



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
ÁREA DE CIÊNCIA DO SOLO



RELATÓRIO FINAL

AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE TRÊS SOLOS DO AGRESTE
DE PERNAMBUCO SOB SALINIZAÇÃO PELA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

ALUNO: RODRIGO FRANCISCO DO NASCIMENTO PAIVA

CURSO: AGRONOMIA

BIC 0147-5.01/19

ORIENTADORA: MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE

VIGÊNCIA: AGOSTO/2019 A JULHO/2020

RECIFE

2020

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Solos do Agreste Pernambucano	4
2.2. Solos salinos e sódicos.....	5
2.3. Acúmulo de sais no solo pelo manejo inadequado da irrigação	6
2.4. Permeabilidade em solos salinos e sódicos.....	7
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Geral.....	7
3.2. Específicos	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1. Solos estudados.....	8
4.2. Caracterização das amostras de solo.....	10
4.3. Montagem do experimento	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5.1. Mineralogia, atributos físicos e químicos dos solos	14
5.2. Condutividade hidráulica em meio saturado	19
5.3. Porcentagem de sódio trocável	24
6. CONCLUSÃO	26
7. DIFICULDADES ENCONTRADAS	26
8. ATIVIDADES PARALELAS DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	27
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

A região do Agreste é conhecida pela predominância do clima semiárido, caracterizado pelo alto potencial para evaporação da água, baixa precipitação, temperaturas elevadas e baixa umidade do ar. Esta condição climática é um dos principais fatores naturais que condicionam o processo de salinização dos solos (RIBEIRO, 2010; BRADY & WEIL, 2012; ASSIS, SOUZA & SOBRAL, 2015; PEDROTTI et al., 2015; WALTER et al., 2018)

O processo de desertificação de diversas regiões está diretamente associado ao mal uso da terra, onde práticas conservacionistas não são adotadas, levando conseqüentemente a redução da biodiversidade e infertilidade do solo (D'ODORICO et al., 2013). A salinização dos solos é vista como um dos principais fatores de desertificação, pois o acúmulo de sais solúveis causa toxidez às plantas e elevação da pressão osmótica, resultando em perdas de cobertura vegetal, diminuição da produção agrícola e conseqüente abandono das terras. (GKIOUGKIS et al., 2015; PEDROTTI et al., 2015; LUO et al., 2017).

Em regiões de clima semiárido, a utilização da irrigação é indispensável para garantir e manter a produção de alimentos em nível ideal (CASTRO, 2018). Entretanto, a prática da irrigação sem sistema adequado de drenagem, associado ao uso de água com elevados teores de sais são os principais fatores associados à salinização do solo em decorrência da ação antrópica (RIBEIRO, 2010; KANZARI et al., 2012; PEDROTTI et al., 2015; SALVATI & FERRARA, 2015; DALIAKOPOULOS et al., 2016).

A infertilidade das terras e redução da produção agrícola causadas pela salinização comprometem a segurança alimentar das populações locais, levando conseqüentemente a afetar o seu estilo de vida, causando impactos na economia da comunidade e, em casos mais extremos, o deslocamento dessas populações (HARON & DRAGOVICH, 2010; VASCONCELOS et al., 2013; XU et al., 2014).

O acúmulo de sais solúveis e/ou sódio trocável promove a dispersão da argila no solo, afetando diretamente suas propriedades físicas, afetando sua permeabilidade, causando diminuição do espaço poroso e aumento da retenção de água no solo, prejudicando o crescimento e desenvolvimento das plantas (PRAPAGAR et al., 2012). Para recuperar solos afetados pela salinidade e sodicidade, a aplicação de corretivos é essencial, principalmente aqueles ricos em cálcio, que tem a capacidade de substituir o sódio adsorvido no complexo de

troca, removendo-o do sistema radicular por meio da ação da lixiviação e drenagem (PESSOA et al., 2010; YAZDANPANAHA et al., 2011; VASCONCELOS et al., 2016).

Assim, o estudo sobre a qualidade da água de irrigação é indispensável para a adequação do manejo da irrigação, para que não ocorra a salinização, sodificação e degradação física dos solos agricultáveis

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1.Solos do Agreste Pernambucano

O conhecimento sobre os atributos que compõem um solo permite, além de classificá-lo, determinar a melhor forma de uso e conservação, pois trata-se de um recurso não-renovável considerando-se a escala de tempo para sua formação, que é muito maior que a faixa etária da maioria das espécies biológicas (BUOL, 2011).

O Agreste do estado de Pernambuco, por possuir um clima semiárido e, a depender do material de origem de cada solo, conta com a presença de solos pouco intemperizados, com grande proporção de minerais alteráveis, pouco profundos, com limitações, em certos casos, das suas propriedades físicas. Planossolos, Vertissolos e Neossolos Regolíticos, além de outras ordens de solos, são comumente encontrados nesta região, sendo o estudo deles de grande importância para o desenvolvimento agrícola, social e ambiental desta parte do estado.

O Planossolo é caracterizado pela mudança textural abrupta entre o horizonte A ou E (superficial) e o horizonte B (subsuperficial). Nas condições do Agreste pernambucano, o horizonte superficial apresenta comumente textura arenosa a média, com coloração acinzentada a marrom-amarelada e estrutura moderadamente coesa, apresentando características físicas que permitem uma boa percolação de água. O horizonte subsuperficial, entretanto, é altamente adensando, com predominância da fração argila, e alta concentração em minerais 2:1. Os minerais 2:1, presentes na fração coloidal, são responsáveis por influenciar diretamente nas características químicas e físicas do solo, como a baixa permeabilidade, aumento da CTC, maior fertilidade, menor estabilidade dos agregados e maior retenção de sais (FERREIRA et al., 2016; EMBRAPA, 2018; SOUSA et al., 2020).

O Neossolo Regolítico apresenta, normalmente, características similares em todo o perfil do solo. Fisicamente, é um solo que possui alta permeabilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e baixa capacidade de formar agregados, que está relacionado diretamente a predominância da fração areia em todo o perfil do solo. Mesmo em horizonte subsuperficial, a fração argila deste solo é extremamente baixa, que associada a predominância de caulinita (mineral 1:1), diminui drasticamente sua capacidade de troca catiônica e conduz a uma fertilidade natural muito baixa. Por ser um solo com baixo grau de intemperismo, é comum a presença de feldspatos, mesmo nas frações menos grosseiras do solo (argila e silte). Os feldspatos funcionam como a reserva mineral potencial do solo, pois trata-se de mineral primário de fácil intemperização, sendo também caráter diagnóstico desse solo (SANTOS, 2012; EMBRAPA, 2018).

A característica principal do Vertissolo é a presença do horizonte vértico, rico em argila expansiva, que atribui a capacidade de expansão e contração do solo, formando fendilamentos ao longo do perfil. É um solo que apresenta a predominância da fração argila em relação a fração mais grosseira (areia), tanto no horizonte superficial como em subsuperfície. A presença de argilominerais 2:1, principalmente minerais do grupo esmectítico, condicionam a características como alta CTC, maior capacidade de retenção de água, condição de drenagem imperfeita e alta saturação por bases (solo eutrófico). Apesar da presença da argila de alta atividade, o grau de floculação desse solo sofre forte influência do Ca^{2+} e Na^+ vindo do material de origem, aumentando e diminuindo sua estabilidade, respectivamente (LIMA, 2014; EMBRAPA, 2018).

Existem solos que apresentam atributos favoráveis ao acúmulo de sais solúveis, principalmente aqueles enriquecidos com minerais do tipo 2:1, como o Planossolo e o Vertissolo, com o tempo, podendo tornar-se solos salinos ou sódicos.

2.2.Solos salinos e sódicos

O processo de salinização do solo ocorre por meio do acúmulo de sais solúveis que não são lixiviados, consequência da má drenagem e alta taxa de evapotranspiração, recorrentes em zonas de clima árido e semiárido. Os sais que se acumulam no solo podem ser provenientes do material de origem, principalmente de solos com baixo grau de intemperização, do uso de

irrigação excessiva e da qualidade da água utilizada, principalmente se esta possuir alta concentração de sais (HOLANDA et al., 2007; RIBEIRO, 2010). Enquanto que a solonização do solo ocorre quando o complexo de troca do solo é enriquecido por íons Na^+ , à medida que também ocorre a lavagem dos sais solúveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}), formando assim solos de caráter unicamente sódico (RIBEIRO, 2003; RIBEIRO, 2010).

As propriedades físicas do solo sofrem influência direta da concentração e dos tipos de cátions trocáveis presentes no solo. O acúmulo de sais solúveis influencia em um maior grau de flocculação, maior estabilidade de agregados do solo e condiciona maior permeabilidade do solo, enquanto o sódio trocável age como dispersante, aumentando o adensamento do solo, diminuindo sua estabilidade e dificultando a passagem de água no solo (DIAS & BLANCO, 2010). Quanto maior a concentração de sódio e menor a concentração de eletrólitos no solo, maior será a dispersão da argila e, conseqüentemente, a porosidade do solo será afetada negativamente, diminuindo sua permeabilidade (KEREN et al., 1988; FREIRE et al., 2003a).

Para diminuir o impacto do processo de salinização e solonização do solo, é preciso adotar medidas e boas práticas de manejo, principalmente no que se refere ao uso da irrigação.

2.3.Acúmulo de sais no solo pelo manejo inadequado da irrigação

De acordo com o censo agropecuário de 2017, a área irrigada no nordeste brasileiro corresponde a 18,4% da área total irrigada no Brasil, sendo o método de irrigação localizada o mais utilizado na região (CARVALHO, 2019). O uso inadequado da irrigação é uma das causas principais do processo de salinização e sodificação dos solos. Mesmo que a água utilizada na irrigação seja de boa qualidade, fatores como a alta demanda evaporativa, baixa precipitação e solos rasos acentuam o processo de salinização (BRITO et al., 2010). Para que não haja perdas significativas de áreas cultiváveis, a recuperação de solos afetados por sais é essencial (MELO et al., 2008; TAVARES FILHO et al., 2012).

Melhorar as condições de drenagem do solo, associada a aplicação de corretivos, é essencial para que ocorra a lixiviação dos sais solúveis e redução do sódio trocável. Aplicação de lâminas de lixiviação parceladas, associadas com uso do gesso, condicionam bons resultados na diminuição dos sais do solo e correção de sua sodicidade, permitindo o restabelecimento do potencial produtivo do solo (RUIZ, 2004; MIRANDA et al., 2011).

2.4. Permeabilidade em solos salinos e sódicos

A permeabilidade do solo é afetada diretamente pelo processo de salinização e sodificação do solo, tendo influência sobre as características físico-hídricas do solo, como capacidade de retenção de água, porosidade e condutividade hidráulica em meio saturado (K_{sat}). Frequentemente, com aumento do sódio trocável no solo, ocorre a saturação das cargas elétricas dos coloides. Quando nestes dominarem argilas do tipo 2:1, isso causará um efeito dispersivo entre elas, diminuindo conseqüentemente a porosidade do solo, criando crostas superficiais, afetando sua drenagem e influenciando negativamente na sua condutividade hidráulica em meio saturado (K_{sat}). Este efeito é maior em solos com argila esmectítica, mas a magnitude do problema, para cada solo, também está relacionada com o teor de argila e sua mineralogia (KLOPP, 2019).

Diferente da sodificação, a salinização tem o efeito oposto e aumenta a floculação das partículas. Isto se deve, principalmente, ao aumento de cátions trocáveis bivalentes, como o cálcio, por exemplo. O cálcio possui a capacidade de diminuir a dispersão da fração argila, tornando-se pontes de cátions entre as argilas carregadas negativamente e grupos aniônicos orgânicos, resultando em floculação das partículas de argilas e formando agregados, resultando em melhoria na porosidade do solo, causando impacto positivo sobre sua permeabilidade (HARRIS & RENGASAMY, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

- Estudar alterações nas propriedades físicas e químicas de três solos do sertão pernambucano irrigados com águas de valores crescentes de CE e RAS;

3.2. Específicos

- Avaliar a influência da textura e da mineralogia dos solos na degradação pela salinidade e sodicidade da água de irrigação;

- Indicar a possibilidade de uso de águas salinas na irrigação em função de sua composição e das propriedades dos solos a serem irrigados considerando a concentração eletrolítica limite.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solos estudados

Foram escolhidos três solos do Agreste de Pernambuco, Neossolo Regolítico, Vertissolo Ebânico e Planossolo Háptico, sendo coletado um horizonte de cada perfil (Figura 1). A intenção foi selecionar amostras de horizontes com teores crescentes de argila e de diferentes mineralogias (Tabela 1). Realizada a coleta das amostras deformadas e indeformadas dos solos, às amostras deformadas passaram pelo processo de secagem ao ar, destorroamento e peneiramento em malha de 2 mm (TFSA) para caracterização do solo e montagem de ensaios de condutividade hidráulica. No momento dessa coleta, também foi realizada a coleta de anéis volumétricos de solo com estrutura preservada (Figura 2), para as análises físicas que assim exigiram.

Figura 1- Perfis dos solos utilizados no experimento



Tabela 1 – Identificação dos perfis e respectivos horizontes onde foram coletadas as três amostras de solos do Agreste de Pernambuco para o desenvolvimento do estudo

Simb.	Solo	Horizonte	Prof. (cm)	Região	Município	Coordenadas
-------	------	-----------	---------------	--------	-----------	-------------

RR	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico	A	0-15	Agreste	Caetés	8°29'50" S 36°14'28" W
VE	VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico	Biv	20-68	Agreste	Cachoeirinha	08°29'53" S 36°14'25" W
SX	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico salino vertissólico	Btg	80 ⁺	Agreste	Lagoa do Ouro	9°8'29,8" S 36°28'38,8" W.

Simb. – Símbolo; Prof. – Profundidade de coleta.



Figura 2 - Amostras de solos indeformadas em processo de saturação.

A escolha dos solos foi feita com base nos trabalhos de Sousa et al. (2020), SANTOS (2012) e LIMA (2014).

4.2. Caracterização das amostras de solo

Para a caracterização dos solos, foram feitas as análises físicas, químicas e mineralógicas. Das propriedades físicas, ocorreu a determinação da porosidade total e a avaliação da textura, com análise da composição granulométrica e argila dispersa em água, pelo método da pipeta, conforme proposto por RUIZ (2005); densidade das partículas, pelo método do picnômetro, densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2017), resistência a penetração (penetrômetro de bancada, modelo MA 933, marca MARCONI) com as amostras indeformadas; e a estabilidade de agregados pelo método por via úmida (KEMPER & ROSENAU, 1986).

Na caracterização química, foram efetuadas as análises de pH do solo em água (1:2,5); pH, condutividade elétrica (CE) e cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) no extrato da pasta saturada; cátions trocáveis pelo método do acetato de amônio (USSL STAFF, 1954) e a capacidade de troca catiônica pelo método do cátion índice, carbono orgânico total (COT) foi determinado por via úmida com dicromato de potássio de acordo com o método proposto pela EMBRAPA (2017).

Para a caracterização mineralógica da fração argila dos solos, sucedeu-se a determinação dos óxidos de ferro cristalinos e amorfos, extraídos com solução de ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de sódio, respectivamente, e o ferro foi dosado por espectrofotometria de absorção atômica (MEHRA & JACKSON, 1960). Também foi realizada a análise mineralógica da fração argila por difração de raios-x, com os tratamentos necessários para identificação de argilominerais do tipo 1:1, dos tipos 2:1 e óxidos, de acordo com EMBRAPA (2017).

4.3. Montagem do experimento

A realização do experimento está sendo feita em arranjo fatorial 3 x 5 x 5 (3 solos, 5 valores de CE e 5 valores de RAS). Em cada amostra de solo estão sendo aplicadas as 25

soluções salinas (Tabela 2), correspondendo a cinco valores de CE (100, 600, 1.500, 2.500 e 4.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e os mesmo cinco valores de RAS [0, 5, 12, 20 e 30 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}].

Tabela 2 - Concentração dos sais cloreto de sódio e cloreto de cálcio nas soluções saturantes para estabelecimento da relação de adsorção de sódio (RAS)

RAS	NaCl	CaCl₂
$(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	
0	0	50,00
5	19,52	30,48
12	33,97	16,03
20	41,42	8,58
30	45,42	4,58

A condução dos ensaios está sendo feita em blocos casualizados no tempo, com uma repetição por bloco. No total, são três solos, cinco valores de CE, cinco valores de RAS, em quatro blocos (repetições), perfazendo 300 unidades experimentais. Para a montagem do experimento foram feitas colunas com tubos de PVC, contendo 100 cm^3 de solo com estrutura

deformada (Figura 3). Os solos foram cuidadosamente acomodados nos tubos até atingir a densidade característica de cada solo.



Figura 3 - Estrutura montada para o ensaio de condutividade hidráulica

Estão sendo utilizadas soluções saturantes para o ajuste da relação Na:Ca nos solos e soluções percolantes, em diferentes concentrações e variadas proporções Na/Ca (Tabela 3). As soluções utilizadas para o ajuste da relação Na:Ca foram preparadas de forma a chegar a uma concentração final de $50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, a partir dos sais NaCl e CaCl_2 , nos valores de RAS estabelecidos (Tabela 2), conforme FREIRE et al. (2003a).

Os solos permanecem na solução saturante por 48 horas, quando foram montados os permeômetros de coluna vertical e carga constante. Efetuou-se então a passagem da solução saturante até que o equilíbrio fora atingido. Posteriormente, as colunas de solo são mantidas nos recipientes com as soluções de trabalho (Tabela 3) por mais 24 horas.

Tabela 3 - Concentração dos sais cloreto de sódio e cloreto de cálcio de acordo com a RAS estabelecida para as soluções percolantes

RAS	NaCl	CaCl_2
$(\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$	

Conductividade elétrica 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$		
0	0,0000	1,0000
5	0,9308	0,0692
12	0,9865	0,0135
20	0,99505	0,00495
30	0,99779	0,00221
Conductividade elétrica 600 $\mu\text{S cm}^{-1}$		
0	0,0000	6,0000
5	4,4301	1,5699
12	5,5693	0,4307
20	5,8301	0,1699
30	5,92207	0,07793
Conductividade elétrica 1.500 $\mu\text{S cm}^{-1}$		
0	0,0000	15,0000
5	8,803	6,197
12	12,7443	2,2557
20	14,0176	0,9824
30	14,5308	0,4692
Conductividade elétrica 2.500 $\mu\text{S cm}^{-1}$		
0	0,0000	25,0000
5	12,5000	12,5000
12	19,6418	5,3582
20	22,4745	2,5255
30	23,7469	1,2531
Conductividade elétrica 4.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$		

0	0,0000	40,0000
5	16,9678	23,0322
12	28,6220	11,3780
20	34,1641	5,8359
30	36,9638	3,0362

Após a finalização do ajuste da relação Na:Ca, os permeâmetros são remontados para determinar a condutividade hidráulica em meio saturado. As soluções são aplicadas às colunas utilizando-se o sistema do “frasco de Mariotte” para a manutenção da carga constante. Está sendo percolado volume suficiente de solução de trabalho correspondente a cada tratamento para que a água de entrada tenha a mesma CE da água de lixiviação. Após isto está sendo feito o procedimento de determinação da condutividade hidráulica em meio saturado.

As características estudadas serão avaliadas aplicando-se análise de variância, com agrupamento dos solos conforme a homogeneidade de variância. Serão ajustadas equações de regressão múltiplas das variáveis analisadas em função da CE e da RAS das águas de irrigação, elaborando-se superfícies de resposta que prevejam o comportamento dos diferentes solos quando irrigados com as águas salinas.

Será escolhido o modelo com maior coeficiente de determinação, que apresente parâmetros significativos até 10% pelo teste t. Serão utilizados os dados de caracterização dos solos para estudar as correlações entre as características dos solos e suas respostas à aplicação das águas salinas, estabelecendo-se os valores de concentração eletrolítica limite (CEL) para os solos avaliados de Pernambuco.

Os ensaios de condutividade hidráulica estão em andamento e os resultados serão apresentados no relatório final e na jornada de Iniciação Científica realizada pela FACEPE

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Mineralogia, atributos físicos e químicos dos solos

Os valores de ferro extraídos como ferro ditionito citrato bicarbonato variaram de 0,83 a 10,76 g kg⁻¹ de argila, enquanto que o ferro extraído com oxalato ácido de amônio de 0,24 a

1,36 g kg⁻¹ de argila (Tabela 4). A relação Feo/Fed é um indicativo do grau de intemperismo do solo, onde maiores valores refletem solos menos intemperizados.

Tabela 4 - Teores de óxidos de ferro extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) e oxalato ácido de amônio (Feo) de solos característicos do Agreste de Pernambuco

Solo	Horizonte de coleta	Fed	Feo	Feo/Fed
		————— g kg ⁻¹ —————		
Neossolo Regolítico	A	0,83	0,24	0,29
Vertissolo Ebânico	Biv	6,14	1,36	0,22
Planossolo Háptico	Btg	10,76	1,18	0,11

Os minerais identificados na difratometria de raios-x (Figura 4) são um reflexo das condições de formação desses solos. O Neossolo Regolítico apresentou caulinita (argilomineral tipo 1:1) e minerais primários de fácil intemperização, como o feldspato e ilita, que são minerais característicos de solos que ainda estão em processo de desenvolvimento.

O Planossolo e o Vertissolo possuem esmectita na sua fração argila, sendo característica dos mesmos a presença deste argilominerais 2:1 que possuem grande influência sobre os atributos químicos e físicos dos solos. A caulinita e o talco, identificados no Planossolo e Vertissolo, respectivamente, influenciam em suas características individuais, sendo fator diferenciador entre os dois solos.

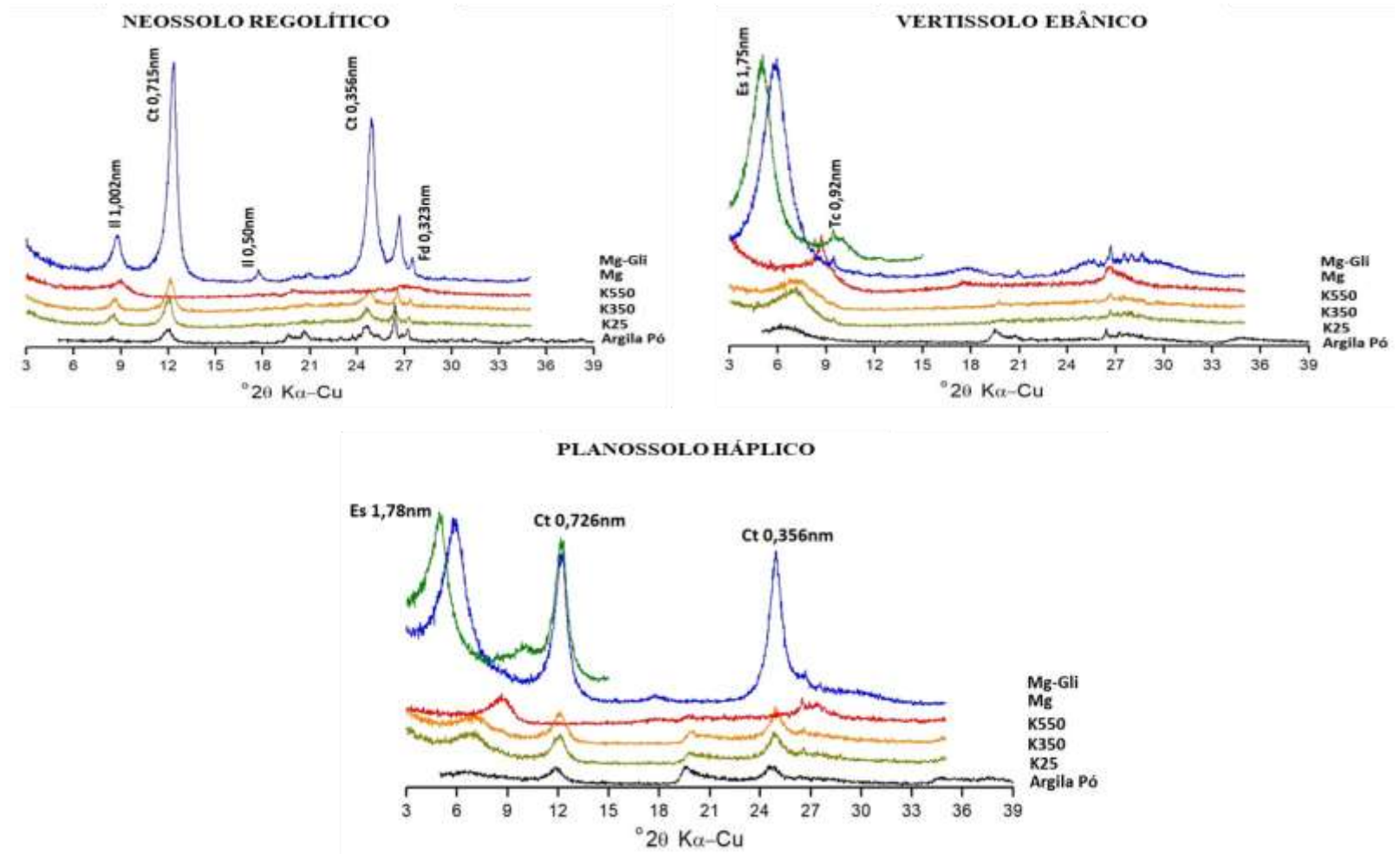


Figura 4. Difratomogramas de raios-x da fração argila dos horizontes estudados no Neossolo Regolítico, Vertissolo Ebânico e Planossolo Háplico. Ct – Caulinita, Es – Esmeclita, Il – Ilita, Tc - Talco, Fd – Feldspato.

Quanto à caracterização física, o Neossolo Regolítico e o Planossolo apresentam baixo grau de flocculação, que contrasta com o valor do Vertissolo, possuindo o maior grau de flocculação dos três solos. O Planossolo e Vertissolo possuem teores aproximados da fração argila. Entretanto, a fração areia total é maior no Planossolo, o que pode ser explicado pelo processo de lessivagem que é característico deste tipo de solo. O alto grau de flocculação do Vertissolo, que superou significativamente os valores obtidos no Neossolo e Planossolo, pode estar associado diretamente ao material de origem, rico em minerais com poder de flocculação como Ca^{2+} e Mg^{2+} . Não houve mudança significativa nos valores da densidade de partículas e densidade do solo.

Tabela 5 – Caracterização física dos solos

Solo	Análise granulométrica				GF	D _s	D _p	P
	Areia		Silte	Argila				
	Grossa	Fina						
g kg ⁻¹				%	g cm ⁻³		%	
Neossolo Regolítico	697,72	179,12	94,94	28,22	29,1	1,67	2,76	ND
Vertissolo	181,35	127,76	266,13	424,98	94,8	1,65	2,69	ND
Planossolo	365,67	127,76	89,98	416,59	21,7	1,71	2,68	40,56

GF - Grau de flocculação; D_s - Densidade do solo; D_p - Densidade de partículas; P – Porosidade (pelo método da saturação).

Pela caracterização química (Tabelas 6 e 7), observa-se que o Planossolo tem maiores valores de CEes (3,72 dS m⁻¹), concentração de sais solúveis, principalmente o Na⁺ (33,43 mmolc L⁻¹) e, conseqüentemente, da relação de adsorção de sódio (RAS), superando os valores dos outros solos (Tabela 6). Quanto aos valores de pH, o Neossolo Regolítico e Planossolo possuem caráter ácido e o Vertissolo, alcalino.

Tabela 6. Caracterização química dos solos: pH, ΔpH, condutividade elétrica do extrato de pasta saturada (CEes), cátions solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS)

Solo	pH em água	pH em KCl	ΔpH ¹	CEes	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	RAS
				dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹			(mmol _c L ⁻¹) ^{-1/2}	
Neossolo Regolítico	5,82	5,05	-0,77	0,42	0,73	0,34	0,92	0,40	1,26
Vertissolo Ebânico	8,78	6,49	-2,28	1,00	1,23	1,83	6,71	0,12	5,42
Planossolo Háptico	6,79	5,14	-1,65	3,72	2,77	5,28	33,43	0,27	16,66

¹Valor calculado: ΔpH=pH_{KCl}-pH_{água}.

Tabela 7. Caracterização química dos solos: cátions trocáveis, acidez potencial, capacidade de troca catiônica (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), porcentagem de sódio trocável (PST) e carbono orgânico total (COT)

Solo	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H+Al	T	V	m	PST	COT
	cmol _c kg ⁻¹							%	%	%	g kg ⁻¹
Neossolo Regolítico	1,22	0,35	0,00	0,10	0,00	0,72	2,39	69,87	0	0,00	5,39
Vertissolo Ebânico	18,08	12,42	1,12	0,44	0,00	0,00	32,06	100	0	3,48	5,09
Planossolo Háptico	5,55	8,86	2,21	0,47	0,00	1,12	18,21	93,85	0	12,15	2,63

Todos os solos apresentam valores maiores que 50% para saturação por bases (V), caracterizando-os como solos eutróficos (Tabela 7). O Planossolo possui a maior porcentagem de sódio trocável (PST), em contraste com o Neossolo Regolítico, que não foi determinado nenhum valor. As maiores concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis são no Vertissolo, e a maior de Na^+ trocável está no Planossolo (Tabela 7). O Planossolo possui o menor teor de carbono orgânico total (COT), com valor de $2,63 \text{ g kg}^{-1}$, não havendo grande diferença entre o Neossolo Regolítico e o Vertissolo, com valores de $5,39$ a $5,09 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 7). Não foram determinados valores de saturação por alumínio (m) para nenhum dos solos, pela ausência de alumínio trocável em função do pH dos três solos.

5.2. Condutividade hidráulica em meio saturado

Os resultados obtidos nos ensaios de condutividade hidráulica em meio saturado (K_{sat}) para cada tratamento podem ser observados a partir dos dados a seguir. Para o Neossolo Regolítico (Figura 5), a K_{sat} apresentou valores próximos a 7 cm.h^{-1} quando foram aplicadas águas de menores condutividades elétricas (CE) o qual têm relação direta com a característica natural de boa drenagem deste solo. Entretanto, com o aumento da CE da solução percolante, houve aumento considerável da K_{sat} passando para valores próximos a 12 cm.h^{-1} , havendo uma resposta positiva ao tratamento aplicado indicando que, mesmo em solos com baixos teores de argila, ocorre a floculação das partículas coloidais quando submetidas às águas com elevadas CEs.

A resposta ao tratamento deste solo possui forte influência da ilita presente na fração argila, onde MARCHUK e MARCHUK (2018) em experimentos com soluções a base de íons de K^+ para neutralizar os efeitos dos íons Na^+ no solo, obtiveram incremento inicial na K_{sat} do solo com maior concentração deste mineral indicando a presença de cargas elétricas negativas em solos com a presença de ilita e a alta capacidade do sódio em dispersar as partículas coloidais do solo. O trabalho desses autores mostra que, devido ao raio hidratado do K^+ ser menor do que o Na^+ é possível observar que solos mais ricos em K^+ floculam mais que solos sódios permitindo melhorias na permeabilidade e mostrando, assim, o forte papel dispersivo dos íons de Na^+

A partir dos resultados do ensaio de condutividade hidráulica em meio saturado foi possível a realização de equações de regressão múltipla para os solos avaliados (tabela 8) para obter o comportamento da K_{sat} em cada valor de RAS e CE. Com a aplicação dos

tratamentos que possuem maior relação de adsorção de sódio (RAS), ocorreu uma diminuição constante na condutividade hidráulica (figura 6). Esta diminuição sugere que mesmo em solos com boa capacidade de drenagem como o Neossolo Regolítico, o aumento do teor de sódio no solo é capaz de causar a obstrução dos poros, mesmo que este possua valores reduzidos no teor de argila e baixa CTC.

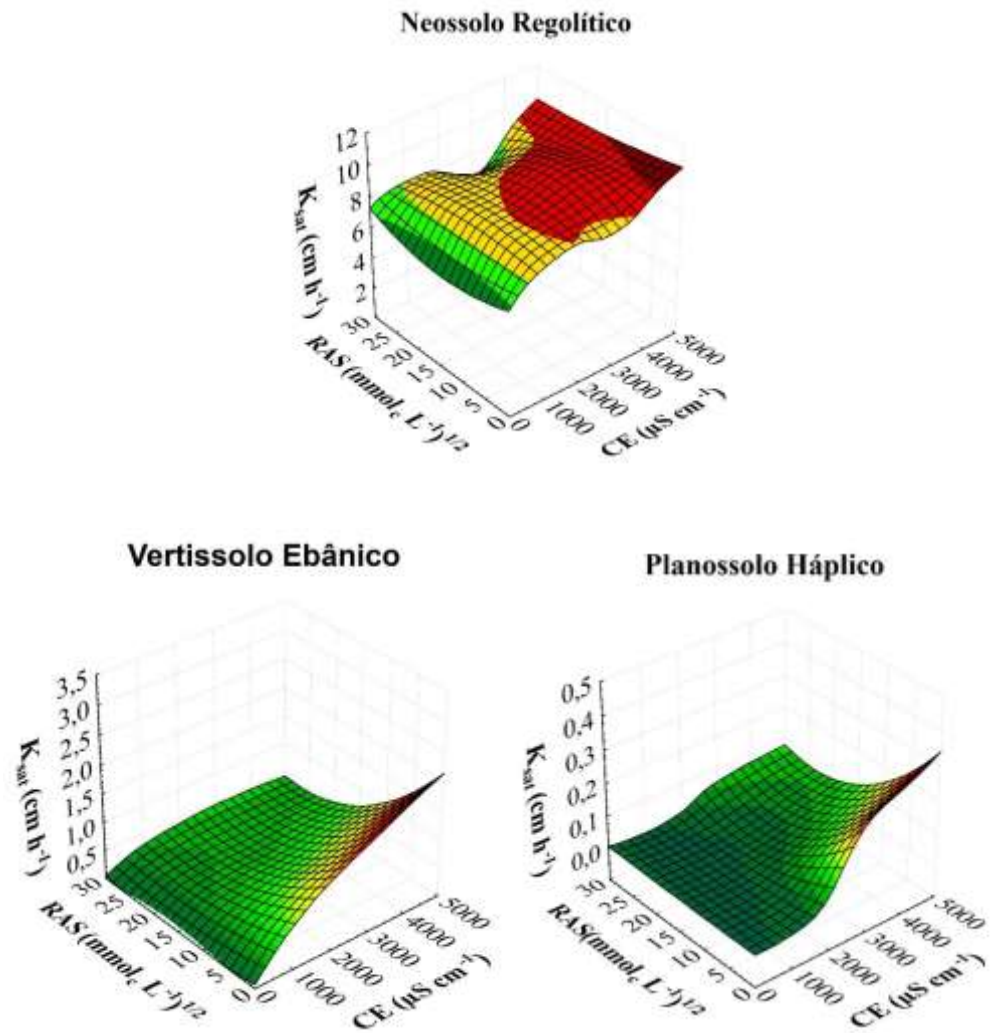
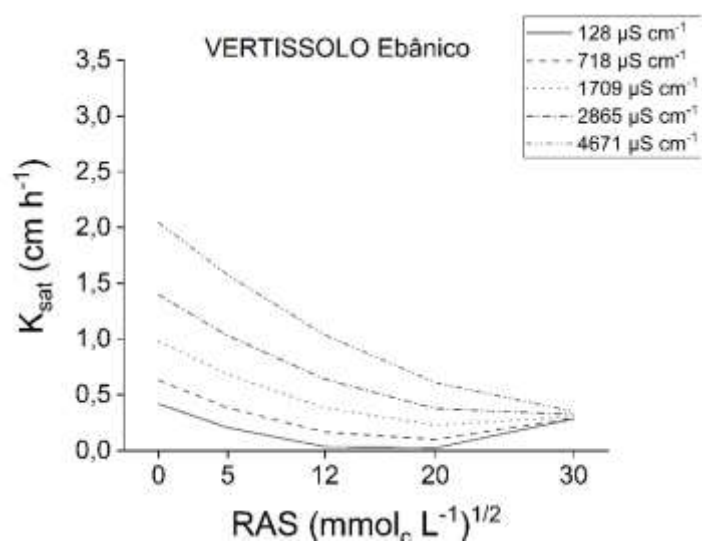
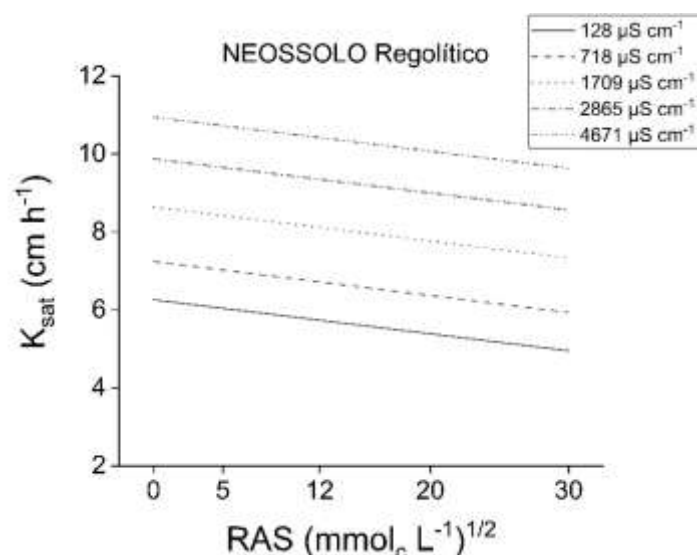


Figura 5. Superfícies de resposta da condutividade hidráulica em meio saturado dos solos Neossolo Regolítico, Vertissolo Ebânico e Planossolo Háplico submetidos à irrigação com águas de valores crescentes de condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS).

Tabela 8. Equações de regressão múltipla para relação de condutividade hidráulica em meio saturado (K_{sat}) em função da condutividade elétrica (CE em $\mu\text{S cm}^{-1}$) e da relação de adsorção de sódio (RAS) das soluções de trabalho

Solo	Equação	R^2
Neossolo	$K_{sat} = 6,03167 + 0,0017991^{**}CE -$	0,7209
Regolítico	$0,000000160069CE^{2^{\circ}} - 0,0435899RAS^{**}$	
Vertissolo	$K_{sat} = 0,372869 + 0,000358036^{***}CE - 0,0487104^{***}RAS$	0,9231
Ebânico	$+ 0,00152272^{***}RAS^2 - 0,0000114532^{***}CE RAS$	
Planossolo	$K_{sat} = -0,0181408 + 0,0000662413^{***}CE -$	0,7815
Háplico	$0,00561443^{\circ}RAS + 0,000229691^{\circ}RAS^2 -$ $0,00000204295^{***}CE RAS$	

***0,1%; **1%; *5% e $^{\circ}$ 10 % de significância ao teste t.



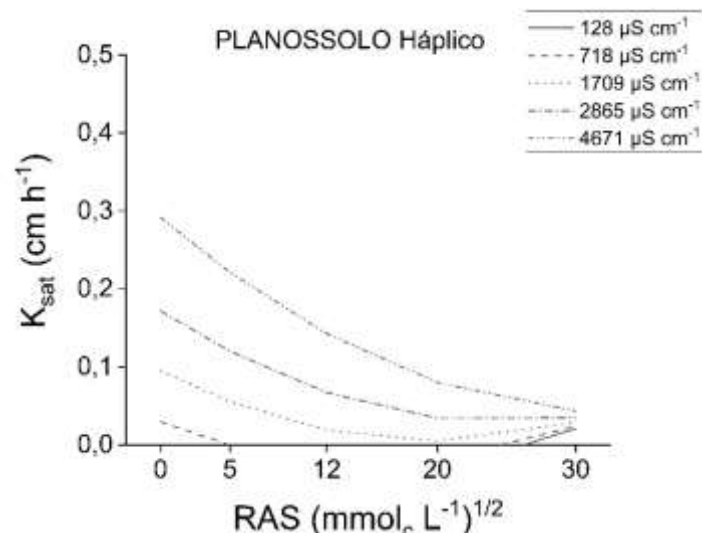


Figura 6. Condutividade hidráulica em meio saturado (K_{sat}) em função da relação de adsorção de sódio (RAS) em amostras de Neossolo Regolítico, Vertissolo Ebânico e Planossolo Háplico. Dados obtidos a partir das equações de regressão múltipla para as condutividades elétricas (CE) de 128, 718, 1709, 2865 e 4671 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

A condutividade hidráulica do Vertissolo inicialmente apresentou valor abaixo de $0,5 \text{ cm.h}^{-1}$ (Figura 5), correspondendo as condições de drenagem imperfeita característica desse solo, possuindo relação direta com o tipo de argila 2:1 (figura 4). Tanto pelo gráfico de superfície quanto pelo gráfico de regressão múltipla é possível observar que, quanto maior a CE e menor a RAS, melhor será a permeabilidade do solo, demonstrando o alto poder flocculando do Ca^{+2} e a grande capacidade do Na^{+} em dispersar as partículas coloidais, principalmente em solos com teores de Esmectita, resultados também observados por FREIRE et al. (2003a). e PAES et al. (2014).

Com essa dispersão na fração argila é criada uma condição desfavorável para formação de agregados no solo, impossibilitando que a drenagem ocorra de forma efetiva mesmo mediante aumento da condutividade elétrica, pois não ocorre a lixiviação de sais, principalmente o sódio presente na solução do solo. É possível observar na curva (Figura 6) uma queda constante e mais acentuada nos valores da K_{sat} à medida que aumenta o valor da RAS para os três solos avaliados.

O Planossolo apresentou uma condição anormal ao tratamento, pois, com a aplicação de águas de baixas CE (128 e 718 $\mu\text{S cm}^{-1}$) não houve passagem de água pela coluna do solo, indicando alta obstrução de poros. É um solo que demonstra característica de difícil drenagem semelhante ao Vertissolo, pois também apresenta argilominerais do tipo 2:1 (figura 4), aumentando consideravelmente sua capacidade de reter a água no solo.

O aumento da condutividade hidráulica só foi observado mediante aplicação das soluções percolantes com menores RAS e maiores CEs, sendo praticamente nula a drenagem do solo em valores da CE abaixo de $2500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figura 9). Em estudos realizados por PAES et al. (2014), solos que possuem PST elevada e alta densidade de cargas negativas, como no caso do Planossolo (tabela 7) necessitam de maior concentração de sais para que ocorra neutralização do solo e consequente lixiviação dos íons Na^+ , o que foi denotado por FREIRE et al. (2003a) ao estimar valores limites da PST que afetam negativamente a K_{sat} em diferentes tipos de solo e níveis de CE.

Somando à característica natural de possuir alta densidade de cargas elétricas negativas nos argilominerais do grupo das esmectitas, este solo necessita da adição de cátions para promover a floculação da argila, ou seja, quando se aplicam águas com baixos teores de sais, há um excedente de cargas negativas que irão promover a dispersão na fração mais fina do solo.

Os dados demonstram a importância de avaliar a qualidade das águas usadas na irrigação, pois águas salinas não só prejudicam, mas também contribuem para melhoria da permeabilidade do solo se sua utilização for adequada com o manejo para cada tipo de solo.

5.3. Porcentagem de sódio trocável

O incremento da PST nos solos está relacionado diretamente com o aumento da RAS (tabela 9), onde este aumento é mais significativo em solos com maior percentual de argila ativa (presença de argilominearis 2:1), como o Vetissolo e Planossolo. Freire et al. (2003b) também observaram que em solos menos evoluídos, com maior presença de esmectita na fração argila, apresentaram maior afinidade no processo de saturação por sódio devido à alta densidade de cargas negativas presentes nesses solos., promovendo menor permeabilidade nos solos estudados.

Como consequência, o aumento da PST causa efeitos negativos nos atributos físicos do solo, como aumento na argila dispersa, obstrução dos poros e redução na permeabilidade do solo, resultados estes demonstrado por e PAES et al. (2013) e OLIVEIRA (2018). Tais características contribuem para a diminuição da condutividade hidráulica, principalmente nos solos ricos em argila, corroborando com os resultados observados nas curvas de resposta à equação de regressão múltipla (figura 6).

Tabela 9. Porcentagem de sódio trocável (PST) nas amostras submetidas ao ensaio de condutividade hidráulica em meio saturado em função da CE e RAS das águas percolantes

RAS	Neossolo Regolítico	Vertissolo Ebânico PST - %	Planossolo Háplico
Condutividade elétrica 128 $\mu\text{S cm}^{-1}$			
0	1,38	1,3	9,63
5	2,99	2,87	11,52
12	4,39	3,42	12,84
20	3,92	3,39	12,5
30	4,04	3,58	13,28
Condutividade elétrica 718 $\mu\text{S cm}^{-1}$			
0	1,03	0,47	9,98
5	4,16	5,3	13,13
12	5,78	7,29	13,67
20	6,83	7,45	14,81
30	9,02	7,95	14,98
Condutividade elétrica 1.709 $\mu\text{S cm}^{-1}$			
0	1,49	0,56	4,18
5	3	5,27	11,46
12	5,56	10,73	14,11
20	9,38	12,61	15,43
30	10,77	14,46	14,8
Condutividade elétrica 2.865 $\mu\text{S cm}^{-1}$			
0	0,8	0,49	0,52
5	2,54	4,63	7,4
12	5,09	11,89	13,14
20	8,09	16,93	17,49
30	10,67	20,26	17,43
Condutividade elétrica 4.671 $\mu\text{S cm}^{-1}$			
0	1,15	0,46	0,41
5	2,31	5,57	4,13
12	4,29	14,48	12,85
20	8,11	20,01	16,92
30	10,89	25,92	21,06
CV%	13,78	23,16	14,58

Para todos os solos estudados foi possível observar que, com o aumento da PST, em todos os níveis de CE, houve a diminuição na permeabilidade do solo, comprovando que, quando o fase sólida do solo está saturada por sódio, há uma dispersão das argilas

com conseqüente obstrução de poros, diminuindo a percolação de água na coluna de solo. A diminuição da percolação das águas também favoreceu no acúmulo de sais, onde a PST do Planossolo nas águas de 128 e 718 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ foram mais altas q as demais devido ao completo impedimento da drenagem.

Devido à alta densidade de cargas elétricas negativas pela presença da esmectita foi notado que os maiores valores de PST foram observados no Vertissolo Ebânico e Planossolo Háptico, especialmente com a aplicação de águas com maiores valores de CE e RAS devido à alta concentração do Na^+ nestes tratamentos, o que por sua vez acelerou o processo de saturação do complexo de troca pelos íons Na^+ .

Com os resultados dessa pesquisa fica evidente a grande interferência dos atributos químicos do solo sobre as propriedades físicas, demonstrando que, a avaliação do solo deve ser feita considerando-se todos os seus atributos (químicos, físicos, biológicos, mineralógicos entre outros) para o melhor funcionamento e qualidade do sistema solo.

6. CONCLUSÃO

Os solos com maior concentração de argila ativa tiveram melhor resposta aos tratamentos, o que reflete que não só o teor, mais também o tipo de argila presente nos coloides tem influência direta sobre os processos de salinização e sodificação do solo.

O aumento da condutividade elétrica e a diminuição da RAS influenciou positivamente na K_{sat} dos solos., sendo o Planossolo e o Vertissolo os mais afetados pela qualidade das águas.

A concentração da RAS influenciou diretamente no aumento da porcentagem de sódio trocável (PST). Tal aumento na PST possui efeitos diretos nas características físicas do solo que afetam a K_{sat} negativamente.

7. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Os ensaios de condutividade hidráulica demandaram muito tempo e cuidado na preparação, em que cada solo teve uma exigência de preparo. Apesar da pandemia do COVID-19, foi possível a conclusão do trabalho, com êxito na execução e na análise dos dados.

8. ATIVIDADES PARALELAS DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

Foram realizados trabalhos com o grupo de pesquisa “Caracterização e manejo de solos afetados por sais” da UFRPE auxiliando mestrandos e doutorandos no desenvolvimento de suas pesquisas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. 2015. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 2, p. 188- 202.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Acidez, Alcalinidade, Aridez e Salinidade do Solo. In: BRADY, N. C.; WEIL, R. R... *A Natureza e propriedades dos solos*. 3ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2012, p.76-97.

BRITO, L. T. de L.; BRAGA, M. B.; NASCIMENTO, T. Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 5, p. 137-169. ISBN 978-85-7405-014-0. Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89980/1/Luiza.pdf>>. Acesso em: 3 de fev. 2020.

BUOL S. W.; SOUTHARD R. J. ; GRAHAM R. C. ; MCDANIEL P. A. . *Soil Genesis and Classification*. 6th Edition. New Jersey, EUA: Wiley-Blackwell, July 12th, 2011. p. 12-89 - 102. ISBN 9780470960592. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=fXCMDwAAQBAJ&lpg=PR5&ots=D6bUkZk9wc&dq=factors%3B%20genesis%3B%20soil&lr&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q=factors;%20genesis;%20soil&f=false>>. Acesso em: 22 de jan de 2020.

- CARVALHO, F. G. J. de. Situação dos recursos hídricos e da irrigação nos Municípios do Agreste Meridional de Pernambuco, a partir do censo agropecuário de 2017. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2019.
- CASTRO, C. de N. Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2018. p. 32 - 33, ISSN 1415-4765. Disponível em:<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8286/1/TD_2369.pdf>. Acesso em: 5 de fev. 2020.
- D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYA, C.W. global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, v.51, p.326–344, 2013.
- DALIAKOPOULOS, I.N.; TSANIS, I.K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N.N.; VAROUCHAKIS, A.E.; KARATZAS, G.P.; RITSEMA, C.J. The threat of soil salinity: a European scale review. *Science of the Total Environment*, v.573, p.727-739, 2016.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. 2010. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados*. Fortaleza, INCTSal, p.129-141.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 3.ed. (Revista e ampliada) Brasília - DF, 573p., 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 219 - 217 ISBN 978-85-7035-817-2. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 3 de fev. de 2020
- FERREIRA, J. T. P. et al. Planosols Developed in Different Geoenvironmental Conditions in Northeastern Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 40, e0150131, 2016. Available from

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832016000100302&lng=en&nrm=iso>. Access on 28 jan. 2020.

FREIRE, M. B. G. dos S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H. & FREIRE, F, J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.45-52, 2003a.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.227- 232, 2003b.

GKIOUGKIS, I.; KALLIORAS, A.; PLIAKAS, F.; PECHTELIDIS, A.; DIAMANTIS, V.;DIAMANTIS, I.; ZIOGAS, A.; DAFNIS, I. Assessment of soil salinization at the eastern Nestos River Delta, N.E. Greece. *Catena*, v.128, p.238-251, 2015.

HARON, M.; DRAGOVICH, D. Climatic influences on dryland salinity in central west New South Wales, Australia. *Journal of Arid Environments*, v.74, n.10, p.1216-1224, 2010.

HARRIS M.A., RENGASAMY P. Aggregation of Sodic Subsoils Using Gypsum and Decomposable Phyto-organics: Interactions and Implications for Bauxite Red Muds. In: *Geobiotechnological Solutions to Anthropogenic Disturbances. Environmental Earth Sciences*. Springer, Cham. 2016. p. 227 – 250. ISBN 978-3-319-30465-6. Available from:< https://doi.org/10.1007/978-3-319-30465-6_9>. Access on: 11 feb. 2020.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. 2007. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, n.1, p.39-50.

KANZARI, S.; HACHICHA, M.; BOUHLILA, R; BATTLE-SALES, J. Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan) – Salinization risk of soils and aquifers. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.86, p.34-42, 2012.

- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1.
- KEREN, R.; SHAINBERG, I.; KLEIN, E. 1988. Settling and flocculation value of sodium montmorillonite particles in aqueous media. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:76-80.
- KLOPP, H.W., Effect of Soil ESP and Salinity on Soil Atterberg Limits, Swelling and Hydrologic Properties (Ph.D.), University of Wisconsin, Madison, Wisconsin (USA), 2019. Available from: <<https://search.proquest.com/openview/d31e4be306f69db3202f9f963ace235a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>>. Access on: 11 feb. 2020
- LIMA, G. K. Caracterização de vertissolos do nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2014. Disponível em: <http://ww3.pgs.ufrpe.br/sites/ww2.novoprppg.ufrpe.br/files/documentos/glevia_kamila_lima_0.pdf>. Acesso em: 5 de fev. 2020
- LUO, J.; ZHANG, S.; ZHU, X.; LU, L.; WANG, C.; LI, C.; CUI, J.; ZHOU, Z. Effects of soil salinity on rhizosphere soil microbes in transgenic Bt cotton fields. Journal of Integrative Agriculture, v.16, n.7, p.1624-1633, 2017.
- MARCHUK, A. MARCHUK, S. Effect of applied potassium concentration on clay dispersion, hydraulic conductivity, pore structure and mineralogy of two contrasting Australian soils. Soil and Tillage Research. Volume 182, 2018. pages 35-44. Available from: < <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.016>>. Access on: 23 aug 2020.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clay and clay minerals, v.7, 1960.
- MELO, M. R.; BARROS, C. F. M.; SANTOS, M. P.; ROLIM, M. M. 2008. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.4, p.376-380.

- MIRANDA, M. A. et al. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 484-490, May 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000500008&lng=en&nrm=iso>. Access on 13 Feb. 2020.
- OLIVEIRA, M. C. de. Dinâmica d'água em um Vertissolo da Bacia do Rio São Francisco sob influência de sódio. 2018. 72 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em:< <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/28823>>. Acesso em:22 de ago. 2020
- PAES, J. L. de A. et al. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1135-1142, nov. 2013. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001100002&lng=en&nrm=iso>. Access on: 23 Aug. 2020.
- PAES, J. L. de A. et al. Hydraulic conductivity in response to exchangeable sodium percentage and solution salt concentration. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 715-722, Oct. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000500015&lng=en&nrm=iso>. Access on: 23 aug. 2020.
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T. E SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.
- PESSOA, L. G. M.; OLIVEIRA, E. E. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. A.; SANTOS, R. L. Composição química e salinidade do lixiviado em dois solos cultivados com cebola irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 5, n. 3, p. 406- 412, 2010.
- PRAPAGAR, F.; INDRARATNE, S. P.; PREMANANDHARAJAH, P. Effect of soil amendments on reclamation of saline-sodic soil. *Tropical Agricultural Research*, Peradeniya, v. 23, n. 2, p. 168-176, 2012.

- RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, 2010. INCTSal. p.11-19.
- RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S; ALVAREZ, V. H. (eds.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.
- RUIZ, H. A. et al. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1119-1126, Nov. 2004. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004001100010&lng=en&nrm=iso>. access on: 04 Feb. 2020.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300, 2005. (NOTA).
- SANTOS, J. C. B. dos et al. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 683-696, June 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000300001&lng=en&nrm=iso>. access on: 08 Feb. 2020.
- SOUSA, J. E. S. de et al. Mineralogy and genesis of Planosols under a semi-arid climate, Borborema Plateau, NE Brazil, *CATENA*, Volume 184, 2020, 104260, ISSN 0341-8162, Available from <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816219304023>>. Access on: 28 jan. 2020.
- TAVARES FILHO, A. N. T.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F. 2012. Incorporação de Gesso Para Correção da Salinidade e Sodicidade de Solos Salino-Sódicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, Brasil. v.16, n.3, p.247–252.

- VASCONCELOS, R. R. A. de et al . Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1318-1325, Dec. 2013. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001200010&lng=en&nrm=iso. Access on: 22 de aug. 2020.
- VASCONCELOS, R. R. A.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; CORDEIRO NETO, A. T.; BARROS, M. F. C. Qualidade da água drenada e desenvolvimento do feijão caupi em solos salino-sódicos após uso de gesso associado à lâmina de lixiviação. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v.10, n. 3, p. 640-650, 2016.
- WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. Geoderma, v.310, 2018. p.1-11, 20128.
- XU, D.; CHUNLEI, L.; XIAO, S.; HONGYAN, R. The dynamics of desertification in the farming-pastoral region of North China over the past 10 years and their relationship to climate change and human activity. Catena, v.123, p.11-22, 2014.
- YAZDANPANA, N.; PAZIRA, E.; NESHAT, A.; NAGHAVI, H.; MOEZI, A. A.; MAHMOODABADI, M. Effect of some amendments on leachate properties of a calcareous saline-sodic soil. International Agrophysics, Lublin, v. 25, n.3, p. 307-310, 2011.