
CSD 1,0	1,3 a2	2,5 a2	3,2 a2	4,2 a2	4,9 a2	5,4 a2	5,9 a2	6,1 a2	6,3 a2	6,5 a2	6,6 a2	6,9 a2
CSD 1,5	1,0 a2	2,1 a3	2,5 a1	3,0 a3	3,4 a3	4,0 a3	4,4 a3	4,5 a3	4,7 a3	4,8 a3	5,1 a3	5,2 a3
CSC 0,5	0,6 a1	1,4 a1	1,9 a3	2,6 a4	3,3 a3	4,0 a3	4,4 a3	4,7 a3	4,9 a3	5,0 a3	5,2 a3	5,4 a3
CSC 1,0	0,3 a3	0,8 a4	1,1 a4	1,4 a5	1,6 a4	1,7 a4	1,9 a4	2,1 a4	2,2 a4	2,3 a4	2,5 a4	2,7 a4
CSC 1,5	0,1 a4	0,5 a5	0,8 a5	1,0 a6	1,1 a5	1,2 a5	1,3 a5	1,4 a5	1,5 a5	1,6 a5	2,0 a5	2,1 a5
Controle	1,4 a5	3,9 a6	4,9 a6	6,5 a7	7,6 a6	7,9 a6	8,8 a6	9,2 a6	9,5 a6	9,7 a6	10,0 a6	10,3 a6

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como é possível observar na Figura 40, assim como no solo arenoso, todos os tratamentos resultaram em uma menor lixiviação de potássio em solo argiloso, quando comparado com a amostra controle. A maior eficiência para redução da lixiviação de potássio foi observada para o tratamento CSC 1,5, seguido do CSC 1,0 e CSC 0,5, sendo este último com a mesma eficiência do CSD 1,5. O CSD 1,5 apresentou a

melhor eficiência entre os tratamentos com o condicionador de solo desenvolvido, seguido do CSD 1,0 e CSD 0,5. A partir destes dados, pode-se inferir que, assim como nos solos arenosos, a quantidade de condicionador de solos adicionada é proporcional a retenção de potássio no solo, diminuindo portanto a quantidade lixiviada. Pode-se inferir também que o CSD apresentou eficiência na redução da lixiviação de potássio, apesar desta eficiência ser menor que com os tratamentos realizados com o condicionador de solos comercial. A maior eficiência do condicionador de solos comercial pode estar relacionada às características do material de origem de turfa do condicionador, que pode apresentar maior potencial para adsorção de adsorvatos menores e monovalentes.

Em estudo realizado com adição de hidrogéis superabsorventes produzidos a partir de mistura de compostos derivados de celulose e acrilamida, Essawy (2016) observou que a adição dos hidrogéis resultou em uma menor lixiviação de potássio retido no solo. O autor atribuiu este aumento na capacidade retenção de potássio ao aumento no número de sítios no solo, devido a adição do hidrogel.

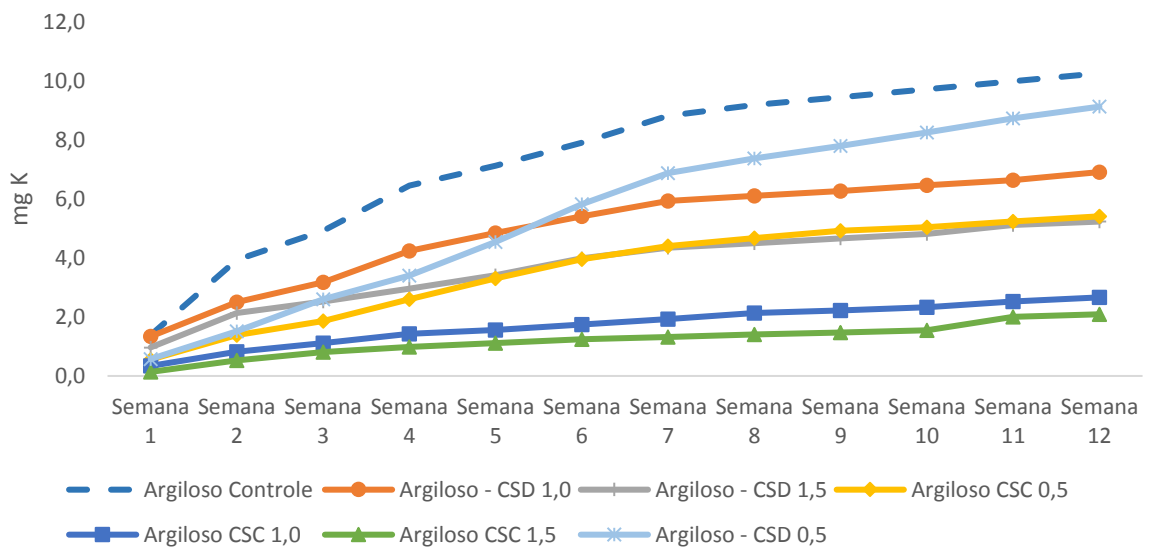


Figura 40: Teores de potássio no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso (Fonte: Do autor, 2016).

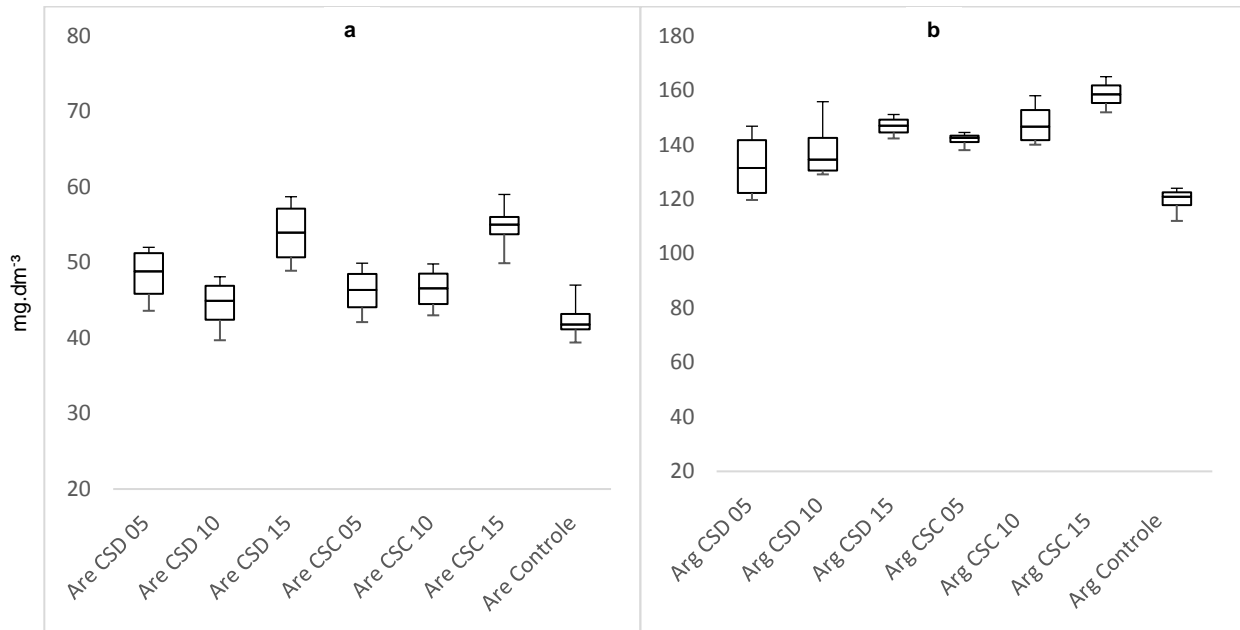


Figura 41: Resultados dos teores de potássio nas amostras de solos arenoso (a) e argiloso (b), após 12 semanas de experimentação (Fonte: Do autor, 2016).

A Figura 41 apresenta os resultados da concentração de potássio nas amostras após o período de lixiviação. Como pode ser observado, em ambos os tipos de solo houve a retenção de uma maior quantidade de potássio quando comparado com as respectivas amostras controle. Este maior potencial para retenção de potássio está relacionado a CTC dos condicionadores adicionados, que contribui para o aumento de sítios e conseqüentemente, para uma maior capacidade de retenção de nutrientes. Estes resultados corroboram os resultados dos ensaios de lixiviação para potássio, onde é possível observar que as amostras que apresentaram menores quantidades de potássio no lixiviado também foram as amostras com maior concentração de potássio nas amostras de solo.

5.3.5.4 Zinco

Os resultados da concentração acumulada de zinco ao longo das 12 semanas de experimento estão apresentados na Tabelas 21 e 22 e Figuras 42 e 43.

Tabela 21: Concentração de zinco no extrato lixiviado das amostras como solo arenoso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,035 a1	0,052 a1	0,063 a1	0,079 a1	0,088 a1	0,100 a1	0,109 a1	0,114 a1	0,116 a1	0,125 a1	0,129 a1	0,130 a1
CSD 1,0	0,029 a2	0,058 a2	0,070 a2	0,089 a2	0,104 a2	0,115 a2	0,125 a2	0,139 a2	0,142 a2	0,143 a2	0,146 a2	0,147 a2
CSD 1,5	0,027 a2	0,043 a3	0,048 a3	0,065 a3	0,069 a3	0,072 a3	0,084 a3	0,089 a3	0,090 a3	0,092 a3	0,093 a3	0,093 a3
CSC 0,5	0,018 a3	0,040 a3	0,057 a4	0,099 a4	0,110 a2	0,112 a2	0,113 a1	0,118 a1	0,123 a1	0,127 a1	0,130 a1	0,131 a1
CSC 1,0	0,016 a3	0,023 a4	0,025 a5	0,029 a5	0,033 a4	0,036 a4	0,041 a4	0,082 a3	0,082 a4	0,083 a4	0,084 a4	0,085 a4
CSC 1,5	0,012 a4	0,027 a5	0,035 a6	0,041 a6	0,046 a5	0,050 a5	0,070 a5	0,076 a3	0,078 a4	0,079 a4	0,081 a4	0,082 a4
Controle	0,036 a1	0,057 a2	0,108 a7	0,125 a7	0,141 a6	0,161 a6	0,176 a6	0,205 a4	0,224 a5	0,233 a5	0,237 a5	0,238 a5

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como pode ser observado na Tabela 21, na primeira semana de experimento CSD 1,0, CSD 1,5, CSC 0,5, CSC 1,0 e CSC 1,5 apresentaram uma diferença significativa com relação a amostra controle, resultando em uma menor lixiviação de zinco. Um comportamento similar é verificado na segunda semana e a partir da terceira semana observa-se que todos os experimentos apresentaram uma diferença significativa com relação a amostra controle. Ao final do experimento, nota-se que os tratamentos CSD 0,5 e CSC 0,5 foram iguais entre si, lixiviando a mesma quantidade de potássio em amostras de solo arenoso. Os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5 foram diferentes entre si e ambos resultaram em uma menor quantidade de zinco no lixiviado quando comparados com a amostra controle. Os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 resultaram nas mesmas quantidades de zinco no lixiviado, sendo iguais entre si e diferentes da amostra controle.

Os resultados da Tabela 21 foram apresentados na forma gráfica na Figura 42.

Como pode ser observado na Figura 42, já nas primeiras 3 semanas, observa-se que os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 resultaram em uma menor quantidade de zinco no lixiviado. É possível observar também que, a partir da terceira semana, dentre os tratamentos com o condicionador de solos desenvolvido, o tratamento CSD 1,5 foi que o resultou em uma menor lixiviação de zinco. A partir da semana 8, observa-se que as curvas dos tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 se aproximam, evidenciando que os dois tratamentos apresentaram a mesma eficiência na retenção de zinco nas amostras de solo e conseqüentemente resultaram em menores quantidades deste

nutriente no lixiviado. Avaliando os resultados de maneira geral, pode ser inferir que todos os experimentos realizados com solo arenoso resultaram em uma menor quantidade de zinco no lixiviado, evidenciando que tanto o CSD quanto o CSC apresentam eficiência diminuição da lixiviação deste micronutriente.

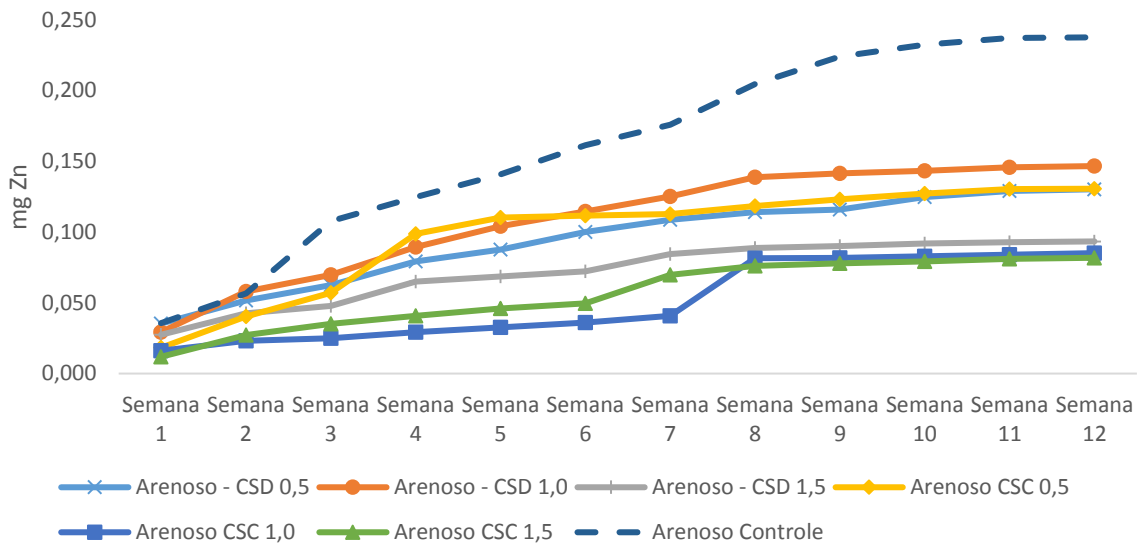


Figura 42: Teores de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

A Tabela 22 apresenta os resultados de zinco no extrato lixiviado para os ensaios realizados com solo argiloso.

Tabela 22: Concentração de zinco no extrato lixiviado das amostras como solo argiloso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,002 a1	0,002 a1	0,006 a1	0,008 a1	0,012 a1	0,014 a1	0,020 a1	0,021 a1	0,022 a1	0,022 a1	0,023 a1	0,024 a1
CSD 1,0	0,001 a1	0,002 a1	0,002 a2	0,003 a2	0,008 a2	0,009 a2	0,011 a2	0,013 a2	0,014 a2	0,014 a2	0,014 a2	0,017 a2
CSD 1,5	0,001 a1	0,002 a1	0,003 a2	0,003 a2	0,003 a3	0,004 a3	0,005 a3	0,007 a3	0,007 a3	0,008 a3	0,008 a3	0,010 a3
CSC 0,5	0,002 a1	0,005 a2	0,005 a1	0,007 a3	0,007 a4	0,009 a2	0,011 a2	0,011 a4	0,011 a4	0,012 a4	0,012 a4	0,014 a4
CSC 1,0	0,001 a1	0,001 a3	0,001 a3	0,002 a4	0,002 a5	0,004 a3	0,005 a3	0,005 a5	0,006 a5	0,007 a5	0,007 a5	0,009 a5
CSC 1,5	0,001 a1	0,001 a3	0,001 a3	0,001 a5	0,001 a5	0,002 a4	0,004 a4	0,004 a6	0,004 a6	0,005 a6	0,006 a6	0,008 a6
Controle	0,005 a2	0,009 a4	0,012 a4	0,017 a6	0,019 a6	0,025 a5	0,029 a5	0,032 a7	0,033 a7	0,035 a7	0,037 a7	0,039 a7

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de

significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como pode ser observado na Tabela 22, na primeira semana de experimento todos os ensaios apresentaram uma diferença significativa em relação a amostra controle, observando que todos os tratamentos realizados são iguais entre si e diferentes somente da amostra controle. Na segunda semana os tratamentos com CSD apresentaram valores iguais de zinco no lixiviado. Alguma igualdade entre estes tratamentos persiste até a semana 4 e a partir da semana 5, observa-se que os tratamentos CSD 0,5, CSD 1,0 e CSD 1,5 apresentam diferença significativa entre si e esta diferença continua até a semana 12.

Quando se avalia os tratamentos com o CSC, observa-se que os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 são apresentam resultados estatisticamente iguais nas primeiras semanas, porém, durante o período de experimento uma diferença entre estes tratamentos é observada, diferença esta que continua até a semana 12. Ao final do período de experimento observa-se que todos os tratamentos utilizando o CSC foram diferentes entre si e com relação a amostra controle.

Os dados da Tabela 22 estão apresentados na forma gráfica na Figura 43.

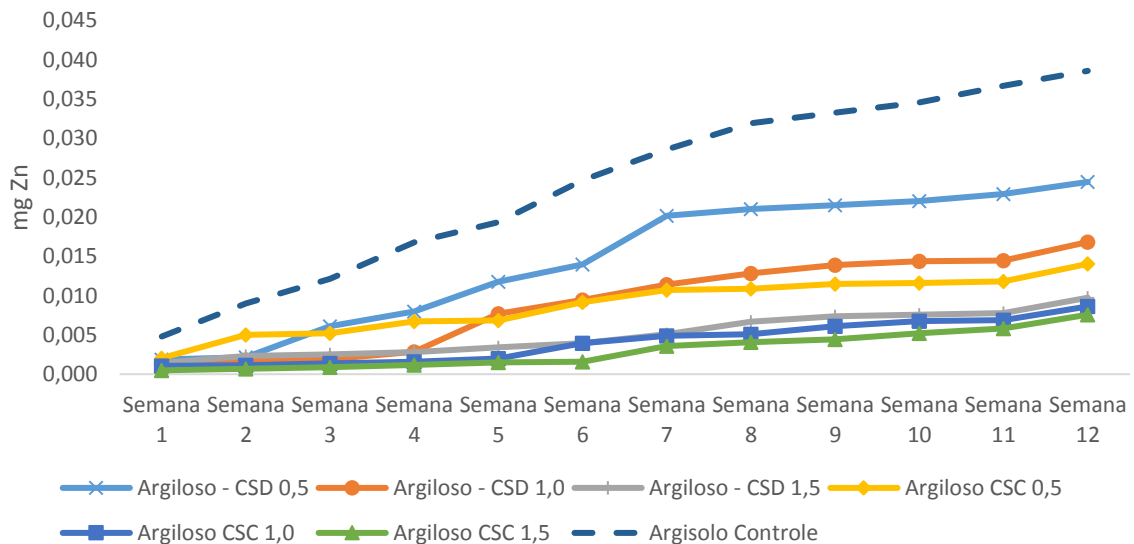


Figura 43: Teores de zinco no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Figura 43, todos os experimentos realizados resultaram em uma menor quantidade de zinco lixiviado nos solos argilosos. Assim

como no solo arenoso, as menores quantidades de zinco lixiviado foram observados para os tratamentos CSC 1,5 e CSC 1,0. Dentre os tratamentos com o condicionador de solos desenvolvido, observa-se que o tratamento CSD 1,5 foi o que resultou em uma menor quantidade de zinco lixiviado, seguidos dos tratamentos CSD 1,0 e CSD 0,5. Avaliando os resultados de maneira geral, pode ser inferir que todos os experimentos realizados com solo argiloso resultaram em uma menor quantidade de zinco no lixiviado, evidenciando que tanto o CSD quanto o CSC apresentam eficiência diminuição da lixiviação deste micronutriente.

A concentração de zinco nas amostras de solo após o período de experimento está apresentada na Figura 44.

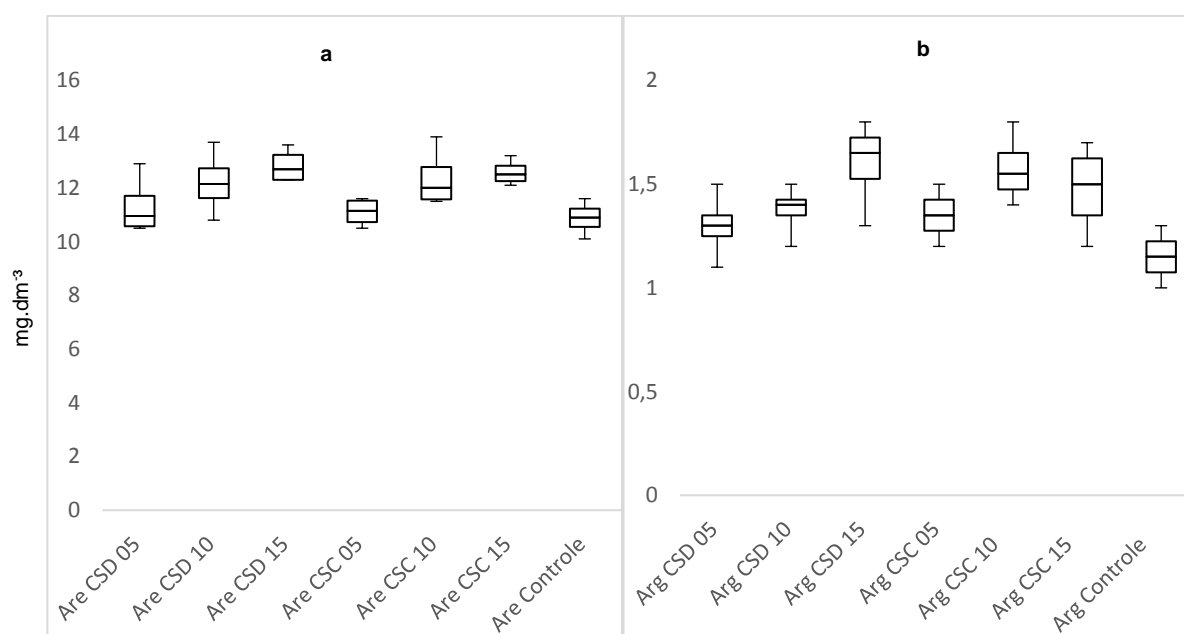


Figura 44: Teores de zinco nas amostras de solos arenoso (a) e argiloso (b), após 12 semanas de experimentação (Fonte: Do autor, 2016).

Como pode ser observado na Figura 44, em ambos os tipos de solo, houve uma maior retenção de zinco quando comparado com as respectivas amostras controle, o que está relacionado a CTC dos condicionadores utilizados no experimento. Observa-se também que os tratamentos CSD 1,5 e CSC 1,5 nas amostras com solo argiloso foram as que apresentaram a maior variabilidade, o que pode estar relacionado a dificuldade de homogeneização da amostra, devido as características do solo argiloso.

5.3.5.5 Enxofre

Os resultados da concentração acumulada de enxofre ao longo das 12 semanas de experimento estão apresentados nas Tabelas 23 e 24 e Figuras 45 e 46.

Como pode ser observado na Tabela 23, na primeira semana de experimento os tratamentos realizados apresentaram diferença significativa com relação a amostra controle, diferença esta que é contínua nas cinco primeiras semanas. Já nas últimas semanas de experimento, observa-se que os tratamentos CSC 0,5 e CSC 1,0 apresentam as mesmas quantidades de enxofre lixiviado, enquanto todos os demais tratamentos são diferentes entre si e com relação a amostra controle. Os resultados da Tabela 23 também estão apresentados na forma de gráfico na Figura 45, onde é possível notar que todos os tratamentos com o CSC resultaram em uma maior quantidade de enxofre lixiviado quando comparado com a amostra controle. Isto ocorreu, possivelmente, porque o enxofre foi lixiviado como par iônico para o cálcio, que como discutido anteriormente, também foi lixiviado em quantidade superior a amostra controle. Estes resultados estão de acordo com o proposto por Sposito (1994) que cita que o enxofre do solo, que ocorre principalmente na forma de sulfato, apresenta elevada mobilidade no perfil do solo, principalmente quando na presença de cálcio.

Tabela 23: Concentração de enxofre no extrato lixiviado das amostras como solo arenoso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	2,6 a1	3,4 a1	4,1 a1	6,5 a1	6,8 a1	7,0 a1	7,7 a1	8,2 a1	8,7 a1	9,0 a1	9,2 a1	9,4 a1
CSD 1,0	3,3 a2	5,2 a2	7,3 a2	8,9 a2	9,7 a2	10,2 a1	10,9 a2	11,2 a2	11,4 a1	11,6 a1	11,7 a1	12,0 a1
CSD 1,5	6,4 a3	15,6 a3	16,2 a3	20,0 a3	21,5 a3	22,0 a3	23,1 a3	23,4 a3	23,8 a2	24,3 a2	24,5 a2	24,6 a2
CSC 0,5	7,4 a4	11,8 a4	18,6 a4	22,8 a4	35,1 a4	48,0 a4	63,9 a4	67,7 a4	69,4 a3	70,1 a3	70,7 a3	71,3 a3
CSC 1,0	5,8 a5	12,7 a5	25,0 a5	34,4 a5	45,9 a5	57,0 a5	68,4 a5	71,4 a5	72,5 a4	73,2 a4	73,6 a3	74,0 a3
CSC 1,5	4,2 a6	7,5 a6	13,4 a6	16,3 a6	27,9 a6	40,0 a6	55,8 a6	61,8 a6	63,3 a5	64,8 a5	65,3 a4	66,0 a4
Controle	1,5 a7	2,7 a7	8,4 a7	10,1 a7	16,2 a7	21,9 a3	28,9 a7	31,1 a7	32,1 a6	32,7 a6	33,1 a5	33,4 a5

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Dentre os tratamentos com o CSD, observa-se que todos os três tratamentos resultaram em uma menor quantidade de enxofre lixiviado, porém, observa-se que os menores resultados de enxofre lixiviados foram obtidos para o CSD 0,5. A baixa lixiviação de enxofre quando se utilizou a menor quantidade de CSD pode estar relacionada justamente a capacidade de retenção de água deste material. Como o CSD apresenta uma significativa capacidade de retenção de água, ele aumenta a quantidade de água disponível no solo e, conseqüentemente, aumenta o potencial para solubilização do enxofre na forma de sulfato, que apresenta elevada solubilidade. Com a adição diária de água, houve uma maior massa de sulfato sendo mobilizada pelo perfil do solo durante o experimento, ou seja, como o CSD é um hidrogel com alta capacidade de retenção de água, quanto maior sua quantidade nos tratamentos, maior a capacidade de água disponível no solo, aumentando a solubilização dos grupos sulfato e conseqüentemente sua lixiviação.

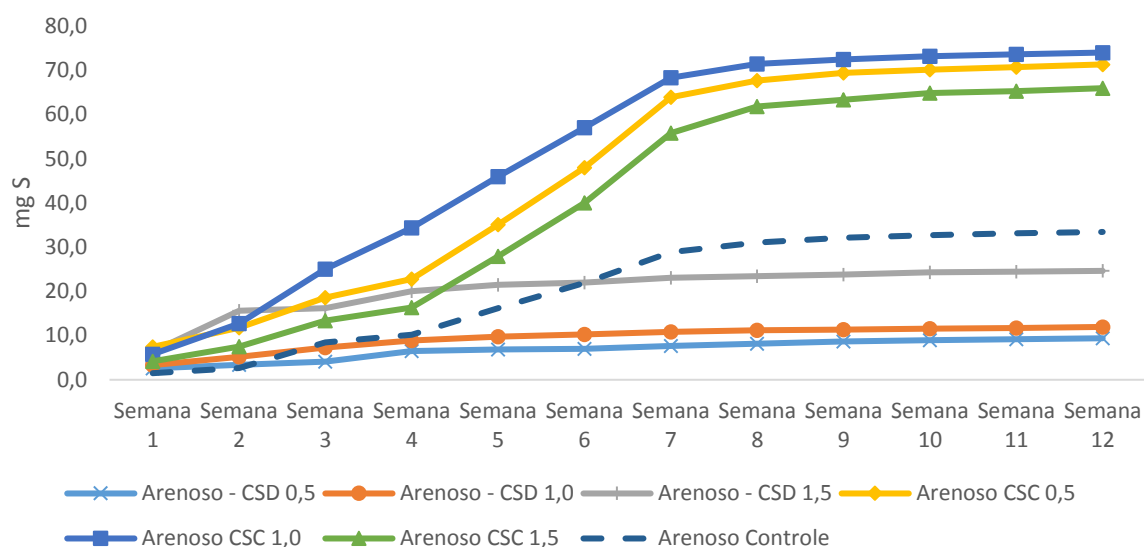


Figura 45: Teores de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

Os resultados de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Concentração de enxofre no extrato lixiviado das amostras como solo argiloso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,2 a1	0,3 a1	0,4 a1	0,5 a1	0,9 a1	1,1 a1	1,2 a1	1,2 a1	1,2 a1	1,3 a1	1,4 a1	1,4 a1
CSD 1,0	0,2 a1	0,3 a1	0,4 a1	0,6 a2	0,7 a2	0,8 a2	0,9 a2	1,0 a2	1,1 a2	1,2 a2	1,3 a1	1,4 a1
CSD 1,5	0,2 a1	0,5 a2	0,9 a2	1,2 a3	1,4 a3	1,8 a3	2,0 a3	2,3 a3	2,6 a3	2,7 a3	2,8 a2	2,8 a2
CSC 0,5	0,2 a1	0,5 a2	0,6 a3	0,9 a4	1,0 a1	1,2 a1	1,3 a1	1,4 a4	1,4 a4	1,5 a1	1,6 a3	1,6 a3
CSC 1,0	0,2 a2	0,6 a3	1,0 a2	1,4 a5	1,7 a4	2,0 a4	2,4 a4	2,6 a5	3,0 a5	3,9 a4	4,8 a4	6,1 a4
CSC 1,5	0,3 a3	1,4 a4	2,4 a4	3,2 a6	4,3 a5	6,2 a5	8,1 a5	9,4 a6	11,0 a6	12,6 a5	13,3 a5	13,7 a5
Controle	0,1 a1	0,3 a1	0,5 a5	0,7 a7	0,9 a1	1,2 a1	1,5 a6	1,6 a4	1,6 a7	1,8 a6	1,8 a6	1,9 a6

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como pode ser observado na Tabela 24, somente os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 apresentaram diferença significativa com relação a amostra controle na primeira semana. Já na segunda semana, os ensaios CSD 1,5 também passaram a apresentar diferença significativa com relação a amostra controle. Os tratamentos CSD 0,5 e CSD 1,0 permanecem iguais durante as três primeiras semanas e depois passa a diferirem-se estatisticamente entre as semanas 4 a 10, sendo que, nas semanas 11 e 12 voltam a apresentar resultados estatisticamente iguais. O CSD 1,5 apresenta uma diferença significativa de todos os tratamentos durante todas as semanas de ensaio, assim como todos os ensaios com o CSC. A Figura 46 evidencia que, do mesmo modo como foi observado nos ensaios com solo arenoso, os tratamentos com CSC resultaram em uma maior quantidade de enxofre lixiviado quando comparado com a amostra controle. Como já discutido anteriormente, a lixiviação de uma quantidade maior de enxofre quando utilizou-se o CSC ocorreu devido a lixiviação do cálcio, resultando na lixiviação do enxofre na forma de sulfato como par iônico. Dentre os ensaios realizados com o CSD, observa-se que as menores quantidades de enxofre lixiviado foram obtidas para os tratamentos CSD 0,5 e CSD 1,5, que foram estatisticamente iguais. Como também já discutido anteriormente, a maior lixiviação de enxofre quando aumentou-se a quantidade de condicionador de solos pode estar relacionada a quantidade de água que o

condicionador permite que o solo retenha, aumento a solubilidade do sulfato e resultando em uma maior lixiviação das frações mais solúveis.

A Figura 47 apresenta a concentração de enxofre nas amostras de solo após o período de lixiviação. Como pode ser observado, em nenhum dos tratamentos realizados observa-se um aumento na quantidade de enxofre no solo, muito possivelmente devido a elevada mobilidade deste nutriente. Porém, é possível notar que, quando se utilizou o CSC, houve uma tendência de menores valores de enxofre na amostra final, devido ao processo de lixiviação deste ânion, como discutido anteriormente.

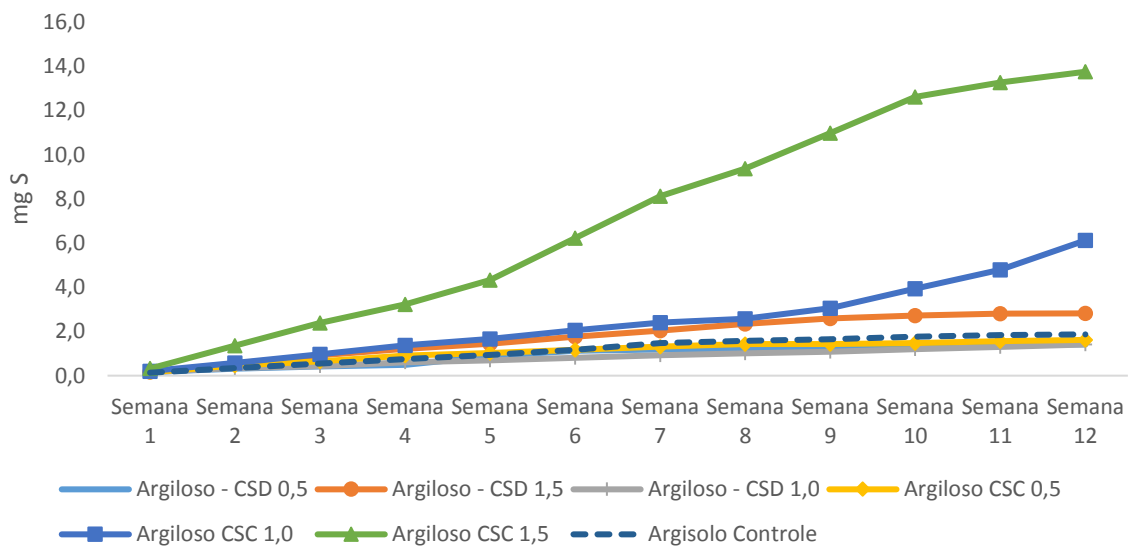


Figura 46: Teores de enxofre no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso (Fonte: Do autor, 2016).

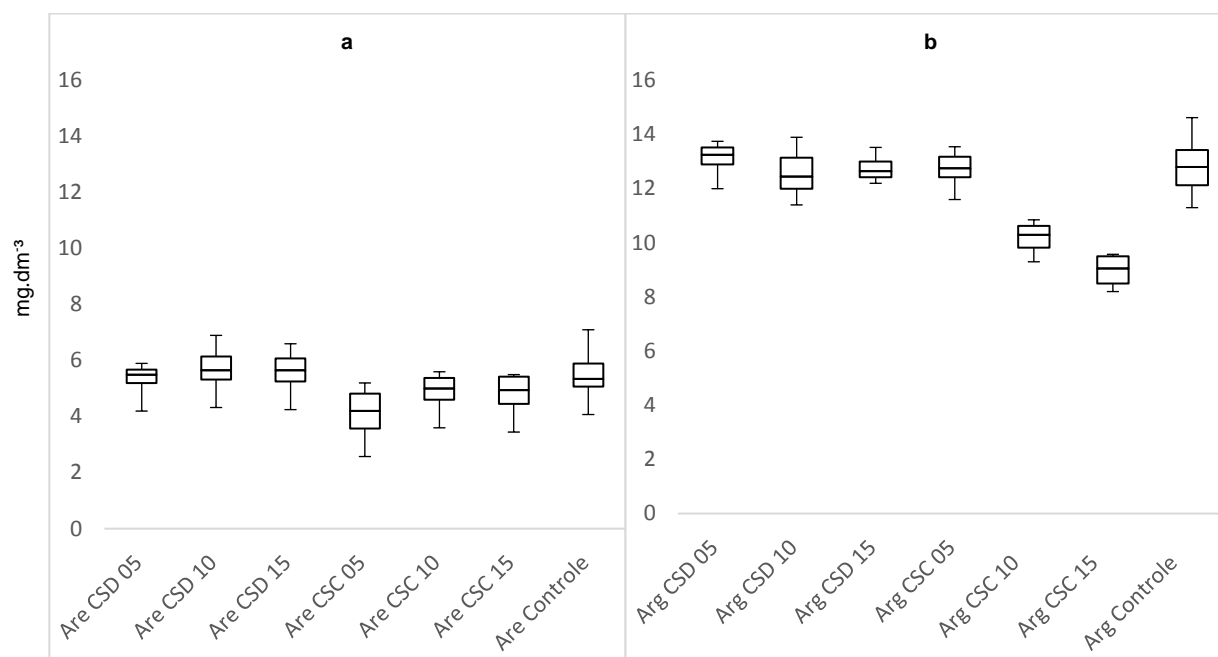


Figura 47: Teores de enxofre nas amostras de solos arenoso e argiloso, após 12 semanas de experimentação.

5.3.5.6 Boro

Os resultados da concentração acumulada de boro ao longo das 12 semanas de experimento estão apresentados nas Tabelas 25 e 26 e Figuras 48 e 49.

Tabela 25: Concentração de boro no extrato lixiviado das amostras como solo arenoso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,006 a1	0,009 a1	0,054 a1	0,058 a1	0,071 a1	0,149 a1	0,203 a1	0,251 a1	0,288 a1	0,320 a1	0,338 a1	0,359 a1
CSD 1,0	0,006 a1	0,013 a2	0,065 a2	0,077 a2	0,161 a2	0,274 a2	0,348 a2	0,419 a2	0,467 a2	0,508 a2	0,533 a2	0,561 a2
CSD 1,5	0,006 a1	0,014 a2	0,050 a3	0,078 a2	0,126 a3	0,186 a3	0,255 a3	0,315 a3	0,365 a3	0,421 a3	0,441 a3	0,472 a3
CSC 0,5	0,004 a2	0,008 a1	0,015 a4	0,019 a3	0,032 a4	0,035 a4	0,057 a4	0,098 a4	0,159 a4	0,207 a4	0,232 a4	0,261 a4
CSC 1,0	0,003 a3	0,006 a3	0,011 a4	0,013 a4	0,032 a4	0,052 a5	0,106 a5	0,144 a5	0,196 a5	0,234 a5	0,258 a5	0,283 a5
CSC 1,5	0,003 a3	0,006 a3	0,009 a4	0,011 a4	0,018 a5	0,024 a6	0,052 a4	0,072 a6	0,101 a6	0,134 a6	0,158 a6	0,182 a6
Controle	0,004 a2	0,009 a1	0,040 a5	0,046 a5	0,110 a6	0,223 a7	0,394 a6	0,455 a7	0,511 a7	0,555 a7	0,584 a7	0,624 a7

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como é possível observar na Tabela 25, na primeira semana de ensaio os

tratamentos realizados com o CSD não apresentaram diferença significativa entre si, porém, todos apresentaram diferença significativa com relação a amostra controle. Quando se avalia os resultados dos ensaios com o CSC, observa-se que o CSC 0,5 não apresentou diferença significativa com relação a amostra controle, enquanto os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 foram iguais entre si e diferentes da amostra controle. Na segunda semana de experimento, observa-se que os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5 apresentaram resultados estatisticamente iguais, enquanto o CSD 0,5 apresentou resultado igual amostra controle e ao CSC 0,5. Os tratamentos CSC 1,0 e CSC 1,5 apresentaram resultados estatisticamente iguais. A partir da semana 8 observa-se que todos os tratamentos foram estaticamente diferentes entre si e entre a amostra controle.

Os dados da Tabela 25 estão apresentados na forma gráfica na Figura 48. Como é possível observar nesta Figura, os tratamentos que resultaram em uma menor lixiviação de boro foram CSC 1,5, CSC 0,5 e CSC 1,0. Os ensaios realizados com o CSD apresentaram eficiência da diminuição da lixiviação de boro quando comparado com a amostra controle, porém, esta eficiência foi menor quando comparada com o CSC. Esta diferença possivelmente também está relacionada ao potencial de aumentar a quantidade de água retida no solo. Segundo McBride (1994) o boro no solo encontra-se principalmente na solução do solo e é solubilizado lentamente. Como o CSD aumenta a quantidade de água disponível no solo e conseqüentemente a quantidade de solução do solo, há uma maior solubilização do boro e conseqüentemente uma maior lixiviação.

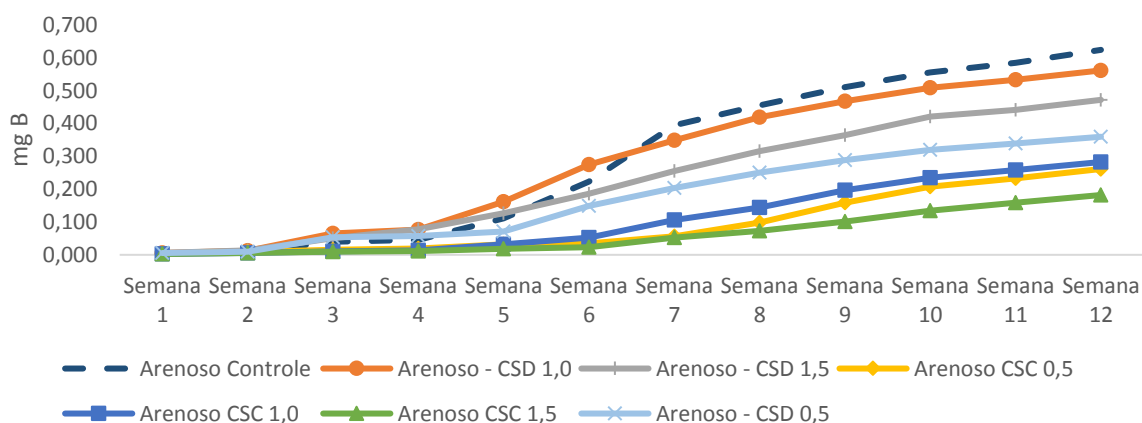


Figura 48: Teores de boro no extrato lixiviado das amostras de solo arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

Tabela 26: Concentração de boro no extrato lixiviado das amostras como solo argiloso.

Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
CSD 0,5	0,002 a1	0,004 a1	0,006 a1	0,009 a1	0,011 a1	0,014 a1	0,020 a1	0,024 a1	0,027 a1	0,034 a1	0,043 a1	0,052 a1
CSD 1,0	0,003 a2	0,005 a2	0,007 a2	0,010 a1	0,012 a1	0,016 a2	0,022 a2	0,027 a2	0,033 a2	0,041 a2	0,050 a2	0,059 a2
CSD 1,5	0,003 a2	0,006 a2	0,009 a3	0,012 a2	0,016 a2	0,021 a3	0,034 a3	0,043 a3	0,052 a3	0,062 a3	0,070 a3	0,083 a3
SC 0,5	0,002 a1	0,004 a1	0,006 a1	0,008 a1	0,010 a1	0,013 a1	0,017 a4	0,019 a4	0,023 a4	0,034 a1	0,044 a1	0,057 a2
SC 1,0	0,003 a2	0,006 a2	0,007 a2	0,009 a1	0,011 a1	0,012 a1	0,016 a4	0,019 a4	0,028 a1	0,033 a3	0,041 a1	0,055 a1
CSC 1,5	0,002 a1	0,004 a3	0,006 a1	0,007 a3	0,008 a3	0,010 a4	0,017 a4	0,022 a5	0,032 a2	0,039 a4	0,047 a4	0,056 a1
Controle	0,008 a3	0,012 a4	0,017 a5	0,020 a4	0,022 a4	0,033 a5	0,051 a5	0,057 a5	0,069 a6	0,076 a5	0,090 a5	0,106 a5

Resultados seguidos de mesma letra e número da coluna são significativamente iguais ao nível de significância de $\alpha=0,05$ conforme teste de t Student.

Como pode-se observar na Tabela 26, na primeira semana de ensaio todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes da amostra controle. Dentre os tratamentos com o CSD, observa-se que os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5 foram estatisticamente iguais entre si e iguais ao tratamento CSC 1,0. Já os tratamentos CSD 0,5, CSC 0,5 e CSC 1,5 também foram estatisticamente iguais entre si. A partir da semana 3, observa-se que os tratamentos CSD 1,0 e CSD 1,5 passaram a ser estatisticamente diferentes e a partir da semana 6 todos os tratamentos com o CSD foram diferentes entre si e diferentes da amostra controle. Os tratamentos com CSC 1,0 e CSC 1,5 não apresentaram diferença significativas entre si na semana 12 e foram estatisticamente iguais ao tratamento CSD 0,5, assim como o CSC 0,5 foi estatisticamente igual ao CSD 1,0.

Os dados da Tabela 26 estão apresentados na forma gráfica na Figura 49. Como é possível observar nesta Figura, todos os experimentos resultaram em uma menor quantidade de boro lixiviado, indicando o potencial de utilização destes materiais como condicionadores de solo. Os menores valores de boro lixiviado foram obtidos para os ensaios CSD 0,5, CSC 1,0 e CSC 1,5. Avaliando somente os resultados dos tratamentos com o CSD observa-se que o CSD 0,5 foi o que apresentou os menores valores de boro no lixiviado, enquanto o CSD 1,5 apresentou os maiores valores de boro, porém ainda sim menores que a amostra controle. Isto possivelmente ocorreu devido ao potencial de retenção de água do CSD, como

discutido anteriormente.

Os resultados dos ensaios de lixiviação em ambos os solos arenoso e argiloso permite inferir que o condicionador de solos desenvolvido apresenta eficiência na diminuição da lixiviação de boro no solo.

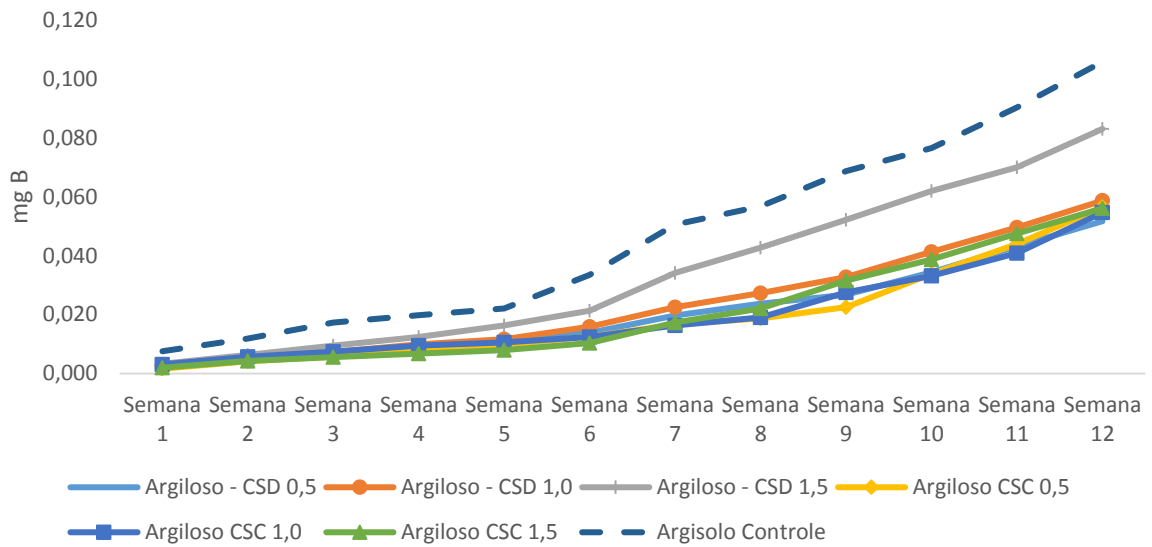


Figura 49: Teores de boro no extrato lixiviado das amostras de solo argiloso (Fonte: Do autor, 2016).

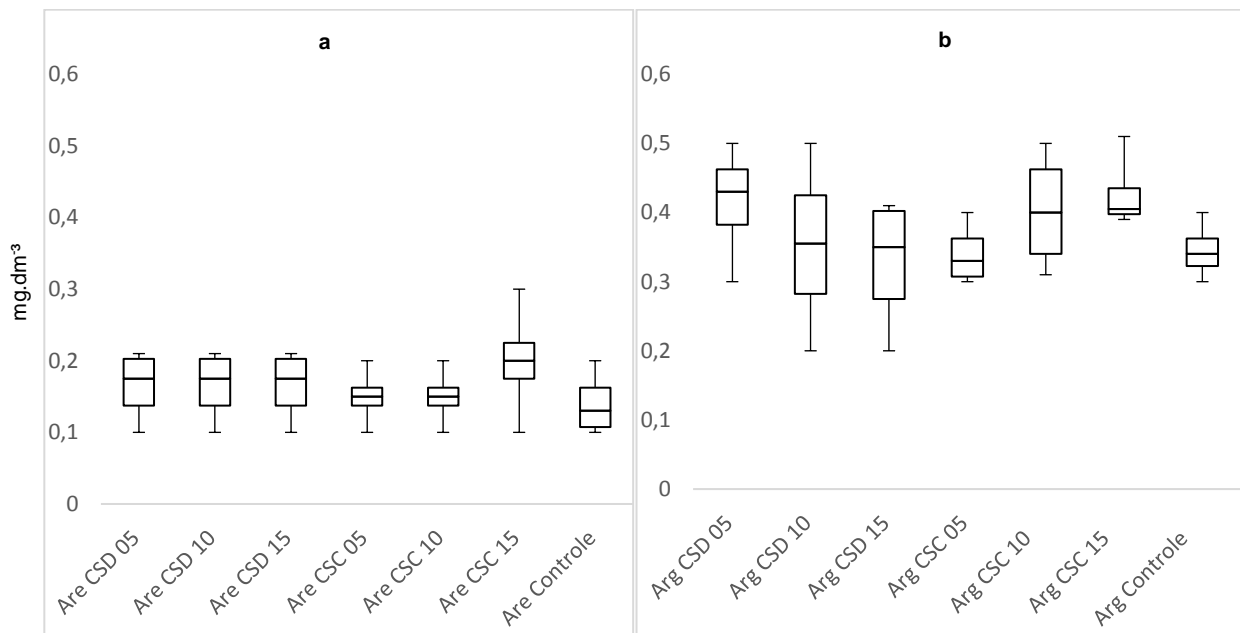


Figura 50: Teores de boro nas amostras de solos arenoso (a) e argiloso (b), após 12 semanas de experimentação (Fonte: Do autor, 2016).

A Figura 50 apresenta os valores de boro nas amostras de solo após a realização dos ensaios de lixiviação. Como é possível observar, em ambos os tipos de solo houve uma tendência de aumento na quantidade de boro no solo nas colunas onde houve a adição dos condicionadores. Pode se observar também nas amostras de solo arenoso houve uma menor variabilidade nos resultados quando comparado as amostras com solo argiloso, o que possivelmente está relacionado as características do solo argiloso.

Quando se avalia o experimento de lixiviação de maneira geral, observa-se que o CSD foi eficiente na diminuição da lixiviação de cálcio, potássio, enxofre, zinco e boro em amostras de solo arenoso e argiloso. A dosagem que apresentou os melhores resultados foi de 1,0% para os teores de cálcio, 1,5% para potássio e zinco e 0,5% para enxofre e boro. Vale ressaltar ainda que os resultados obtidos para o CSD foram melhores que o CSC na diminuição da lixiviação de cálcio e enxofre em ambos os tipos de solo, potássio em solo arenoso.

5.4 Avaliação da geração de Dióxido de Carbono em ensaio de respirometria

Os resultados da quantidade de CO₂ gerado em cada um dos ensaios está apresentado na Figura 51.

Como pode ser observado na Figura 51, quando se avalia a geração de CO₂ nos três experimentos utilizando somente solo argiloso, é possível evidenciar que a maior geração de CO₂ ocorreu no tratamento utilizando o CSD, seguido do tratamento com CSC. Observando as curvas de geração de CO₂, é possível notar que o CSD resulta em uma contínua produção de CO₂ até próximo ao dia 70, depois deste período, a quantidade acumulada deste gás tende a uma estabilização. Esta mesma avaliação para os tratamentos com CSC e com a amostra controle permite inferir que a estabilização da geração de CO₂ ocorreu próximo ao 21^o dia de experimento.

Quando se avalia os experimentos utilizando o solo arenoso, nota-se que a quantidade total de CO₂ gerada em cada tratamento foi menor que o seu equivalente quando realizado utilizando solo argiloso, sendo que, a maior quantidade de CO₂ foi gerada para o tratamento com CSD seguido do CSC. A estabilização da geração de gás ocorreu em 40 dias para o experimento com CSD e 9 dias para o CSC.

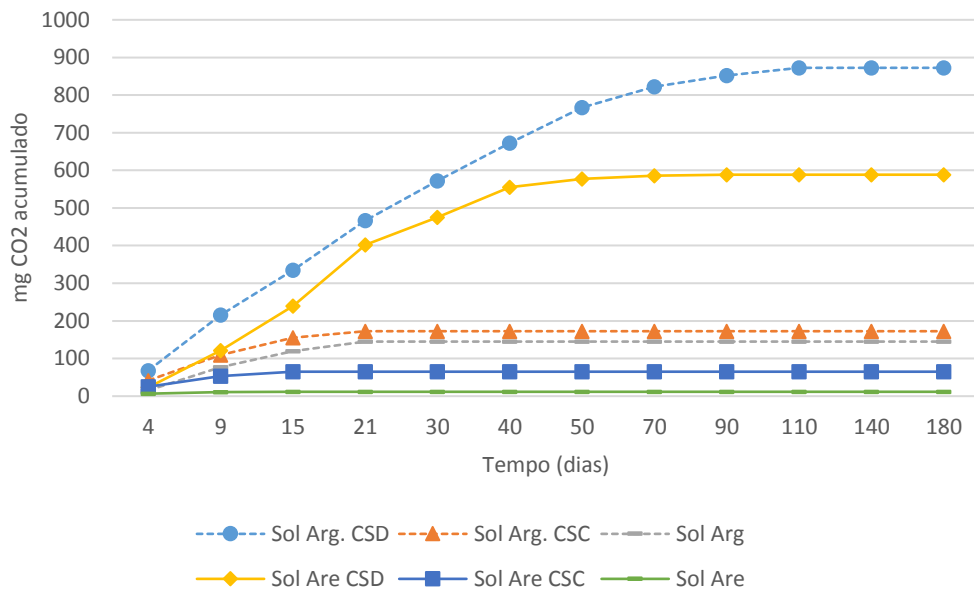


Figura 51: Quantidade de CO₂ acumulado para os tratamentos utilizando solo argiloso e arenoso (Fonte: Do autor, 2016).

Estes resultados permitem inferir que o CSD apresenta uma elevada taxa de geração de CO₂ quando aplicado ao solo quando comparado com o CSC, indicando que o CSD apresenta maior biodegradabilidade. A capacidade geração de CO₂ observada pelo CSD possivelmente está relacionada a sua composição, majoritariamente holocelulósica, conforme pode ser observado na Tabela 5. A celulose e hemicelulose presente no material sofrem uma degradação bacteriana aeróbia e anaeróbia, resultando na formação de dióxido de carbono, água e energia. Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade (2004) quando avaliou a geração de CO₂ em solos após a aplicação de lodo ativado. Este autor obteve uma geração de média de 1.636,47 mg C/kg solo em um experimento com adição de óxido de cálcio e cloreto férrico. Vale ressaltar que os testes de respirometria apresentam sensibilidade a diversas variáveis, como tipo de solo, composição microbiológica do solo, pH, temperatura e efeito de aditivos, o que influencia na cinética de reação e na geração de gás carbônico. Porém, pelos resultados de geração de CO₂ realizados nas mesmas condições, é possível inferir que o CSD é biodegradado em ambos solos avaliados e que a geração de CO₂ é significativamente superior à respectiva amostra controle.

Vale ressaltar que a biodegradação do CSD não implicaria em prejuízo a sua utilização como condicionador, já que, a degradação do material no solo ocorreria após o período de cultivo das principais culturas de grãos.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que é possível a obtenção de um condicionador de solos a partir da biomassa de *Magonia pubescens*. Os estudos realizados demonstraram que o condicionador de solos produzido apresenta uma elevada capacidade de retenção de água - CRA e capacidade de troca catiônica – CTC, atendendo a legislação em vigor para as garantias mínimas de qualidade para este tipo de produto e ainda se destacando frente aos condicionadores de solos comerciais.

Os ensaios de aplicação em dois tipos de solo, sendo um arenoso e outro argiloso, demonstraram que o condicionador de solos produzido apresenta um elevado potencial para aumentar a capacidade de retenção de água do solo, sendo observado um aumento de 47 e 71% na água disponível total nos solos argilosos e arenosos, respectivamente.

Os ensaios de lixiviação realizados demonstraram que o condicionador de solos desenvolvido apresentou eficiência na diminuição da lixiviação dos nutrientes cálcio, potássio e micronutrientes enxofre, zinco e boro em ambos os tipos de solo, evidenciando que além de aumentar o potencial de retenção de água, o material desenvolvido também apresenta significativo potencial para aumentar a capacidade de retenção de nutrientes no solo. O percentual de CSD adicionado ao solo que apresentou os melhores resultados foi de 1,0% em massa para os teores de cálcio, 1,5% para potássio e zinco e 0,5% para enxofre e boro.

Os ensaios de respirometria indicaram que o CSD resulta em uma maior geração de dióxido de carbono em solo argiloso e arenoso, quando comparado com o CSC e com as respectivas amostras controle, o que permite concluir que o CSD pode ser biodegradado quando adicionado ao solo.

Considerando os resultados obtidos para a capacidade de retenção de água, para a capacidade de troca catiônica e para a biodegradabilidade do CSD, pode-se concluir que o material desenvolvido apresenta elevado potencial para ser utilizado como condicionador de solos, podendo resultar na melhora das propriedades físicas, químicas do solo.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abedi, K.J., S.S. Eslamian and J. Asadkazemi. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. **Ecohydrol. Hydrobiol.** V. 8, p. 67-75. 2008

Ahmed, E. M. **Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review.** Journal of Advanced Research. v. 6 p.105–121. 2015

Al-Darby, A.M. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner, **Soil Technology**, v. 9 p. 19-28 1996

Almeida, B. G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. **Tese Doutorado.** Piracicaba: ESALQ/USP, 105p. 2008

Alleoni, L.R.F, Camargo, O. A., Modelos da dupla camada difusa de gouy-chapman e stern aplicados a latossolos ácricos paulistas. **Sci. Arg.** Piracicaba, v. 51, p.315-320, 1994

Almeida, S. P.; Proença, C. E. B.; Sano, S.M.; Ribeiro, J. F., Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina: Embrapa-CPAC, p. 231-234, 1998

Andrade, C. A. Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono na qualidade da matéria orgânica de um latossolo cultivado com eucalipto. **Tese de Doutorado**, Departamento de Agricultura, ESALQ, USP – SP, 2004

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma 14283: Resíduos em solo – Determinação da biodegradação pelo método respirométrico. Rio de Janeiro, Brasil, 1999

Atkins, P.W.; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 965 p. 2006

Barvenik, F. W. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. **Soil Science**, v.158, p.235-243, 1994

Blaskó Lajos. Soil science, Texto Eletrônico disponível em:

http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0032_talajtan/ch07s05.html

(acessado em 16/08/2015)

Beutler, A.N., Centurion, J.F., Souza, Z. M., Andrioli, I.; Roque, C. G. Retenção de Água em dois tipos de Latossolo sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p.829-834, Viçosa MG 2002

Brady , N.C., **Natureza e propriedade dos solos**, 7^a ed, Freitas de Barros, Rio de Janeiro, 1989

Brady, N.C. and R.R. Weil. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall Inc, New Jersey, 2014

BRASIL, Instrução Normativa nº 35, Especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Ministério da Agricultura e Pecuária, Brasília – DF, Brasil, 2006.

BRASIL, ANA & Embrapa/CNPMS. "Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - ano 2014". Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/>. Acesso em 02 de agosto de 2015.

BRASIL, **Manual de métodos de análise de solos** / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p. 2011

Bruand A., Hartmann C., Lesturgez G., Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours, **FAO-Conference**, , Khon Kaen, Thailand, 27th November – 2nd December 2005

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP. PIB Agro CEPEA-USP/CNA. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/> acessado em 27 de julho de 2015.

Cai, J., & Zhang, L. Unique gelation behavior of cellulose in NaOH/urea aqueous solution. **Biomacromolecules**, v. 7, p. 183, 2006

Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Severiano, E.C., Zeviani, W.M. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação do duplo van genuchten. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 77-86, Viçosa MG, 2011.

Carlesso, R., Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, p. 183-188, Santa Maria – RJ, 1995

Chang C, Zhang L. Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects (Review article). **Carbohydrate Polymer**. 84 (1), p. 40- 53. 2011

Chassapis K., Roulia M., Vrettou E., Fili D., Zervaki M. Biofunctional Characteristics of Lignite Fly Ash Modified by Humates: A New Soil Conditioner, **Bioinorganic Chemistry and applications** – V. 2010. 2010

COLIN, Emerson C. Pesquisa Operacional: 170 Aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. 1ª ed. LTC, 2007. 524 p.

David N.-S. Hon (ed). **Wood and cellulosic chemistry**. Marcel Dekker, New York, NY, 2000

Dexter, A.R., Czy, E.A., Richard, G. Reszkowska, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**. V. 143, p. 243-253. 2008

Essawy, A. H., Mohamed B.M., El-Hai F. A., Mohamed M. F., Superabsorbent hydrogels via graft polymerization of acrylic acid from chitosan-cellulose hybrid and their potential in controlled release of soil nutrients. **International Journal of Biological Macromolecules**. V. 89, p. 144–151. 2016

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Benjamín Labatut: A América Latina e o Caribe celebram o Ano Internacional dos Solos 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/270863/>. Acessado em 02 de agosto de 2015.

Fayos C. B., The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall, **Catena**, v. 31, p. 219-236, (1997)

Fink, H.-P., Philipp, B., Zschunke, C., Hayn, M., Structural changes of LODP cellulose in the original and mercerized state during enzymatic hydrolysis. **Acta Polymerica**. v. 43, p. 270-274, 1992

Fundo Monetário Internacional, World Economic Outlook (WEO), disponível em:

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/02/pdf/text.pdf>, acessado em 18/10/2015

Fink, H. P., Weigel, P., Purz, H. J., & Ganster, J. Structure formation of regenerated cellulose materials from NMMO-solution. **Progress in Polymer Science**, v. 26, p. 1473, 2001.

Garía E. I, Bali K. M., Márquez A. P. Calleros J. R, effect of the use of potassium polyacrylate clay soils for optimization of irrigation water in the valley of Mexicali, Baja California, Mexico, **International Journal of Current Research Vol. 6, Issue, 11, pp.9808-9809, November, 2014**

Gast, R. G. Standard free energies of exchange for alkali metal cations on Wyoming bentonite. **Soil Sci. Soc. Am.** Proc.33:37-41; 1969.

Giúmenes, Fernando Henrique Setti. Curva de retenção de água na avaliação das propriedades físicas do solo, **Dissertação de Mestrado**, ESALQ, Piracicaba – SP, 2012

Grose, Peter. Composted soil conditioner and mulch promote native plant establishment from seed in a constructed seasonal wetland complex. **Ecological Management & Restoration**, Vol 12 No 2 p. 151-154, 2011

Havlin, L. J., Beaton, D. J., Tisdale, S. L., Nelson, W. L, Soil Fertility and Fertilizers. 6th edition, Printice-Hall, New Jersey, USA, 1999

Huttermann A., Zommodi M., Reise K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought, **Soil & Tillage Research**. v. 50 (1999) 295-304

Jianzhong Ma, Xiaolu Li, Yan Bao. Advances in cellulose-based superabsorbent hydrogels, **Royal Society of Chemistry Adv.**, 2015, 5, 59745–59757

Jiang T., Teng L., Wei S., Deng L., Luo Z., Chen Y., Flanagan D. Application of polyacrylamide to reduce phosphorus losses from a Chinese purple soil: A laboratory and field investigation, **Journal of Environmental Management**, v. 91, p.1437 – 1445, 2010

Kabata Pendias, Alina. **Trace elements in soil and plants**, 4 th, Taylor and Francys group, 2010

Kadokawa, J., Murakami, M., & Kaneko, Y. A facile preparation of gel materials from a solution of cellulose in ionic liquid. **Carbohydrate Research**, v. 343, p. 769, 2008

Kumar A., Saha A., Effect of polyacrylamide and gypsum on surface runoff, sediment yield and nutrient losses from steep slopes. **Agricultural Water Management**, v. 98 p. 999–1004, 2011

Klemm, D, Philipp, B, Heinze T., **Comprehensive Cellulose Chemistry**, V. 2, WILEY, Toronto – CA, 1998.

Leite, Cibele M. B.; BERNARDES, Ricardo S.; OLIVEIRA, Sebastião A. de. Método Walkley-Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por choroume. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 8, n. 1, p. 111-115, Apr. 2004.

Li Y., Shao M., Horton R., Effect of Polyacrylamide Applications on Soil Hydraulic Characteristics and Sediment Yield of Sloping Land, **Procedia Environmental Sciences**. v. 11, p. 763 – 773, 2011

Liao, R., Wu, W., Ren, S., Yang P., Effects of Superabsorbent Polymers on the Hydraulic Parameters and Water Retention Properties of Soil. **Journal of Nanomaterials**. p. 11, 2016

Ma J., Lib X., Bao Y., Advances in cellulose-based superabsorbent hydrogels, **RSC Adv.**,v. 5, p. 59745–59757, 2015

Mangwandi C., Albadarin A. B., Tao L.J., Allen S., Walker G.M., Development of a value-added soil conditioner from high shear co-granulation of organic waste and limestone powder. **Powder Technology** v. 252, p. 33–41. 2014

McBride, M. B., **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 406p, 1994.

Miranda, A. M. Oliveira, E.M., Santos, K.C.F., Freire M.B.G.S., Almeida, B.G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.484-490, Campina Grande, PB, 2011

Navarro, I., T., C., Caracterização Microestrutural das Fibras Naturais: Etlingera elatior, Costus e Helicônia bihai. Dissertação de Mestrado. Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011

Neto, N.B.M., Custódio, C.C, Carvalho, P.R., Yamamoto, N.L., Cacciolari, C. Casca de Pinus: Avaliação da capacidade de retenção de água e da fitotoxicidade. **Colloquium**

Agrariae, V.1, n.1, p.19-24, 2005

Narjary, B., P. Aggarwal, A. Singh, D. Chakraborty and R. Singh. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma** v. 187–188, p. 94–101, 2012

Nunes, W. A. G. A., **A troca catiônica sob abordagem termodinâmica: fatores intervenientes e as equações de ação de massas**, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados – MS, 2005

Oliveira, C.M.R. de; Iacomini, M.; Alquini, Y.; Gorin, P.A.J. Microscopic and NMR analysis of the external coat from seeds of *Magonia pubescens*. **New Phytologist**. v.152, p.501-509, 2001

Pérez-de-los-Reyes C., Ortíz-Villajos J.A. A., García Navarro F.J., S. Bravo Martín-Consuegra S. B., Jiménez C. Sánchez, Etesona D. C., Jiménez-Ballesta R., Changes in water retention properties due to the application of sugar foam in red soils, **Agricultural Water Management** 98, p. 1834–1839, 2011

Van Wijk, A.L.M., Wesseling, J., Agricultural water management: proceedings of a symposium on Agricultural Water Management Arnhem, Netherlands, 18-21 June 1985

Resende, M.; Curi, N., & Santana, D. P. Pedologia e Fertilidade do solo: Interpretações e aplicações. Brasília – DF. MEC-ESALPOTAFÓS. 81p. 1988.

Rabat, N. E., Hashimb, S., Majidb, R. A., Effect of Different Monomers on Water Retention Properties of Slow Release Fertilizer Hydrogel. **Procedia Engineering**, 148, 201 – 207, 2016

Rashad R T, Hussien R A. Studying the use of cellulose, silica and lignin extracted from rice straw as sandy soil conditioners, **IJAAR**, Vol. 3, No. 12, p. 21-35, 2013

Seybold, C.A.. Polyacrylamide review: soil conditioning and environmental fate. Commun. **Soil Sci. Plant Anal.**, v. 25, p. 2171–2185, 1994

Raij, B. V., Peech, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v. 36, p. 587-593, 1972.

Raij, B. V. Determinação do ponto de carga zero em solos. **Revista Científica do**

Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. v. 32, nº 18, pág. 337-347, 1973.

Richards, L.A., Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. **Soil Science** v. 66, p. 105–110, 1948.

Richards, L. A., Physical conditions of water in soil. In: C. A. BLACK, D. D. EVANS, J. L. WHITE, L. E. ENSMINGE and F. E. CLARK, ed. *Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison, **ASASSSA**, p.128-152,1965.

Ribeiro, C. A., Guimarães, P. T. G, Alvarez, V.H., **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - Quinta Aproximação**. Viçosa, MG, 1999.

Salgado-Labouriau, M. L. A semente de *Magonia pubescens* St. Hill: Morfologia e germinação. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Brasil, v. 45, n.3/4, p.501-537, 1973

Sannino, A., Christian, D., Martha, M., Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications. **Materials**, v. 2, p. 353-373, 2009

Sondaterra, <http://www.sondaterra.com/>, acessado em 02/03/2015

Sposito, Garrison. **The surface chemistry of soils**, Oxford University Press New York Clarendon Press Oxford, 1984

Thomas, D.S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting, **Forest Ecology and Management** v. 255, p. 1305–1314, 2008

Vieira, Ana Caroline Martins. Hidrogéis superabsorventes de biomassa do cerrado: síntese e Caracterização. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de Brasília, Brasília –DF, Brasil, 2015

Van Genuchten: A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, **Soil Science Society of Journal**. v. 44: p. 892-898. 1980

Yu, J., Shainberg, I., Yan, Y.L., Shi, J.G., Levy, G.J., Mamedov, A.I. , Superabsorbents and semiarid soil properties affecting water absorption, **Soil Science Society of America Journal**, 75 (6), pp. 2305-2313, 2011

Yang, L., Yang Y., Chen Z., Guo C., Li S. Influence of super absorbent polymer on soil

water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering, **Ecological Engineering**, v.62, p. 27–32 2014

Williamson, R. F., Kriz, J. G., Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and soil gaseous composition. **American Society Agricultural Engineering Transformation**, v. 13, p. 216-220. 1970

Wang Ai-Ping, LI Fa-Hu, YANG Sheng-Min, Effect of Polyacrylamide Application on Runoff, Erosion, and Soil Nutrient Loss Under Simulated Rainfall, **Pedosphere**, v. 21(5), p. 628–638, 2011

Waly, A. El-Kamarany, M.F., Shaban, A.M., Bakry, A.B. e Elewa, T.A. Utilization of hydrogel for reducing water irrigation under sandy soil condition, Research Journal of Pharmaceutical, **Biological and Chemical Sciences**, v. 6, p. 1033-1039, 2015