

**Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo****Chemical and physical indicators of soil quality**

DOI:10.34117/bjdv6n7-431

Recebimento dos originais: 15/06/2020

Aceitação para publicação: 17/07/2020

**Michelangelo de Oliveira Silva**

Doutor em Ciência do Solo

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: michelangelo.silva@ifal.edu.br

**Cássio Laurentino Veloso**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: cassioveloso2020@gmail.com

**Denisson Lima do Nascimento**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: denisso2011\_@hotmail.com

**Jailson de Oliveira**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: jailson.2110@gmail.com

**Dalbert de Freitas Pereira**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: dalbert.freitas@gmail.com

**Kleyton Danilo da Silva Costa**

Doutor em Melhoramento Genético de Plantas

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó – Piranhas/AL. CEP: 57460-000, Brasil

E-mail: kd.agro@gmail.com

**RESUMO**

O solo é considerado um recurso natural, tornando-se de extrema importância, pois possui a capacidade de promover a produção de alimentos, sendo fundamental na proteção ambiental. A realização de estudos sobre a qualidade do solo têm sido cada vez mais frequentes, para esta avaliação, existe um amplo e complexo conjunto de indicadores do solo que podem ser utilizados.

Assim, o objetivo desta revisão bibliográfica é apresentar uma discussão concisa acerca dos conceitos de qualidade do solo e de alguns indicadores, dando ênfase aos físicos e químicos. A avaliação da qualidade do solo, que é uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas, contribui para a compreensão dos limites de cada solo, assim como leva a esclarecer quais são as medidas necessárias para a sua recuperação em caso de degradação. A seleção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo. Um bom indicador deve ser capaz de refletir o funcionamento do ecossistema, identificar as formas de perturbações, ser economicamente viável e ter facilidade de monitoramento. Os indicadores físicos e químicos de qualidade de solo possibilitam o conhecimento de um determinado local e do processo de transformação, contribuindo assim com o manejo a ser adotado.

**Palavras chaves:** Conservação, Recurso natural, Sustentabilidade, Manejo.

## **ABSTRACT**

The soil is considered a natural resource, becoming extremely important, as it has the ability to promote food production, being fundamental in environmental protection. Studies on soil quality have been increasingly frequent, for this evaluation, there is a wide and complex set of soil indicators that can be used. Thus, the objective of this literature review is to present a concise discussion about the concepts of soil quality and some indicators, emphasizing physical and chemical. The evaluation of soil quality, which is a combination of physical, chemical and biological properties that contributes to the understanding of the limits of each soil, as well as leads to clarify what are the necessary measures for its recovery in case of degradation. The way of cultivating the soil reflects the growing concern with environmental quality, with the preservation of life and the maintenance environmental conditions for future generations, which causes several changes in the way of cultivating the soil, with the objective of reducing human action on the environment, being possible its preservation. The selection of indicators is fundamental for the evaluation of soil quality. A good indicator should be able to reflect the functioning of the ecosystem, identify the forms of disturbances, be economically viable and have ease of monitoring. The physical and chemical indicators of soil quality allow the knowledge of a given site and the transformation process, thus contributing to the management to be adopted.

**Key words:** Conservation, Natural Resource, Sustainability, Management.

## **1 INTRODUÇÃO**

O solo é a base de sustentação de todo habitat vegetal e animal, decorrente da interação dos fatores de sua formação: clima, relevo, organismos e tempo sob um material de origem, garantindo a sustentação da vegetação. O solo é considerado um recurso natural, tornando-se de extrema importância, pois possui a capacidade de promover a produção de alimentos, sendo fundamental na proteção ambiental e exercendo funções importantes, como: meio para o crescimento vegetal, estoca e promove a ciclagem de nutrientes e a regulação do fluxo da água para o lençol freático.

A realização de estudos sobre a qualidade do solo têm sido cada vez mais frequentes. Isso é evidente pelo fato de que se tem observado que existe diversos fatores que podem ocasionar a degradação do solo, bem como elevar a perda da produtividade de uma determinada cultura, não

podendo ser deixado de lado, uma vez que os cuidados com o ambiente e a busca por uma máxima produção são de interesse de todos.

Existe um amplo e complexo conjunto de indicadores do solo que podem ser utilizados, os quais podem ser químicos, físicos e biológicos. A avaliação da qualidade do solo por meio desses indicadores tem se tornando um valioso instrumento, cada vez mais eficaz para definir a capacidade do sistema de se manter e de viabilizar-se no presente e no futuro. Neste contexto, a avaliação conjunta dos atributos físicos e químicos do solo é importante para identificar prováveis causas da falta de sustentabilidade de cultivos sucessivos e averiguar a qualidade daquele solo. Assim, o objetivo desta revisão bibliográfica é apresentar uma discussão concisa acerca dos conceitos de qualidade do solo e de alguns indicadores de qualidade físicos e químicos.

## **2 QUALIDADE DO SOLO**

O conceito de qualidade do solo é complexo e controverso, apresentando diversas definições e ainda sem determinação dos padrões de limites e regulamentações (ARAÚJO et al., 2012). Por isso, esse conceito é extremamente dependente de fatores externos, a qualidade do solo não pode ser medida diretamente, podendo ser inferida a partir da medição de atributos das plantas, físicas, químicas e biológicas do solo e pela comparação das propriedades entre solos sob diferentes usos e práticas de manejo (ARAÚJO et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012).

As propriedades medidas para inferências sobre a qualidade do solo são normalmente citadas como indicadores ou índices da qualidade do solo e estes são geralmente divididos em físicos, químicos e biológicos de acordo com os atributos do solo analisados. Os indicadores de qualidade do solo, sob nenhuma hipótese devem ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo (FREITAS et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012).

A avaliação da qualidade do solo contribui para a compreensão dos limites de cada solo, assim como leva a esclarecer quais são as medidas necessárias para a sua recuperação em caso de degradação (BRADY; WEIL, 2013). Essa avaliação não deve focar apenas a produtividade, pois esse objetivo leva à degradação desse recurso. Uma avaliação correta deve visar à qualidade ambiental, à sustentabilidade agrônômica e à viabilidade socioeconômica (MUKHERJEE; LAL, 2014).

## **3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**

A seleção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo. Estes referem-se a atributos que influenciam a capacidade do solo para realizar a produção de culturas ou funções ambientais (FERNANDES, 2019). De acordo com Luz (2017), a ciência utiliza vários métodos de

avaliação da qualidade do solo, todos baseados em indicadores, podendo ser físicos, químicos e biológico.

Os indicadores de qualidade do solo são atributos mensuráveis, ou seja, podem se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa (SILVA, 2019), sendo capazes de avaliar alterações ocorridas num dado ecossistema. O estudo destes atributos ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo no solo (FREITAS et al., 2017).

Niero et. al (2010) destacam que os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, são modificados pelas práticas de seu manejo, resultando na perda de qualidade e a produtividade agrícola (CHAVES et al., 2012). Segundo Freitas et al. (2017), o estudo das propriedades químicas do solo é capaz de possibilitar a compreensão de qual a fertilidade presente na área, permitindo observar possíveis modificações sofridas em função do manejo adotado na área. De acordo com Cardoso et al. (2013), o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e os níveis de nutrientes são os principais indicadores químicos utilizados na avaliação da qualidade do solo. Já os atributos físicos mais utilizados são a densidade, taxa de infiltração de água, macro, micro e porosidade total, condutividade hidráulica e resistência à penetração (KAZMIERCZAK, 2018).

## **4 INDICADORES QUÍMICOS E FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO**

### **4.1 INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO**

Os indicadores físicos utilizados para avaliar a qualidade do solo são a textura, estrutura, agregação das partículas, densidade, condutividade hidráulica, resistência a penetração, taxa de infiltração de água e porosidade. Essas características estão relacionadas com as propriedades físicas inerentes ao solo, tais com a textura, superfícies específicas, densidade do solo e constituintes (REICHARDT; TIMM, 2012).

Nesse sentido, a exemplos de solos arenosos que apresentam maior capacidade de condução hidráulica devido a maior quantidade de macroporos e menor força de adsorção de água quando comparado a solos argilosos (BRADY; WEIL, 2013). Além disso, o manejo pode modificar a densidade e a porosidade do solo e, dessa forma, alterar a condutividade hidráulica dificultando a infiltração da água resultando na elevação do escoamento superficial, acarretando a erosão (IBRAHIM; ALIYU, 2016).

A textura do solo é uma propriedade empregada na classificação pedogenética e tem a capacidade de influenciar outros fatores tais como a densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica saturada. Entretanto, não é um indicador recomendado por não sofrer alterações pelo manejo, inviabilizando comparações (STEFANOSKI et al., 2013; CHERUBIN et al., 2016). Sendo o volume de poros, a densidade do solo, resistência a penetração e a condutividade hidráulica

saturada, indicativos físicos de crescimento das raízes das plantas e a disponibilidade de água no solo que sofrem alterações preocupantes (CARTER, 2006).

Cardoso et al. (2011) ressaltam que os índices de avaliação da qualidade do solo possibilitam analisar alterações nas propriedades decorrentes da compactação do solo causadas pela ação antrópica em ecossistemas naturais, principalmente de característica agrícola, permitindo caracterizar a situação atual e alertar para riscos futuros.

#### 4.2 TEXTURA DO SOLO

A textura é um indicador físico do solo que relaciona proporções das partículas primárias (areia, silte e argila) que são influentes na resistência do solo, dinâmica da água, tração empregada no manejo, e os processos ecológicos, tais como a ciclagem de nutrientes e trocas de íons (STEFANOSKI et al., 2013).

Por se tratar de uma característica pouco alterada pelo manejo não é um indicador recomendado para comparar sistema de manejo do solo (CHERUBIN et al., 2016). Entretanto, o conhecimento da propriedade textural é de suma importância para obter informações da capacidade de resistência e a resiliência a determinadas práticas agrícolas (SILVA et al., 2010).

Solos argilosos são formados por partículas de menor tamanho, possuem mais microporos, baixa capacidade de infiltração e maior capacidade de armazenamento da água (BRADY; WEIL, 2013; HE et al., 2014). Segundo NRCS (2014) os solos argilosos têm taxa de respiração favorável para que a matéria orgânica do solo seja protegida da decomposição e mineralização por amonificação do nitrogênio orgânico.

Enquanto solos com o teor elevado de areia possuem mais macroporos, o que facilita o movimento da água, possibilitando que ocorra baixa retenção de água nos poros e maior infiltração de água (REICHARDT; TIMM, 2012;). Entretanto, esses solos têm maior propensão em sofrer perdas de cátions trocáveis para as camadas mais profundas pela ação de intensas precipitações pluviométricas (RONQUIM., 2010; HENRIQUE., 2019) e por apresentarem pouca coesão entre as partículas de areia, são sensíveis a erosão e, portanto, requerem manejo adequado (ZONTA, 2011). Desse modo, a textura do solo é uma característica que não sofre variações com o manejo, mas é um importante atributo para as demais características do solo, sendo um indicador utilizado para auxiliar o entendimento do movimento da água no solo, a capacidade de desmobilizar os nutrientes do solo e a resistência ao manejo.

### 4.3 ESTRUTURA

A estrutura do solo refere-se ao arranjo de areia, silte, argila e matéria orgânica. A força de atração entre essas partículas é responsável pela formação de agregados que somados geram grandes massas estruturais maciças de formato granular, laminar, prismática ou em bloco (BRADY; WEIL, 2013).

É uma propriedade alterada pelo manejo e pode ser avaliada segundo as variáveis de estabilidade dos agregados, tamanhos e formas que podem estar presentes no solo. A cobertura vegetal e o excesso de uso de maquinário podem provocar alterações nas características estruturais do solo e impactar negativamente na infiltração, qualidade e disponibilidade de água e ar para as plantas e animais (PANACHUKI et al. 2011).

Entretanto, Conte et al. (2011) ressaltam que solos compactados podem apresentar grande estabilidade dos agregados e ao mesmo tempo baixa porosidade do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Portanto, é necessário avaliar a estabilidade do solo em conjunto com outros atributos físicos como a densidade do solo e porosidade para auxiliar o manejo do solo.

#### 4.3.1 Agregação Das Partículas

Os agregados do solo estão relacionados com a aproximação das partículas pelo crescimento das raízes, movimento da fauna, expansão durante o umedecimento do solo, contração pela secagem, floculação e estabilização gerada pelos agentes cimentantes (SALTON et al., 2008). A classificação dos agregados em cinco grupos de acordo com o tamanho: menores que 2  $\mu\text{m}$ , de 2 a 20  $\mu\text{m}$ , de 20 a 250  $\mu\text{m}$ , de 250 a 2 mm e maiores que 2 mm, sendo microagregados aqueles que possuem o tamanho menor que 250  $\mu\text{m}$  e como macroagregados os superiores (TISDALL; OADES.,1982).

Uma maneira de avaliar a qualidade física do solo é por meio da análise da estabilidade dos agregados, tendo como referência positiva os solos que possuem agregados organizados de forma a garantir estabilidade e resistência a ação erosiva da água e do vento. É um indicativo fundamental para interpretação do comportamento físico dos solos frente a ação erosiva (SAYGIN et al., 2012).

Fageria (2012) e Franchini et al. (2012) relataram que ações que visem diminuir o revolvimento do solo ou o não revolvimento da superfície vegetal tem a capacidade de promover a melhoria dos agregados do solo em razão do aumento do teor da matéria orgânica auxiliar na agregação e estabilidade das partículas e, conseqüentemente, proteger contra a ação desagregadora dos ventos e das chuvas.

#### 4.3.2 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo é a relação entre a massa e o volume ocupado. O aumento da densidade pela ação é caracterizado pela diminuição dos espaços porosos em função da aplicação de força externa,

dificultando a penetração de raízes no solo, sendo assim um indicador sensível a variações de acordo com o manejo empregado (MOTA et al., 2013). A densidade de um solo pode ser influenciada por vários fatores, dentre eles, o tipo de cobertura vegetal, resíduos presentes na superfície do solo e a matéria orgânica; o que influencia na qualidade física do solo diante das intemperes externa (FERREIRA 2016)

A matéria orgânica na superfície dos solos é responsável pela diminuição da densidade do solo e à medida que a profundidade é aumentada os teores de matérias orgânicas podem sofrer diminuições. Assim, maiores densidades são resultantes de maior profundidade, sendo uma limitação física para o desenvolvimento das raízes das culturas (MARTINS; AUGUSTO, 2012; BRADY; WEIL, 2013).

A densidade do solo tem sido um parâmetro importante na avaliação da ação da pecuária extensionista sobre o solo. Segundo Araújo et al. (2019) ao estudar os atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia oriental em pastagem, a partir da análise da densidade de solo foi possível entender como o pisoteio tem degradado o solo quando comparado a densidade do solo da área de pasto com de mata nativa. Araújo et al. (2011) ao estudar o impacto da conversão de áreas de florestas em pastagem ressaltaram que o aumento da densidade pela pecuária elevou 26% em razão da crosta compactada do solo, além de perda do horizonte A pela erosão.

### **4.3.3 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA**

A condutividade hidráulica é uma propriedade física de um meio poroso que determina quantitativamente o movimento da água através deste meio (KLEIN, 2012).. Dentre as variáveis que influenciam o fluxo de água, a condutividade hidráulica destaca-se, sendo um parâmetro que representa a facilidade com que o solo/rocha transmite água (Reichardt,1996; Pinheiro et al, 2018). De tal forma que este indicador é importante para o dimensionamento de sistemas de drenagem agrícola, que por sua vez, atuam na retirada do excesso de água e sais (Suszek et al, 2019). A Condutividade Hidráulica do Solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água, seja para estudar o transporte de nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente.

### **4.3.4 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO**

A utilização dos diferentes sistemas de manejo ocasiona, principalmente, alterações na estrutura do solo, as quais, a longo prazo, podem estar associadas à formação de camadas compactadas (Lima et al., 2013). A resistência à penetração refere-se à compactação do solo e é capaz de justificar o motivo pelo qual as plantas encontram dificuldades de se desenvolver (Silva et al, 2020). Dessa forma, o estudo da resistência a penetração pode ser indesejável, pois essa resistência potencializa



problemas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas, diminuindo assim a produtividade das mesmas (SILVA et al, 2012). Esse indicador de resistência à penetração, permite a identificação de camadas compactadas, bem como mudanças nas propriedades físicas do solo ao longo dos diferentes horizontes, mudanças essas que podem auxiliar na determinação da vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos (REICHERT et al., 2010).

O conhecimento da resistência a penetração do solo é um parâmetro importante para ser pesquisado porque interfere no desenvolvimento das plantas que tem o crescimento das raízes afetadas, no fluxo, transporte e armazenamento de água e nutrientes, importante para o manejo de áreas, como também, na determinação da qualidade e na classificação dos solos.

#### **4.3.5 TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA**

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo (Nery et al. 2017). A taxa de infiltração de água pode ser definida quando a água flui sobre o solo e percola o seu perfil. Durante o processo de entrada de água no solo, a velocidade de infiltração tende se tornar estável ao longo do tempo, instante em que o solo entra em estado de saturação (Vilarinho et al, 2019).

O processo de infiltração é de importância prática por que, muitas vezes, determina o balanço de água na zona das raízes. Neste sentido, os testes de infiltração indicam a capacidade do solo em receber e armazenar determinado volume de água ao longo do tempo (ROSS e FIERZ, 2009). As condições da superfície do solo e de organização das suas características físicas ao longo do perfil estão entre os fatores que afetam a dinâmica do processo de infiltração de água (GONÇALVES e MORAES, 2012; SANTOS et al., 2014). As características intrínsecas dos solos como a textura e estrutura, estão diretamente ligados e que contribuem para a regulação da capacidade de armazenamento de água, bem como a sua movimentação no solo. O estudo do comportamento do processo de infiltração pode ser um indicador de impacto de alteração do uso do solo, pois espera que, alterando-se o uso, modifique-se o grau de impermeabilização da superfície alterando as condições de infiltração.

#### **4.3.6 POROSIDADE DO SOLO**

A porosidade do solo está diretamente ligada ao desempenho dele, já que trabalha em conjunto com a textura e com as estruturas, tendo uma grande influência sobre a drenagem, a retenção do perfil e a aeração (CARMO et al., 2018). O conhecimento da porosidade total é importante para se entender o movimento e a retenção de água, ar e solutos no solo, entre outros aspectos (Almeida et al, 2017). Em solos arenosos prevalece macroporos, enquanto em solos argilosos a tendência é predominar



microporos. Segundo Reichardt e Timm (2012) poros superiores a 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro constituem os macroporos e são responsáveis pelo livre movimento da água e aeração do solo, enquanto os poros de diâmetro inferior compreendem a microporosidade do solo e possuem a capacidade de retenção da água do solo, auxiliando no armazenamento de água no solo.

O conhecimento dessa propriedade do solo nos auxilia a compreender manutenção de solos agriculturáveis, como a passagem de maquinários pesados compacta e reduz a porosidade do solo, e a realização de balanços hídricos, pois a porosidade influencia diretamente na infiltração de água no solo.

#### 4.4 INDICADORES QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO

O pH do solo, a capacidade de troca catiônica, a matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes são os principais indicadores químicos da qualidade e estão relacionados com a capacidade do solo em proporcionar o crescimento e desenvolvimento das plantas a partir do fornecimento de nutrientes (CARDOSO et al., 2013).

Esses indicadores auxiliam para identificação da capacidade do solo na sustentabilidade dos biomas, por meio da ciclagem dos nutrientes. Além disso, esses parâmetros estão correlacionados ao rendimento das culturas, permitindo analisar e determinar ações de correção no solo por meio de adubações e calagens para prover condições para produção (CARDOSO et al., 2013).

Entre os Indicadores químicos, para avaliar a capacidade disponibilizar nutrientes são levados em conta os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), no qual são facilmente mensuráveis que estão ligados a nutrição das culturas. A saturação por base (V%) expressa a porcentagem que os elementos essenciais tais como o Ca, Mg e K, estão ocupando a troca de cátions. Quando a saturação por base se apresenta baixa ocorre maior absorção de elementos tóxicos como o  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^{+}$  (TAIZ; ZEIGER, 2013).

##### 4.4.1 o pH do solo

O pH do solo é um parâmetro de grande importância, notadamente para os solos das regiões tropicais. Grande parte dos solos brasileiros apresenta problemas de acidez e, como principal consequência, pode ocorrer à presença de alumínio e manganês em quantidades tóxicas para as culturas. Aliada à elevada saturação de alumínio, ocorre deficiência de cálcio e magnésio, entre outros. Diante destes problemas, o sistema radicular das plantas desenvolve pouco, limitando a absorção de água e nutrientes (MELLONI et al., 2008). Na contramão da maioria dos solos brasileiros, os da região semiárida tendem a apresentar pH alcalino após sucessivos cultivos, devido a quantidade de bicarbonato presente na água usada na irrigação (Maia, 2013).

O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente apresentam: pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes (LOPES e GUILHERME. 2007).

Diversos efeitos do pH do solo são relevantes para as plantas: disponibilidade dos elementos essenciais à nutrição, solubilidade de elementos que podem ter efeito tóxicos, atividade de microrganismos, favorecimento ou não de doença, habilidade de competição entre diferentes espécies de plantas e condições físicas do solo (NOVAES et al., 2007).

#### **4.4.2 matéria orgânica**

A matéria orgânica do solo pode ser definida como todo material orgânico de origem biológica, vivo ou morto que se encontra no solo (PRIMO et al., 2011). Isso constitui as raízes de plantas e organismos do solo que representa a parte viva com aproximadamente 4% do total, e a parte morta representa a matéria macrorrgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas (PRIMO et al., 2011).

As alterações dessas características, em decorrência das práticas de manejo podem ser identificadas somente anos após o emprego periódico destas, de maneira que, se o efeito for pontual, dificilmente a matéria orgânica poderá ser utilizada como um indicador dos impactos promovidos (LISBOA et al., 2012)

Essa matéria orgânica do solo tem maior ocorrência nas camadas mais superficiais, diminuindo à medida que se aprofunda no solo, assim como os ácidos que a constituem. E esse efeito depende da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, entre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de matéria orgânica do solo tende em direção a um valor de equilíbrio em áreas sob vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013).

Segundo Oliveira et al. (2017), o tipo de cobertura vegetal, espécie, suas características fisiológicas, relação C/N e as condições de temperatura e umidade do meio, irão determinar não só a qualidade da matéria orgânica no solo existente, como também a qualidade e quantidade da população da microbiota.

#### **4.4.3 capacidade de troca de cátions (CTC)**

A capacidade de troca de cátions (CTC) é a quantidade de cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) que um material pode reter. A maioria dos nutrientes utilizados pelas plantas e micróbios são absorvidos na sua forma iônica, portanto descrevem a fertilidade do solo (resultado de cargas de superfície que atraem). (LEE et al., 2010; GAI et al., 2014). Dessa maneira, a CTC depende da

estrutura (grupos funcionais fornecendo cargas de superfície) e da área da superfície (torna as cargas superficiais mais acessíveis) (GUL et al., 2015).

Esse potencial de troca iônica dos solos representa, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos ao solo através da aplicação de fertilizantes, corretivos e resíduos (RONQUIM, 2010).

De acordo com Roquim (2010) ressaltando a fertilidade do solo, um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions sem forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e as calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação.

#### **4.4.4 saturação por bases**

Sendo influenciada pela acidez e variando de acordo com o tipo do solo (LOZADA, 2015), a saturação por bases é a razão entre o total de bases e o teor encontrado na amostra em relação percentual com a CTC pH 7,0, ou CTC total (ASMAR JÚNIOR, 2019). De acordo com Lepsch (2011), os solos de alta saturação são chamados eutróficos e apresentam V% >50% e são considerados os mais férteis, enquanto que os de baixa são chamados de distróficos, considerados como menos férteis, possuindo V% <50%.

A saturação por bases é um dos métodos mais utilizados para a correção de acidez do solo, através da determinação da necessidade de calagem. Na agricultura, a calagem pode contribuir no aumento da produtividade, na qualidade e no estabelecimento dos plantios florestais (Carlos et al. 2014).

Santiago et al. (2018), estudando os atributos do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico e convencional no Semiárido do Rio Grande do Norte, destacou que a Saturação por Bases é um excelente indicador de avaliação da fertilidade do solo, por reunir em termos estequiométricos macronutrientes (Ca, Mg e K) essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal. O teor da apresentação de saturação por bases contribui com a caracterização de uma área e com o manejo a ser seguido. Um território nativo, por exemplo, tende a ter uma saturação por bases baixa devido ao não emprego de produtos químicos na área, preservando assim, as características do ambiente.

#### **4.4.5 Percentual de sódio trocável (PST)**

De acordo com Gheyi et al. (2010), o Percentual de Sódio Trocável (PST), é o percentual de Na<sup>+</sup> em relação à capacidade total de troca de cátions, no qual, os solos são classificados como salino-sódicos quando a PST é maior ou igual a 15%. Segundo Albuquerque et al. (2018), esse valor é de

grande importância, principalmente em trabalhos com solos salinizados, pois estima a quantidade de sódio adsorvido na solução do solo. O processo de salinização promove a formação de solos sódicos, e é constituído por dois subprocessos, sendo elas a sodificação e dessalinização (PETROTTI et al., 2015). O excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, ocasiona o desequilíbrio nutricional às culturas, além de diminuir absorção de água e infiltração nas plantas e no solo, contribuindo com a degradação do mesmo.

Albuquerque et al. (2018), numa análise genérica entre os Percentual de Sódio Trocável, observou que os solos com PST mais elevadas apresentam também um pH elevado, devido a esse fato, os solos com essas PST necessitaram de uma dose maior de ácido para promover a redução de seu pH para aproximadamente 6,5, enquanto que PST com valores intermediários necessitaram de uma dose menor. O PST e o pH são indicadores de grande importância para a avaliação da qualidade do solo.

#### **4.4.6 Processos químicos das enzimas**

As enzimas presentes no solo são de fundamental importância, agindo na catalisação de inúmeras reações. As atividades enzimáticas e as atividades dos microrganismos têm sido sugeridas como indicadores potenciais de qualidade do solo, uma vez que elas respondem rapidamente a mudanças nas práticas de manejo (PANDEY et al., 2014; RASOOL et al., 2014). A uréase é uma enzima que tem origem vegetal e microbiana e é responsável pela transformação da molécula de ureia em amônia e gás carbônico (CARLOS, 2017). Segundo Balota (2017), essa enzima é fundamental no solo, pelo fato de ser responsável pela hidrólise da ureia que é o principal fertilizante nitrogenado utilizado nas culturas agrícolas, principalmente nas gramíneas.

A fosfatase ácida é fundamental na mineralização do fósforo uma vez que catalisa a hidrólise de fósforo orgânico a fósforo inorgânico (REJSEK et al., 2012). Buns et al. (2013), destacam que a grande parte das fosfatases é sintetizada por microrganismos; porém, a fosfatase ácida também pode ser produzida por plantas.

A  $\beta$ -glucosidase é uma das enzimas mais importantes na avaliação da qualidade do solo devido ao seu papel na quebra de moléculas de celulose (CARLOS, 2017). A análise dos indicadores físicos e químicos, permite que o manejo seja avaliado, e práticas conservacionistas sejam adotadas mediante os resultados encontrados (ARAÚJO et al., 2019).

As enzimas podem desempenhar diversas ações quanto a conservação e a qualidade do solo, além do manejo adotado. Em estudo com a atividades enzimáticas em áreas com estágios e gestão da regeneração florestal, Silva et al. (2018), observaram que a área com maior duração de regeneração apresentou a maior atividade média de uréase, e a área com menor tempo de regeneração apresentou a menor atividade média de uréase.

**5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os indicadores físicos e químicos de qualidade de solo possibilitam o conhecimento de um determinado local e dos processos de transformação que este adveio, contribuindo assim com o manejo a ser adotado. O monitoramento dos atributos de qualidade do solo pode servir como critério para detectar alterações mais impactantes. Essas informações podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas de manejos mais sustentáveis.

**REFERENCIAS**

1. ARAÚJO, E.A.D.; KER, J.C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
2. ROUSSEAU, L.; FONTE, S.J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R. van der.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, Amsterdam, v. 27, p. 71-82, 2013.
3. FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.3, p.417-428, 2012.
4. BRADY, N.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
5. MUKHERJEE, A.; LAL, R. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS ONE* v. 9, n. 8: e105981, 2014.
6. MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 5, p. 1196- 1206, 2013.
7. FERNANDES, F. S. Indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. 2019. 37 f. - Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis). Universidade Federal de São Carlos. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11067>
8. LUZ, F. B. Indicadores da qualidade do solo em função do uso da terra. 2017. 88 f. – Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11579>
9. SILVA, T. A. C. Indicadores da qualidade de solo na avaliação da condição ambiental de área de lixão desativado em Ouro Fino-MG. 2019. 84f. – Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá. <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1934>
10. FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V., FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Unimar Ciências*, v. 26, p. 08-25, 2017.
11. NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p.1271 -1282, 2010.
12. CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.
13. CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

14. KAZMIERCZAK, R. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo. 2018. 102f. – Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual de Ponta Grossa. <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2650>
15. REICHARDT; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2º ed. Barueri, SP: Manole, 2012.
16. STEFANOSKI, D. C; SANTOS, G. G; MARCHÃO, R. L; PETTER, F. A; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013.
17. Cherubin, M. R; Karlen, L. D; Franco, A. L.C; Cerri, C. E. P; Tormenta, C. A. Tormena; Cerri C. C. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) evaluation of Brazilian sugarcane expansion on soil quality. *Soil Science Society of America Journal*, v. 80, p. 215–226, 2016.
18. CARTER, M. R. Quality: Critical Limits and Standardization. In: LAL, R. (Org.). *Encyclopedia of soil science*. 2. ed. Ohio, USA: Taylor e Francis Group, p. 1–1924, 2006.
19. CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. F.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-MatoGrossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.2, p.613-622, 2011.
20. HE, Y; HOU, LINGLING; WANG, H; HU, K; MCCONKEY, B. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rainfed condition. *Scientific Reports*, v. 4, p. 1-12, 2014.
21. IBRAHIM, M. M.; ALIYU, J. Comparison of Methods for saturated hydraulic conductivity determination: field, laboratory and empirical measurements (A Pre-view). *British Journal of Applied Science & Technology*. v. 15, n. 3, p. 1–8, 2016.
22. SILVA, A. P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). *Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.
23. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE – NRCS. *Soil respiration: soil health, guidelines for educators*. USA: NRCS, 2014.
24. RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: EMBRAPA, 26 p., 2010.
25. HENRIQUE, J. Impacto de atividades antrópicas, provocadas pela inserção da cultura da soja, sobre a microbiota e atributos físico químicos de solos no bioma cerrado. 2019. 129f. - Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins. <http://hdl.handle.net/11612/1245>
26. ZONTA, J. H. Infiltração de água no solo sob diferentes perfis de precipitação. 2011. 126f. - Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.
27. PANACHUKIE.; I. BERTO I.; SOBRINHO T. A.; OLIVEIRA P. T. S.; RODRIGUES D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1777-1785, set. 2011.
28. CARDOSO, E. J. B. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. *Scientia Agrícola*, v. 70, n. 4, p. 274-289, July./august., 2013.
29. CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; LIMA, C. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p. 1301-1309, 2011.
30. SALTON, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 32, p. 11-21, 2008.
31. TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.
32. SAYGIN, S.D.; CORNELIS, W.M.; ERPUL, G.; GABRIELS, D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology*, v. 54, p. 1-6, 2012.



33. FAGERIA, N.K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v. 43, n. 16, p. 2063-2113, 2012.
34. FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.B.; TONON, B.C.; FARIAS, J. R.B.; DE OLIVEIRA, M.C.N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 137, n. 20, p. 178-185, 2012.
35. FERREIRA, C. R. Indicadores da qualidade do solo em uma cronosequência sob sistema plantio direto em Guaíra - PR. 2016. 91 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2457>
36. MARTINS, P. F. S.; AUGUSTO, S. G. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cacauzeiro, da pupunheira e do açaizeiro na Amazônia oriental. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 723-730, out. 2012.
37. ARAÚJO S. R.; PEDROSO A. J. S.; SOARES I. R.; RODRIGUES S.; MORAES E. T.; TORRES L. C. Atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em pastagem e plantio direto. *Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima*, v. 1, n. 1, p. 25-37, 2019.
38. ARAÚJO E. A.; KER J. C.; MENDONÇA E. S.; SILVA I. R.; OLIVEIRA E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta amazonica*, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.
39. KLEIN, V. A. Física do Solo. 2ª ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012.
40. Reichardt, K. 1996. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2ed. Piracicaba: ESALQ. Depto de Física e Meteorologia, 160p.
41. Pinheiro, R. J. B.; Nummer, A. V.; Baroni, M.; Schneider, I. T. Avaliação da Condutividade Hidráulica das Unidades Geológico-Geotécnicas de Santa Maria (RS) com a Utilização de Piezômetros. *Anuário do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Vol. 41 - 1 / 2018* p. 212-22.
42. SUSZEK, F. L.; SAMPAIO, S. C.; LIMA, V. L. A. Controle Estatístico de Qualidade da Condutividade Hidráulica em Luvisolo e Neossolo com Variação da Densidade do Solo. *Irriga, Botucatu*, v. 24, n. 1, p. 16-24, janeiro-março, 2019.
43. LIMA, R. P.; LEÓN, M. J. D.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16-20, 2013a.
44. Silva, T. A. C.; Melloni, R.; Melloni, E. G. P.; Ramos, P. P.; Pereira, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.02 (2020) 630-640.
45. SILVA, A., R., da; SILVA, L., L., da; FRAZÃO, J., J.; SALGADO, F., H., M.; SILVA, M., C., da; CORRECHEL, V.; Resistência Mecânica À Penetração Do Solo Com Diferentes Coberturas Vegetais Sob Sistema. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, Garça, v. 22, n. 2, dezembro, 2012.
46. REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S; HORN, R. Mecânica do Solo. In: LIER, Q.de J.van. Física do Solo. Viçosa: SBCS, 2010.
47. Nery, A. R.; Luis Nery Rodrigues, L. N.; Sousa, A. G.; Santos, F. F. C.; Nere, D. E. R. INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NOS SOLOS CULTIVADOS COM PALMA FORRAGEIRA E PASTAGEM NO IFCE CAMPUS CRATO. *Acta Kariri Pesq. e Des. Crato/CE*, V.2, N.1, p.56-61, Dezembro – 2017
48. Vilarinho, M. K. C.; Nascimento, J. C.; Silva, T. J. A.; Isquierdo, E. P.; Caldeira, D. S. A.; Oliveira, C. P. Velocidade de Infiltração Básica de um Plintossolo Pétrico Situado em Áreas de Pastagem e Cerrado. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.13, nº.2, p. 3336 - 3345, 2019.
49. ROSS, J.L.S.; FIERZ, M. de S.M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L.A.B. (org). *Praticando geografia: Técnicas de Campo e Laboratório*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.



50. GONÇALVES, F.C.; MORAES, M.H. Porosidade e infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo. *Irriga*, v.17, p.337-345, 2012.
51. SANTOS, M.A.N.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Infiltração de água em na Ultisol após cultivo de feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1612-1620, 2014.
52. Carmo, M. C.; Cunico, J. M.; Santos, M. R. G.; Silva, P. K. M.; Siqueira, M. G. DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO EM PASTAGEM RECUPERADA E DEGRADADA, NA AMAZÔNIA OCIDENTAL. *AGRARIAN ACADEMY*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.5, n.9; p. 2018.
53. LEPSCH, I. F. 19 lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
54. TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2013.
55. MELLONI, R; PERREIRA, E. G. M; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. *Informe agropecuário*, v.29, n 244, maio/junho. Belo Horizonte. p.17-29. 2008.
56. MAIA, C.E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. *Ciência Rural*, v. 43, p. 603-609, 2013.
57. LOPES, A.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. *Fertilidade do solo*, p. 1-12, 2007.
58. NOVAES, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.) *Fertilidade do solo. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.375-470, 2007.
59. PRIMO, D.C; MENEZES, R. C; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v. 7, 1-13, 2011.
60. LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:45-55, 2012.
61. KHORRAMDEL, S.; KOOCHKEKI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil & Tillage Research*, v.133, p.25-31, 2013.
62. OLIVEIRA, K; J. B. de, LIMA, J. S. S. de; AMBRÓSIO, M. M. de Q.; BEZERRA NETO, F., e CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. *Revista de Ciências Agrárias*. vol.40 no.1 Lisboa, mar. 2017.
63. LEE, J. W.; KIDDER, M.; EVANS, B. R.; PAIK, S.; BUCHANAN III, A. C.; GARTEN, C. T.; BROWN, R. C. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. *Environmental Science and Technology*, v. 44, n. 20, p. 7970–7974, 2010.
64. GAI, X.; WANG, H.; LIU, J.; ZHAI, L.; LIU, S.; REN, T.; LIU, H. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PLoS ONE*, v. 9, n. 12, p. 1–19, 2014.
65. GUL, S.; WHALEN, J. K.; THOMAS, B. W.; SACHDEVA, V.; DENG, H. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 206, p. 46–59, 2015.

66. LOZADA, C. M. Índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de Planaltina (DF). 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/18739>
67. ASMAR JÚNIOR, J. Utilização dos atributos químicos como indicadores da qualidade do solo na bacia hidrográfica do Rio das Almas na região de goianésia, estado de Goiás. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Anápolis. <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/2967>
68. CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. S.; Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Ciência Florestal*, v. 24, n.1, p. 13-21, 2014.
69. SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PINHEIRO, M. R. A. Atributos do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico e convencional no Semiárido do Rio Grande do Norte. *Revista Verde, Pombal*, v. 13, n.2, p.176-185, 2018.
70. GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 9-16.
71. ALBUQUERQUE, A. S.; FONSÊCA, M. A.; SANTOS, R. V.; MEDEIROS, W. P. Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da *Prosopis juliflora*. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 61, 2018.
72. PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria*, v. 19, n. 2, p. 1308 - 1324, 2015.
73. PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J.S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. *Soil and Tillage Research*, v. 136, p. 51-60 2014.
74. RASOOL, N.; RESHI, Z.A.; SHAH, M.A. Effect of butachlor (G) on soil enzyme activity. *Eurasian Journal of Soil Biology*, v. 61, p. 94-100, 2014.
75. BURNS, R. G. DEFOREST, J. L. MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry, Amsterdam*, v. 58, n. 1, p. 216-234, 2013.
76. CARLOS, F. S. Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado. 2017. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172113>
77. BALOTA, E.L. Manejo e qualidade biológica do solo. Londrina: MECENAS, 2017. 288 p.
78. REJSEK, K.; VRANOVA, V.; PAVELKA, M.; FORMANEK, P. Acid phosphomonoesterase (e.C.3.1.3.2) location in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 175, p. 196-211, 2012.
79. ARAÚJO, S. R.; PEDROSO, A. J. S.; SOARES, I. R.; RODRIGUES, S.; MORAES, E. T.; TORRES, L. C. Atributos físico-químicos do solo em áreas de conversão da Amazônia Oriental em

pastagem e plantio direto. Journal of Applied Hydro Environment and Climate, v.1, n.1, p. 25 - 37, 2019.

80. SILVA, A. E. O.; MEDEIROS, E. V.; INÁCIO, E. S. B.; SALCEDO, I. H.; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. Revista Caatinga, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018.

81. BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage systems. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 33, n. 4, p. 729-737, 2011.