

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**DINÂMICA DE ÁGUA E ÍONS EM SOLOS COM E SEM
COBERTURA CULTIVADO COM ABACAXIZEIRO CV. BRS
IMPERIAL**

Mardja Luma da Silva Sales

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
2022**

DINÂMICA DE ÁGUA E ÍONS EM SOLOS COM E SEM COBERTURA CULTIVADO COM ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL

Mardja Luma da Silva Sales
Engenheira Agrícola e Ambiental
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2015

Tese apresentada ao colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho

Coorientador: Dr. Hans Raj Gheyi

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**DINÂMICA DE ÁGUA E ÍONS EM SOLOS COM E SEM
COBERTURA CULTIVADO COM ABACAXIZEIRO CV. BRS
IMPERIAL**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Mardja Luma da Silva Sales

Aprovada em: 29 de abril de 2022

Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Embrapa Mandioca e Fruticultura - (EMBRAPA)
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Rocha dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano)
Examinador externo

Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano (IF-Baiano)
Membro externo

Prof. Dr. Tullio Raphael Pereira de Pádua
Embrapa Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA)
Membro externo

Prof. Dra. Arlene Gomes de Oliveira
Embrapa Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA)
Membro externo

DEDICATÓRIA

A Deus, minha força, meu sustento, meu refúgio ... eu nada sou sem Ti!

Aos meus pais, Geruza Oliveira e Francisco Cirilo; vocês são o motivo para eu sempre querer ser uma pessoa melhor e não desistir dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Giedson, Girley, Chiquito, Marquinhos, Mardrige, Mardria e Mardrine, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

Aos meus sobrinhos Niedson, Clinton, Bryan, Maria Ester, Marina, Sofia e Hilla Maria, que além de sobrinha é minha afilhada, vocês revigoram minhas forças em forma de amor e alegria.

A todos os meus familiares que acreditaram em mim e depositaram muito companheirismo e incentivo.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu a vida e a sabedoria para seguir adiante, sem Ele nada seria possível; agradeço por ser tão presente, por me ajudar a enfrentar esses anos difíceis, me conduzindo ao caminho correto e me concedendo bênçãos mesmo sem eu merecer. Agradeço por ter me feito chegar até aqui, concluir mais essa conquista e me guiar nas próximas.

Aos meu pais, Geruza Oliveira e Francisco Cirilo pelo grande apoio, por acreditarem nos meus sonhos, e não só por isso, mas principalmente por sonharem junto comigo. Vocês são os melhores pais do mundo, verdadeiras bênçãos em minha vida.

Aos meus pais biológicos, Maria Elzimi e Marcos Antônio, por terem me gerado dando-me a oportunidade de viver;

Aos meus irmãos Girley, Giêdson, Chiquito, Marquinhos, Mardrige, Mardrine e Mardria pelo apoio e incentivo; vocês são essenciais em minha vida;

À toda a minha família: irmãos, avós, tias, tios e primos pelo apoio e dedicação;

Ao meu orientador prof. Dr. Eugenio Ferreira Coelho pela paciência, motivação, competência e auxílio na elaboração deste trabalho, deixo meu significativo respeito.

Ao meu Coorientador prof. Dr. Hans Raj Gheyi pelas valiosas contribuições, incentivo e cobranças.

A Lenilson Wisner por ser essa pessoa magnífica sempre pronta ajudar e incentivar para que eu nunca desistisse, admiro demais a sua sabedoria, persistências e determinação nas coisas da vida.

Agradeço a Damiana pelo companheirismo e incentivo diário, pelas forças para seguirmos e por muitas vezes se dispor a ajudar.

Aos companheiros de laboratório, Tarcisio, Paulo, Theo, Lucas, Tacio, Ruan, Rafael e Laína que acompanharam e contribuíram para execução dos experimentos e realização das análises, tornando meus dias mais leves e divertidos.

Aos amigos doutorandos, pois dividimos vários momentos de alegria e tristeza durante o curso, Evelyn, Lucas, Igor, Magali, Roberto, Diego, Stephanie, Tayrone, Gerlange, Lucio, Petterson e Lumi pela convivência, ensinamentos e

momentos, foi um prazer caminhar essa etapa junto com vocês e pela força de todos os momentos.

A Andrezza que me incentivou a fazer a seleção e que foi companheira de vida e de academia.

A Laís que durante os últimos anos se fez presente em meus dias, compartilhando alegrias, tristezas e experiências

Aos meus amigos que fiz durante a minha vida e sempre estão presentes: Ruan, Jéssyca, Jessica, Paula, Aline, Jaine, Claudinho, João André, Albinha, Angélica, Nadsara, Karlinha, Rafaela, Joelma, Daniely e Naiely.

Aos amigos que eu fiz durante o doutorado e que me acolheram com muito carinho: Sarah, Stephanie, Luma, Juliana, Matheus e Ramon.

Ao corpo docente do PPGEA-UFRB pelas contribuições associadas à minha formação acadêmica e profissional.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura por ter sido minha casa durante esses anos e pela oportunidade em desenvolver meus experimentos nessa instituição.

À Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo para que eu pudesse estudar e desenvolver meus experimentos.

As pessoas que direta ou indiretamente participaram da realização desse sonho, meus sinceros agradecimentos.

Muitíssimo obrigada!

“Somos o que repetidamente fazemos. A excelência, portanto, não é um efeito, mas um hábito

Aristóteles

DINÂMICA DE ÁGUA E ÍONS EM SOLOS COM E SEM COBERTURA CULTIVADO COM ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL

Autor: Mardja Luma da Silva Sales
Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Coorientador: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

RESUMO: Este estudo avaliou a otimização do uso da água, extração e lixiviação de íons durante o ciclo do abacaxizeiro cv. Imperial sob irrigação por gotejamento em diferentes solos com e sem cobertura sintética (mulch). Para tanto, foi necessário a condução de quatro experimentos, realizados em laboratório, campo e lísimetros de drenagem. O primeiro experimento consistiu em avaliar a marcha de absorção de macronutrientes, qualidade dos frutos e produção pela cultura do abacaxizeiro cv BRS Imperial com uso do mulching sintético como cobertura do solo em solo de textura franco arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições e tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas. Foram determinadas curvas de absorção de macronutrientes a quantidade de nutrientes extraída e o acúmulo total de nutrientes no ciclo da cultura. A utilização do mulching promove maior acúmulo de matéria seca em todos os órgãos da planta de abacaxizeiro, e aumento da disponibilidade dos macronutrientes para as plantas em relação aos tratamentos sem cobertura do solo. O segundo experimento objetivou-se ajustar modelos para a determinação da CE da solução do solo em função da CE aparente determinada pela TDR e gerar modelos de calibração resultando na constante de Geise e Tieman (1975), necessária para a obtenção precisa da CE aparente do solo, considerando o sinal eletromagnético da TDR - sonda e da TDR-multiplexador em nível 1- multiplexador, nível 2- sonda em solução e em dois tipos de solos de textura distinta (Argiloso arenoso e Areia franca) a partir de duas metodologias de preparo de amostras para calibração. A constante K_p ou constante de Giese-Tieman foi determinada através de leituras de diferentes níveis de condutividade elétrica em amostras de solo e também em solução, utilizando adubo puro e comercial para fertirrigação, essas medidas da CEa foram realizadas utilizando a sonda conectada diretamente à TDR 100 ou apresentando o acoplamento a multiplexadores eletromecânicos e distribuidor. O tipo de solo influencia na determinação da constante de Giese e Tieman, sendo necessário estabelecer uma constante de Giese e Tieman diferente para cada tipo de solo. O terceiro avaliou uma aproximação para a extração e lixiviação de nitrato e de potássio através de dados reais durante o ciclo do abacaxizeiro cv. Imperial sob irrigação por gotejamento em diferentes tipos de solo com e sem cobertura sintética (mulch). Foram monitoradas por TDR a distribuição da umidade e a condutividade elétrica aparente no perfil do solo em intervalos de 20 em 20 minutos entre a aplicação da sucção e a retirada da solução. Foram consideradas duas formas de determinar nitrato e potássio, uma é em função da CEa da TDR da umidade, e a outra em função apenas da CEw e CE do da solução do solo. Os dados da Condutividade elétrica da solução do solo (CEw) e do teor de nitrato e potássio da solução do solo foram

relacionados por meio de modelos matemáticos. As maiores extrações foram verificadas aos 410 dias após o plantio (fase de frutificação). A extração de potássio foi bem superior à de nitrogênio. Houve uma menor mobilidade do K⁺ no perfil do solo em relação ao NO₃⁻, o qual apresentou uma maior lixiviação, principalmente na fase de crescimento vegetativo da cultura. E o quarto experimento, teve por objetivo avaliar uso de água pelo abacaxizeiro cv BRS Imperial com utilização de mulching em solos de textura argilosa e arenosa, cultivado em lisímetros de drenagem, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros. foram avaliadas as seguintes variáveis: armazenamento de água no solo, e lâmina aplicada, eficiência do uso da água e pegada hídrica. A cobertura do solo proporcionou aumento da taxa de crescimento das plantas. As maiores lâminas totais aplicadas foram notadas nos tratamentos que não contemplavam o mulching como cobertura do solo, tanto para solo arenoso quanto para solo argiloso. O uso da cobertura do solo associado ao solo argiloso promoveu o maior armazenamento e economia de água, assim, uso mais eficiente dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: *Ananas comosus*, Extração de macronutrientes. Eficiência no uso da água. Mulch.

WATER AND ION DYNAMICS IN SOILS WITH AND WITHOUT COVER CROPPED WITH PINEAPPLE CV. BRS IMPERIAL

Autor: Mardja Luma da Silva Sales

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

ABSTRACT: This study evaluated the optimization of water use, extraction and leaching of ions during the cycle of pineapple cv. Imperial under drip irrigation in different soils with and without synthetic mulch. For this purpose, four experiments were conducted in the laboratory, field and drainage lysimeters. The first experiment consisted in evaluating the uptake of macronutrients, fruit quality and production of pineapple cv BRS Imperial with the use of synthetic mulching as ground cover in a sandy loam soil. The experimental design was in randomized blocks, with three repetitions and treatments arranged in subdivided plots. Macronutrient uptake curves, the amount of nutrients extracted, and the total nutrient accumulation during the crop cycle were determined. The use of mulching promoted greater accumulation of dry matter in all organs of the pineapple plant, and increased availability of macronutrients for the plants compared to treatments without soil cover. The second experiment aimed to adjust models for the determination of soil solution EC as a function of apparent EC determined by TDR and to generate calibration models resulting in the constance of Geise and Tieman (1975), necessary to accurately obtain apparent soil EC, considering the electromagnetic signal from TDR-probe and TDR-multiplexer in level 1- multiplexer, level 2- probe in solution and in two types of soils with distinct texture (Sandy clay and Sandy loam) from two sample preparation methodologies for calibration. The Kp constant or Giese-Tieman constant was determined through readings of different levels of electrical conductivity in soil samples and also in solution, using pure and commercial fertilizer for fertirrigation, these ECa measurements were performed using the probe connected directly to the TDR 100 or presenting the coupling to electromechanical multiplexers and distributor. The soil type influences the determination of the Giese and Tieman constant, and it is necessary to establish a different Giese and Tieman constant for each soil type. The third one evaluated an approach for nitrate and potassium extraction and leaching using real data during the cycle of Imperial pineapple under drip irrigation in different soil types with and without mulch. Moisture distribution and apparent electrical conductivity in the soil profile were monitored by TDR at 20 min intervals between suction application and solution removal. Two ways of determining nitrate and potassium were considered, one is as a function of the ECa from the moisture TDR, and the other is as a function of only the ECw and EC of the soil solution. The data of soil solution electrical conductivity (ECw) and soil solution nitrate and potassium content were related by mathematical models. The highest extractions were seen at 410 days after planting (fruiting stage). Potassium extraction was much higher than nitrogen extraction. There was a lower mobility of K⁺ in the soil profile in relation to NO₃⁻, which presented greater leaching, especially during the vegetative growth phase of the crop. The fourth experiment aimed to evaluate the use of water by the pineapple cv BRS Imperial with the use of mulching on clay and sandy soils, grown in drainage

lysimeters, under the edaphoclimatic conditions of the Tabuleiros Costeiros. The following variables were evaluated: water storage in the soil, and applied blade, water use efficiency and water footprint. The soil cover provided an increase in plant growth rate. The highest total applied slash was noticed in the treatments that did not include mulching as soil cover, both for sandy and clay soil. The use of mulching associated with clay soil promoted greater storage and water savings, thus more efficient use of water resources.

KEYWORDS: Ananas comosus, Macronutrient extraction. Efficiency in water use. Mulching.

LISTA DE ABREVIATURAS

AA – Acidez total
AF – Área Foliar
AOAC – Association of Analytical Chemistry
Al – Alumínio
ARM- Armazenamento de água
Ca – Cálcio
CAM – Mecanismo ácido das crassuláceas
CE – Condutividade elétrica
CEa – Condutividade elétrica aparente
CEw – Condutividade elétrica da solução do solo
CEs – Condutividade elétrica do solo
CFD – Comprimento da folha D
Cl – Concentração iônica
COB – Cobertura do solo
CC – Com cobertura
CFTC – Comprimento do fruto sem coroa
CTC – Capacidade de troca catiônica
d – Índice de concordância de Willmott.
DAP – Dia Após o Plantio.
DFC – Número de dias do florescimento a colheita.
Diâm – Diâmetro de fruto
EUA – Eficiência de utilização de água
DPC – Número de dias do plantio à colheita
ETc – Evapotranspiração da cultura
ETo – Evapotranspiração de referência
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
FAO – Organização das nações unidas para a agricultura e alimentação.
GSD – Desvio padrão geral
H – Hidrogênio
K – Potássio
kg – Quilo
Kp – Constante da sonda
LAM – Lâmina aplicada
LFA – Laboratory in food analysis/Laboratório em análise de alimentos
LFD – Largura da Folha D
Mg – Magnésio
M.O – Matéria orgânica
MSC – Massa seca do caule
MSF – Massa seca da folha
MSR – Massa seca da raiz
Na – Sódio
N – Nitrogênio
P – Fósforo
PA – Adubo puro
PEGH – Pegada hídrica
PFC – Peso de frutos com coroa

PROD – Produtividade por hectare
pH – Potencial hidrogeniônico
PT – Massa seca da planta total
 R^2 – Coeficiente de determinação
RMSE – Raiz quadrada da média dos quadrados dos erros
SB – Soma de bases
SC – Sem cobertura
SENAR – Serviço nacional de aprendizagem rural
SS – Sólidos solúveis
TDR – Reflectometria no domínio do tempo
V% – Saturação por bases

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométricas temperaturas máximas e mínimas, registrada no município de Cruz das Almas, durante a condução do experimento do ciclo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	33
Figura 2. Interação do acúmulo de matéria seca no caule em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.	39
Figura 3. Interação do acúmulo de Ca e Mg na folha D, em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.	43
Figura 4. Interação do acúmulo de N, P, Ca e Mg em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.	44
Figura 5. Interação do acúmulo de P, em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.	44
Figura 6. Interação do acúmulo de P e Mg, na planta total, em função da cobertura do solo e dos dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.	45
Figura 7. Processo de lavagem (A); saturação e inserção das sondas (B); inserção dos extratores (C); layout do programa PCTDR (D). Fonte: Acervo do autor (2020).	64
Figura 8. Coeficientes de determinação e constantes de Geise e Tieman estimadas com a guia de onda conectada a TDR utilizando nitrato de potássio PA (A) e comercial (B) e estimadas com multiplexadores intermediando a sonda ao PC-TDR em solução de nitrato de potássio PA (C) e comercial (D).	66
Figura 9. Coeficientes de determinação e constantes de Geise e Tieman (1975) dos valores de CE estimados com sondas conectadas diretamente à TDR em solo arenoso (A), em solo franco argilo arenoso (B) e com uso de multiplexadores em solo arenoso (C) e em solo franco argilo arenoso (D).	68
Figura 10. Dados pluviométricos mensais coletados durante a condução do experimento do ciclo do abacaxizeiro cv BRs Imperial.	101
Figura 11. Esquema de distribuição de sondas de TDR para coleta de dados de umidade do solo, no cultivo do abacaxizeiro cv. BRS imperial.	106
Figura 12. Número de irrigação aplicada por mês nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	110
Figura 13. Médias das lâminas de água aplicada por mês nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	111
Figura 14. Médias da água disponível no solo antes da irrigação, por mês, nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físicos químicos do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas - BA.	34
Tabela 2. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de 38.000 plantas ha ⁻¹).	35
Tabela 3. Taxa de acúmulo de matéria seca e % de incremento em partes das plantas MF – massa seca da folha, MFD- Massa seca da folha D, MC – Massa seca do caule, MR – Massa seca da Raiz e PT- Massa seca da Planta total ao longo dos dias após o plantio em plantas de abacaxizeiro cv BRS Imperial submetidos a dois tratamentos T1- com cobertura do solo, T2 – sem cobertura do solo.	41
Tabela 4. Modelo de regressão ajustado para interação entre os fatores nos acúmulos de macronutrientes pelo abacaxizeiro BRS Imperial.	45
Tabela 5. Taxa de acúmulo e % de incremento de macronutrientes acumulados (N, P, K, Ca e Mg) ao longo dos dias após o plantio em plantas de abacaxizeiro cv BRS Imperial submetidos a dois tratamentos T1 – com cobertura do solo, T2 – sem cobertura do solo.	47
Tabela 6. Efeito da utilização da cobertura do solo nos atributos químicos dos frutos e de produção do abacaxizeiro cv. BRS Imperial AT - acidez total titulável, SS - sólidos solúveis totais, SS/AT - índice de maturação, PH - potencial hidrogeniônico, Prod – Produtividade por hectare.	48
Tabela 7. Características químicas e físicas dos dois tipos de solo utilizados na calibração.	62
Tabela 8. Valores do coeficiente de determinação (R ²), raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE), coeficiente de concordância (d) e desvio padrão geral (GSD) calculados para cada constante.	67
Tabela 9. Valores do coeficiente de determinação (R ²), raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE), O coeficiente de concordância (d) e do desvio padrão geral (GSD) calculados para cada constante de Giese e Tieman.	70
Tabela 10. Valores dos índices RMSE, d e GSD para as constantes de Geise e Tieman com melhores desempenho e usadas para estimar a CE com sondas conectadas diretamente à TDR e com uso de multiplexadores em solo arenoso e em solo franco argilo arenoso.	71
Tabela 11. Densidade do solo, frações granulométricas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e classe textural do solo da área do experimento, antes da instalação.	81
Tabela 12. Resultado dos atributos químicos do solo antes do plantio na área experimental.	81
Tabela 13. Equações de calibração da TDR para um solo da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas – BA.	83
Tabela 14. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de 38.000 plantas ha ⁻¹).	84
Tabela 15. Médias das quantidades de potássio e nitrato extraído e nos diferentes tipos de solo. Cultivado com abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	89
Tabela 16. Médias da quantidade de potássio e nitrato extraído e lixiviado em abacaxizeiro cv. BRS Imperial, em duas fases do seu ciclo.	89

Tabela 17. Médias da quantidade de potássio e nitrato extraído e lixiviado em abacaxizeiro cv. BRS Imperial, nas diferentes coberturas.	91
Tabela 18. Efeito da interação do tipo de solo e cobertura do solo nas variáveis extração e lixiviação de potássio e no cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	91
Tabela 19. Densidade do solo, frações granulométricas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e classe textural do solo da área do experimento, antes da instalação.	102
Tabela 20. Umidade volumétrica e água disponível para diferentes tensões e tipos de solo da área experimental.	102
Tabela 21. Parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) para diferentes tipos de solo da área experimental.	103
Tabela 22. Resultado dos atributos químicos do solo antes do plantio na área experimental.	103
Tabela 23. Valores médios do comprimento (CFD) e largura (LFD) da folha D, número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de abacaxizeiro, nas fases de crescimento vegetativo e de frutificação.	103
Tabela 24. Equações de calibração da TDR para um solo da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas – BA.	104
Tabela 25. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de 38.000 plantas ha ⁻¹).	105
Tabela 26. Efeito do tipo de solo nas variáveis de armazenamento de água, extração de água e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	112
Tabela 27. Efeito da cobertura nas variáveis de armazenamento de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	113
Tabela 28. Efeito dos dias após o plantio (DAP) na evapotranspiração da cultura (ETC) e coeficiente de cultivo (Kc) durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	114
Tabela 29. Efeito da interação do tipo de solo e cobertura do solo nas variáveis armazenamento de água, extração de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	114
Tabela 30. Efeito da interação dos dias após o plantio e tipo de solo nas variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	115
Tabela 31. Efeito da interação da cobertura com os dias após o plantio nas variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO GERAL	2
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 Irrigação e manejo de irrigação em abacaxizeiro	3
3.2 Balanço de água.....	5
3.3 Transporte de íon no solo	6
3.3.1 Conceitos gerais	6
3.4 Balanço de íons no solo	7
3.5 Dinâmica de íon no volume molhado de solo	8
3.5.1 Nitrato	10
3.5.2 Potássio.....	10
3.6 Absorção de nutrientes pelas raízes.....	12
3.7 Lixiviação de nutrientes	12
3.8 Influência do mulching na dinâmica de íons	14
3.9 Modelagem do transporte de solutos.....	15
3.9.1 Modelagem matemática.....	17
3.10 Características gerais do abacaxizeiro	17
4. REFERÊNCIAS.....	20
CAPÍTULO I – MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM ABACAXIZEIRO CV. IMPERIAL CULTIVADO EM SOLO COM E SEM COBERTURA	28
MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM ABACAXIZEIRO CV. IMPERIAL CULTIVADO EM SOLO COM E SEM COBERTURA.....	29
RESUMO:	29
ABSTRACT:.....	30
1. INTRODUÇÃO.....	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS	33
2.1 Descrição e localização do experimento.....	33
2.2 Sistema e manejo da Irrigação	35
2.3 Manejo da fertirrigação	35
2.4 Delineamento experimental	36
2.5 Medidas fisiológicas.....	36
2.6 Marcha de absorção de nutrientes.....	37
2.7 Produção e qualidade dos frutos	37
2.8. Análises estatísticas	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38

3.1 Crescimento vegetativo	38
3.2 Marcha de absorção de macronutrientes	42
3.3 Qualidade do fruto e produção	48
4. CONCLUSÃO	49
5. REFERÊNCIAS.....	50
CAPÍTULO II - CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TDR PARA ESTIMATIVAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE EM SOLOS.....	55
RESUMO:	56
ABSTRACT:.....	57
1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAIS E MÉTODOS	60
2.1 Local de Estudo	60
2.2 Determinação da Condutividade elétrica aparente	60
2.3 Metodologia de calibração 1	61
2.4 Metodologia de calibração 2	62
2.5 Análises estatísticas	64
2.6 Índice de concordância de Willmott (d)	64
2.7 Validação das constantes	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
3.1 Metodologia 1	65
3.2 Metodologia 2	68
3.3 Comparação das metodologias	70
4. CONCLUSÃO	71
5. REFERÊNCIAS.....	72
CAPÍTULO III- BALANÇO DE ÍONS PARA O ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL EM SOLOS COM E SEM COBERTURA	75
RESUMO:	76
ABSTRACT:.....	77
1. INTRODUÇÃO	78
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	80
2.1 Descrição e localização dos experimentos	80
2.2 Instalação de extratores de solução e sondas de TDR	82
2.3 Calibração das sondas de TDR	83
2.4 Sistema e manejo da Irrigação e fertirrigação.....	83
2.5 Coleta e análise da solução do solo nos tratamentos	84
2.6 Extração de íons na zona radicular do abacaxizeiro	85
2.7 Determinação da lixiviação	86
2.8 Determinação da lixiviação	87

2.9 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	87
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	88
3.1 Extração e lixiviação dos íons nitrato e potássio, no cultivo do abacaxizeiro cv BRS Imperial	88
4. CONCLUSÃO	92
5. REFERÊNCIAS.....	93
CAPÍTULO IV- USO DA ÁGUA PELO ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL EM SOLOS COM E SEM COBERTURA	96
RESUMO	97
1. INTRODUÇÃO	99
2 MATERIAS E MÉTODOS	100
2.1 Descrição e localização do experimento.....	100
2.2 Calibração das sondas de TDR	104
2.3 Sistema e manejo da Irrigação e fertirrigação.....	104
2.4 Balanço de água na zona radicular do abacaxizeiro	106
2.6 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	109
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	109
3.1 Lâmina total aplicada e frequência de irrigação nos diferentes tratamentos	109
3.2 Água disponível no solo.....	111
3.3 Armazenamento de água, extração de água, coeficiente de cultivo e evapotranspiração da cultura.....	111
4. CONCLUSÃO	116
5. REFERÊNCIA	117

1. INTRODUÇÃO GERAL

Na agricultura, a aplicação de água como forma de suprir as demandas das culturas sofreu, ao longo dos anos, muitas transformações. Não obstante, a adoção de novas tecnologias tem permitido tanto aumentar a produtividade quanto manter o nível economicamente viável a longo prazo. Não somente a aplicação de água tem puxado a engrenagem econômica, como a aplicação de fertilizantes também tem evoluído e contribuído para uma estabilidade produtiva.

No geral, as demais culturas têm acompanhado esse pacote tecnológico que vem sendo atualizado constantemente, dentre elas tem-se a cultura do abacaxizeiro, que é considerada uma das mais importantes frutíferas das regiões tropicais e subtropicais (NADZIRAH et al., 2013). Trata-se de uma planta exigente quanto aos aspectos nutricionais, demandando normalmente quantidades de nutrientes que a maioria dos solos cultivados não consegue suprir integralmente, este nível elevado de exigências justifica a necessidade da prática de adubação (BORGES; COELHO, 2009).

No que tange no aumento da demanda por alimentos, é necessário otimizar a utilização dos recursos naturais e elevar o rendimento das culturas. A irrigação e a fertirrigação são apresentadas como práticas agrícolas que possibilitam maior impacto no aumento da produtividade na agricultura (SOUSA et al., 2011).

A fertirrigação tem evoluído lado a lado com o avanço de técnicas de irrigação, haja vista que a fertirrigação apresenta inúmeras vantagens em relação ao método de aplicação dos fertilizantes na forma sólida. É uma alternativa que quando bem aplicada evita perdas por lixiviação e percolação resultando em uma maior eficiência na aplicação dos fertilizantes (CUNHA et al., 2019).

O aprimoramento da aplicação de fertilizantes na água de irrigação requer um conhecimento que vai desde a demanda da cultura até o tipo de solo, manejo de irrigação e qualidade da água. No meio solo-planta, estudar o transporte de íons na solução do solo e a absorção das raízes é o carro chefe

para se propor em determinadas culturas um manejo adequado de fertirrigação.

Na maioria dos casos as técnicas aplicadas para avaliar ou prever a dinâmica de íons no solo são fundamentadas no deslocamento de fluidos miscíveis e métodos computacionais (modelagem). No que se refere ao desenvolvimento e aplicação de modelos físico-matemáticos, é essencialmente necessário a obtenção de dados experimentais provenientes de ensaios em colunas de solo, de lixiviação e diluição de íons em laboratório ou em campo para ajustar os modelos às condições locais de estudo (MATOS et al., 2013).

Para que o manejo da fertirrigação seja realizado de maneira adequada é necessário monitorar periodicamente os íons do solo para prever impactos causados que possam comprometer o desenvolvimento das plantas. Com o monitoramento da variação espacial e temporal do teor de água (θ), da condutividade elétrica do solo (CEs), da condutividade elétrica da solução do solo (CEss) e da concentração iônica (C_i) é possível determinar quanto foi perdido de água por percolação, além de determinar as regiões de extração de nutrientes pelas plantas e as possíveis perdas de nutrientes por lixiviação (RHOADES et al., 1976; VOGELER et al., 1996; SANTANA et al., 2007).

O nitrogênio e o potássio são considerados os nutrientes mais absorvidos pelas fruteiras e de maior dinâmica no solo (COELHO et al., 2011). Evidenciando assim a relevância do estudo de dinâmica íons em uma referida cultura a fim de estabelecer um manejo adequado na fertirrigação, com vistas a um uso racional dos recursos produtivos, por meio de um manejo correto das técnicas agrícolas.

2. OBJETIVO GERAL

Quantificar o uso da água, extração e a lixiviação de íons durante o ciclo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial, quando cultivado em solo arenoso e franco arenoso, com e sem cobertura sintética e sob as condições de campo e lísímetro de drenagem.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar efeito da cobertura do solo na dinâmica dos íons nitrato e potássio na solução do solo ao longo do ciclo para a cultura do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.
- Avaliar o balanço de íons observados para quantificar a extração de nitrato e do potássio da solução do solo pelo abacaxizeiro cv. BRS Imperial.
- Avaliar o balanço dos íons de nitrato e potássio na solução do solo como metodologia para marcha de absorção de nitrato e de potássio pelo abacaxizeiro cv. BRS Imperial durante o ciclo da cultura.
- Avaliar o uso de cobertura do solo com mulch em solo arenoso e argiloso como forma de redução da lâmina de irrigação para a cultura do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.
- Avaliar os componentes do balanço de água no solo (evapotranspiração, transpiração e perdas por percolação) para uso de cobertura com mulch em solo arenoso e argiloso.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Irrigação e manejo de irrigação em abacaxizeiro

As atividades agrícolas são as principais responsáveis pelo consumo de água doce, correspondendo a 70% das retiradas globais, podendo chegar a 95% em alguns países em desenvolvimento (FAO, 2020). A FAO (2020) estima que a demanda de água para produção de alimentos aumentará em mais de 50% até 2050. Contudo, o órgão enfatiza que essa quantidade de água pode ser reduzida para 10%, desde que haja melhorias nas práticas de irrigação e aumento nos rendimentos.

Um fator muito importante que se deve ser considerado e planejado para se alcançar melhorias na aplicação de água como forma de suprir a demanda da cultura é o manejo de irrigação. Para isso é importante levar em consideração os seguintes pontos: quanto irrigar, quando irrigar e como irrigar (SOUSA et al., 2019). Esses fatores podem ser determinados baseado nas

condições atmosféricas, nas condições de umidade do solo e nas condições de água na planta (GAVA et al., 2016).

Uma das principais variáveis utilizada para fins de manejo da irrigação, levando em consideração as condições atmosféricas, é evapotranspiração da cultura (ETc). Essa variável é utilizada para definir quando e quanto de água precisa repor ao solo (PASCALE et al., 2011; TAL, 2016). Os métodos de estimativa da evapotranspiração são vários, como: balanço de água no solo, considerados como método padrão; lisímetros de drenagem e as equações empíricas (FRIZZONE et al., 2016).

O monitoramento regular da umidade do solo é indispensável tanto para estabelecer o momento de irrigar quanto para determinar a lâmina de água a ser aplicada. Isso, além de contribuir para a redução do desperdício de água, favorece o aumento da produtividade. As medições dos teores de água podem ser realizadas através de vários métodos (diretos e indiretos) e equipamentos (BRAGA et al., 2017).

Dentre os mais diversificados métodos indiretos de estimativa da umidade no solo, a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), considerada como um método indireto, tem sido bastante aceita devido, principalmente por ser um equipamento seguro, permitindo medir a umidade com precisão, em qualquer profundidade. E tem sido bastante aplicada no balanço da água no solo em condições de campo (SOLDEVILLA-MARTINEZ et al. 2013; REDER et al., 2014).

A irrigação do abacaxizeiro, além de permitir colocar frutos no mercado no período de entressafra e exploração de uma segunda safra, aumenta em até 30% a produtividade comparada ao cultivo de sequeiro (SOUZA et al., 2007). O gotejamento é considerado uma técnica comum de manejo agrícola praticado na produção comercial de vegetais e frutíferas.

Muitos estudos encontrados na literatura comprovam os benéficos da irrigação e manejo da irrigação na cultura do abacaxizeiro, desde que seja realizada de forma adequada. Os resultados do desempenho do abacaxizeiro cultivar Smooth Cayenne quanto à produção e qualidade física de frutos, quando submetido a diferentes lâminas e frequências de reposição de água no solo, mostraram que a irrigação contribui de forma positiva no desenvolvimento

vegetativo e no rendimento da fruta do abacaxizeiro (SOUZA et al.,2009; MELO et al.,2006; SOUZA et al., 2012).

3.2 Balanço de água

A condição hídrica do solo é um dos fatores determinantes para o bom desenvolvimento e expressão do potencial máximo de produção das culturas. A condição hídrica do solo, em cultivos irrigados, demanda um monitoramento constante e rigoroso para que a mesma permaneça adequada de acordo, principalmente, com a cultura implantada (CONCEIÇÃO, 2010). Sendo assim, o manejo de irrigação nessas áreas precisa ser o mais eficiente e racional para que não acarrete em prejuízos por conta de excesso ou déficit de água (SENAR, 2019). Entre os métodos de manejo de irrigação, destaca-se aquele realizado com base na evapotranspiração da cultura (ALLEN et al., 1998).

O balanço de água no solo é um método que permite a determinação da evapotranspiração da cultura, por meio da variação de umidade no perfil. A metodologia consiste no monitoramento da entrada e saída de água no perfil do solo e pode ser determinado através da técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para monitoramento do teor de água. Essa técnica tem como princípio básico a constante dielétrica aparente do solo (K_a) e baseia-se no tempo de propagação de um pulso eletromagnético através da sonda de TDR (SOUZA et al., 2016).

As sondas de TDR precisam passar por um processo de calibração e ajuste a um modelo matemático, seja ele cúbico (COELHO et al., 2006), ou linear (SANTOS et al., 2010). Além disso, precisam ser posicionadas adequadamente numa malha que englobe a zona radicular efetiva da cultura (COELHO et al., 2010). Com isso é possível obter dados de umidade volumétrica do solo para determinar a variação de armazenamento de água no solo, em um determinado período de tempo, considerando as variáveis precipitação, irrigação, percolação e evapotranspiração.

O método do balanço de água na zona radicular, utilizando a técnica de TDR, tem sido considerado preciso, eficiente e seguro para a determinação da evapotranspiração das culturas (SOUZA et al., 2016). Barros (2021) realizou o balanço hídrico do mamoeiro, cv. Tainung, e obteve valores satisfatórios de

evapotranspiração da cultura, estes valores na faixa de 4,12 a 4,78 mm dia⁻¹, para a fase de maturação dos frutos. Lima (2021) avaliou o balanço hídrico no cultivo de abacaxizeiro, cv. BRS Imperial, na fase de frutificação, com e sem cobertura do solo. Este autor observou valores de evapotranspiração da cultura de 5,63 mm dia⁻¹ para plantas cultivadas sem a cobertura do solo em condições normais. Enquanto que a evapotranspiração da cultura para plantas cultivadas com cobertura do solo foi de 1,01 mm dia⁻¹.

3.3 Transporte de íon no solo

O transporte de íons pode ocorrer em meio saturado e insaturado, toda a teoria se baseia nos processos de fluxo de massa, difusão e dispersão. Podem ainda haver reações químicas com outros solutos, formando precipitados, e com os colóides do solo (adsorção). O transporte de solutos em condição não saturada, como um solo (fase sólida) que possui água (fase líquida) e ar (fase gasosa) em seus poros, sistema trifásico, as características hidráulicas são afetadas, dificultando bastante a descrição do transporte de solutos (BORGES JÚNIOR; ANDRADE, 2013).

3.3.1 Conceitos gerais

Conforme é descrito por Coelho et al. (2011) o transporte de solutos em meio poroso pode ocorrer através de três processos. O processo de fluxo de massa é um transporte passivo do soluto dissolvido na água, representado pela Equação 1. As velocidades do soluto e da água são equivalentes, somente na ausência de outros processos.

$$\vec{j}_a = \vec{q}C$$

1

Em que, \vec{j}_a é o fluxo de massa advectivo de solutos (M L⁻² T⁻¹), \vec{q} é o fluxo da solução (L T⁻¹) e C é a concentração do soluto (M L⁻³).

O processo de difusão é governado pelo gradiente de concentração, em que a massa de solutos é transportada do ponto mais concentrado para o

menos concentrado. O movimento dos solutos é aleatório e independe do movimento da água. O fluxo de massa difusivo dos solutos é descrito pela primeira Lei de Fick (Equação 2) (COELHO et al., 2011).

$$\vec{J}_d = -\theta D_m \frac{\partial C}{\partial x}, \text{ sendo } D_m = D_o \tau \quad 2$$

O processo de dispersão, semelhante ao processo de difusão, é governado pelo gradiente de concentração, em que a massa de solutos é diluído na massa de água do ponto mais concentrado para o menos concentrado. No entanto, a velocidade do fluxo de água pode variar, principalmente, com o tamanho do poro, distância da parede do poro, distância entre poros e tortuosidade. Portanto, a solução dispersa em várias direções pelos poros provocando uma mistura da água e do soluto. Resultados de experimentos tem mostrado que o fluxo de dispersão pode ser descrito de forma similar ao fluxo de difusão (Equação 3) (COELHO et al., 2011).

$$\vec{J}_h = -\theta D_h \frac{\partial C}{\partial x}, \text{ sendo } D_h = \lambda v^n \text{ e } v = \frac{\vec{q}}{\theta} \quad 3$$

Em que, \vec{J}_h é o fluxo de massa dispersiva de solutos ($M L^{-2} T^{-1}$), θ é o ter de água no solo ($L^3 L^{-3}$), D_h é o coeficiente de dispersão do soluto em meio poroso ($L^2 T^{-1}$), D_o é o coeficiente de difusão do soluto ($L^2 T^{-1}$), $\partial C/\partial x$ é o gradiente de concentração do soluto na massa de água ($M L^{-4}$), λ é dispersividade, v é velocidade média de avanço da massa da solução, n é uma constante empírica próximo a 1, \vec{q} é o fluxo da solução ($L T^{-1}$) (COELHO et al.,2011).

3.4 Balanço de íons no solo

Comparações entre adição e remoção de nutrientes, nas publicações científicas, servem como ferramenta mestra para o equilíbrio ambiental em relação às práticas de adubação, e deram início nos anos 80 (NIELSEN; BIGAR, 1980). O balanço de nutrientes pode indicar um déficit ou um excesso de fertilizantes no solo.

O equilíbrio de íons nos solos é importante na eficiência de seu uso, proteção ambiental e sustentabilidade dos sistemas. A deficiência ou excesso desses íons pode diminuir o rendimento e/ou qualidade das culturas. Portanto, é essencial manter a aplicação de níveis adequados de íons no solo, não apenas para satisfazer necessidades da planta para sustentar a produção agrícola, mas também para evitar qualquer acúmulo potencial desses nutrientes (GUARESCHI et al., 2019).

A intemperização dos minerais primários e secundários, decomposição da matéria orgânica, principalmente, da adição de fertilizantes, orgânicos ou minerais contribuem para o aumento da concentração desses elementos na solução do solo, entretanto muitos processos naturais atuam diminuindo a concentração do elemento na solução do solo, como lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão e até mesmo a absorção de nutrientes pelas plantas (CONCEIÇÃO, 2016). Além disso, o estágio de desenvolvimento da cultura também interfere na extração/absorção dos nutrientes no solo.

Compreender os processos físico-químicos que ocorrem e acompanhar a distribuição e as transformações dos nutrientes no perfil do solo, antes e depois da fertirrigação é fundamental para tomada de decisão para o manejo do sistema e assim estabelecer ou ajustar a aplicação dos fertilizantes (BARROS et al., 2010).

O balanço de íons no perfil do solo consiste em computar a massa de soluto que entra menos a que sai, ou seja a quantidade de íons que entra no sistema agrícola pela adubação, menos a quantidade absorvida pelas plantas e à quantidade que deixa o sistema pelo processo de lixiviação. Muitos estudos foram realizados pelo balanço de íon por meio de aplicação de modelos matemáticos, entretanto não se encontra na literatura muitos estudos voltados para balanço de íon utilizando equações que permita descrever o balanço em termos de quantificação de entradas e saídas desses elementos (aproximadamente/levantamento).

3.5 Dinâmica de íon no volume molhado de solo

Devido a capacidade de armazenar água em seus poros o solo é comumente denominado de reservatório. Utiliza-se frequentemente o termo

água do solo para referir-se à solução do solo em que as substâncias minerais e orgânicas se encontram dissolvidas, ou seja, água é um de seus componentes (COELHO FILHO et al., 2011).

O movimento da água no solo transporta os íons para distintas profundidades do perfil, durante esse deslocamento parte desses íons pode ser absorvida pelas plantas, outra perdida por percolação profunda e uma outra pode ser precipitada. Esse processo é influenciado pelas propriedades do meio poroso e suas interações, propriedades do líquido percolante e as condições ambientais que influenciam nos parâmetros de transporte dos solutos (COELHO et al., 2011).

Pode-se citar dentre os fatores que influenciam nesse processo o tipo e mineralogia de solo, quantidade de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, espécies de cátions absorvidos, velocidade de percolação, concentração do contaminante, presença de outras substâncias na solução percolante, as condições hidrogeológicas, temperatura e pH do meio (SANTOS et al., 2010).

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação possibilita que um fluido se misture a outro e se desloque no perfil do solo, submetendo-se a diversas mudanças espaciais e temporais. Ao se aplicar fertilizantes o ideal é que eles fiquem retidos na região radicular, ou seja, absorvido pela cultura. O transporte desses solutos, para partes mais profundas do perfil, ameaça a qualidade da água freática, e os tornam indisponíveis às culturas; portanto, a adequação na aplicação de insumos agrícolas contribui para a preservação do meio ambiente e minimiza o desperdício (BRANCO; NAVA; ERNANI, 2016).

A aplicação adequada de fertilizantes via água de irrigação depende da distribuição de águas às plantas, esta deve ocorrer da forma mais uniforme possível, de uma maneira que garanta que todas as plantas recebam a mesma quantidade de nutrientes. A matriz do solo e as reações a que estão sujeitos é quem governa a distribuição e mobilidade dos nutrientes. Essas propriedades dependem dos solutos no meio poroso e, portanto, do nutriente e da fonte de aplicação (COELHO FILHO et al., 2011).

3.5.1 Nitrato

A maioria das plantas absorvem o nitrogênio na forma de nitrato (Malavolta 1980). O Nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais, podendo ser absorvido como NH_4^+ (amônio) ou NO_3^- (nitrato), pode ser aplicado via água de irrigação a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados, contendo três formas básicas de nitrogênio: amida, amônio e nitrato (COELHO et al., 2011).

A aplicação de fontes nitrogenadas por meio da fertirrigação acelera o movimento do nitrogênio no solo resultando no aumento da concentração de nitrato na solução do solo (SILVA; COELHO, 2014). Por apresentar carga negativa o nitrato é facilmente repellido pelas cargas das micelas do solo, principalmente na camada arável, que geralmente apresenta predomínio de carga negativa, devido a essas características o NO_3^- pode ficar livre em solução e ser lixiviado, podendo ao longo do tempo atingir o lençol freático, e não somente aumenta o seu impacto ambiental negativo, mas também representa um grande desperdício dos recursos naturais e uma substancial perda econômica (SILVA et al., 2016).

A presença e o comportamento do nitrato na solução do solo podem variar devido os seguintes fatores: os atributos químicos do solo, da fonte de nitrogênio, da massa aplicada e da concentração do fertilizante nitrogenado na água de irrigação (COELHO et al., 2014).

3.5.2 Potássio

O potássio é um dos principais nutrientes do solo, dentre os cátions minerais mais exigido pela planta. Ele participa de muitos processos vitais da planta. Ele está associado a matéria orgânica e argila do solo. O teor de potássio no solo varia de 0,1% a 3,0% ou mais (GAJGHANE; TONCHER; RAUT, 2015).

Na busca por um equilíbrio dinâmico o potássio pode estar presente no solo nas formas trocáveis, não-trocáveis e solúveis, de maneira que qualquer modificação nos teores de K^+ na solução do solo provocada pela adubação, absorção pela planta ou perda por lixiviação, irá alterar os teores das demais

formas desse nutriente no solo, principalmente das formas trocável e não-trocável (MEDEIROS et al., 2014).

A disponibilidade de K^+ depende do tipo de solo e é afetado pelas suas propriedades físico-químicas, quando uma adubação potássica é realizada, prontamente eleva o teor de K^+ em solução e em seguida aumenta os teores de K^+ trocável e K^+ não-trocável no solo. O K^+ que é diretamente absorvido pelas plantas é o que está presente na solução do solo. Essa passagem de K solúvel para trocável e não-trocável depende de características dos solos como teor de argila, capacidade de troca catiônica (CTC) e minerais presentes; além da fertilização potássica (KAMINSKI et al., 2010).

Vários estudos foram realizados visando a dinâmica deste nutriente, devido à alta mobilidade nos solos tropicais e demanda elevada pelas culturas. Dentre os estudos pode-se citar o realizado por GRECCO et al. (2019). A pesquisa envolveu uma combinação de observações e dados detalhados envolvendo irrigação por gotejamento subterrâneo sob cana-de-açúcar para avaliar o desempenho do HYDRUS-2D na dinâmica da água e do potássio. Para as concentrações de potássio, uns teores abaixo do ideal foram obtidos com o HYDRUS-2D e que a incapacidade do HYDRUS-2D em estimar com precisão a concentração de potássio, portanto, não devem ser vistas como uma limitação do modelo como tal, mas sim uma limitação de nossa compreensão do crescimento de culturas selecionadas processos e funcionamento raiz.

Harsha e Jagadeesh (2017) estudaram a dinâmica do potássio em solos vermelhos das áreas de cultivo de milho. O resultado da presente investigação sugere que o teor máximo de K^+ de solos vermelhos selecionados não é permutável, principalmente fixado na estrutura de argila, tornando muito pequena a disponibilidade para o plantio. O conhecimento de diferentes formas de potássio no solo, juntamente com sua distribuição, tem maior relevância na avaliação do poder de fornecimento de K a longo prazo do solo para as culturas e é importante na formulação de um programa de fertilizantes sólidos para um determinado conjunto de solo e cultura.

3.6 Absorção de nutrientes pelas raízes

A absorção e distribuição de nutrientes na planta é condição essencial para que haja crescimento adequado de seus diversos órgãos. Para que ocorra absorção dos nutrientes pelas plantas, é preciso essencialmente que estes nutrientes estejam presentes na solução do solo em quantidades adequadas e que sejam transportados até à superfície da raiz ou estejam na rota de crescimento das raízes (ROSELEM et al., 2003). Diversos mecanismos como fluxo de massa, difusão e interceptação radicular, são responsáveis pelo contato íon-raiz.

O fluxo de massa está associado ao gradiente de potencial hídrico provocado pela absorção de água pelas plantas que regula o movimento da água no sistema solo - planta-atmosfera. Assim, a concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade de íons transportada por meio desse mecanismo (TAIZ et al., 2017).

O mecanismo de difusão é motivado pelo movimento ao acaso dos íons em direção à raiz, de acordo com o gradiente de concentração gerado na superfície radicular pelo processo de absorção. À medida que o soluto se movimenta no meio poroso, os processos de difusão e dispersão agem criando uma frente de avanço difusa do soluto (TAIZ et al., 2017).

De acordo com Oliveira et al. (2004) no suprimento de nutrientes a interceptação radicular é considerada muito baixa, somente pequena percentagem do nutriente total requerido é suprida por este processo. Já Ruiz et al. (1999) recomenda que a interceptação radicular não deve ser considerada, pois não há a possibilidade de trocas diretas entre as partículas do solo e as raízes da planta, havendo necessidade de um meio líquido.

3.7 Lixiviação de nutrientes

A lixiviação consiste na solubilização e transporte de íons presentes no solo para camadas mais profundas. Esse processo é muito frequente nos solos das regiões tropicais, pois as chuvas são mais abundantes e intensas (SHARMA; SHARMA, 2013). Na ocorrência de intensas chuvas, os elementos

químicos presentes na superfície do solo são carregados para áreas mais baixas como cursos d'água e lençol freático (JADOSKI et al., 2010).

Além dos dispêndios de recursos, a lixiviação de nutrientes afeta diretamente a qualidade ambiental, causando eutrofização de lençóis freáticos e contribuindo na acidificação de solos e lagos e na emissão de gases do efeito estufa, especialmente quando se tratam de fertilizantes nitrogenados (CHEN et al., 2018).

Vários métodos têm sido utilizados para a quantificação da lixiviação abaixo da zona radicular com intuito de determinar a contribuição das práticas agrícolas para a contaminação das águas subterrâneas, todos esses métodos têm vantagens e desvantagens, porém é difícil medir a lixiviação sem perturbar o solo.

Dentre os mais utilizados métodos, temos a dinâmica de lixiviação em colunas de solo deformado, utiliza-se também para esse tipo de determinação amostragem do perfil do solo, drenos de ladrilhos, lisímetros de monólito, entre outros, porém não existe um método direto e único para amostragem de solução do solo sob a maioria das condições do solo (GABRIEL et al., 2012). Esses ensaios de lixiviação utilizam colunas de solo de vários tamanhos preenchidas com amostras, nessas colunas é adicionado o líquido, o qual percola sobre a massa de simulando o processo de lixiviação. Por fim, o lixiviado resultante é armazenado em um reservatório para ser amostrado e analisado.

Ainda de acordo com Gabriel et al. (2012), no que se refere aos métodos indiretos podemos citar os que são fundamentados no conhecimento da dinâmica da água no solo, combinados com a medição de íons presentes na solução do solo, usando extratores de capsulas porosas de cerâmica, que possibilitam determinar a lixiviação com menor perturbação do solo e são práticos para estudos em múltiplas repetições e tratamentos. A aplicação de cálculo da drenagem ou percolação da água abaixo da zona radicular é um dos principais fatores que determinam a lixiviação estando entre os métodos indiretos.

Outra forma também que muito tem auxiliado na determinação da lixiviação é a utilização de modelos numéricos fisicamente baseados no movimento da água no solo e são ferramentas úteis para quantificar a

drenagem da água e a dinâmica geral da água (MUÑOZ-CARPENA et al., 2008).

Estes modelos demandam um grande número de parâmetros e o sucesso das previsões depende da determinação dos parâmetros e da sensibilidade do modelo a esses parâmetros. Diante dessa realidade surge a modelagem inversa que pode ser usada para identificar os parâmetros básicos de fluxo e transporte na tentativa de superar essas limitações e tem a vantagem de resultados baseados em variáveis monitoradas em condições de campo. Este processo permite buscar o melhor conjunto de parâmetros, variando os parâmetros e comparando a resposta empiricamente medida do sistema com a solução numérica fornecida pelo modelo (GABRIEL et al., 2012).

3.8 Influência do mulching na dinâmica de íons

A prática de utilização de mulching combinada com a irrigação por gotejamento é considerada uma técnica comum de manejo agrícola praticado na produção comercial de vegetais e frutíferas. Essa forma de manejo resulta em vários impactos na água e distribuição de nutrientes e, conseqüentemente, afeta a dinâmica dos nutrientes no solo (FILIPOVIĆ et al., 2016).

A aplicação de cobertura plástica proporciona vários benefícios para o cultivo, principalmente a produção de biomassa vegetal, reduz a evaporação do solo, pois atua como uma barreira de umidade que diminui a área superficial da evaporação do solo, afeta o microclima ao redor da cultura, modificando o balanço de radiação (absorção refletividade) da superfície e diminuindo a perda de água no solo. A irrigação por gotejamento é geralmente colocada sob as coberturas para um gerenciamento preciso da umidade e dos nutrientes do solo, o que pode reduzir a frequência e a quantidade de irrigação e reduzir a incidência de distúrbios fisiológicos relacionados a umidade (FILIPOVIĆ et al., 2016).

O aumento do rendimento em resposta à cobertura do filme plástico não apenas resulta em um melhor conteúdo de água no solo e no aumento da temperatura do solo, mas também altera diretamente o ambiente microbiano e a fertilidade do solo. Melhora as condições físicas do solo, incluindo a proteção

da estabilidade do solo superficial. Essas mudanças no ambiente do solo são boas para o crescimento das raízes das culturas, e a maior capacidade das raízes, o que resulta em maior absorção de água e nutrientes do solo (WANG; XING, 2016).

No entanto, pesquisas com foco na transformação e no transporte de íons do solo, especialmente na lixiviação sob diferentes medidas de cobertura são raras. Estudos têm demonstrados que, nas condições de cobertura morta e palha, nitrogênio orgânico pode acumular-se na superfície do solo. Por causa da mudança de temperatura e umidade do solo, é obrigada a alterar a efeitos da lixiviação do nitrato no solo (DONG et al, 2019).

Todavia, Filipović et al. (2016) afirma que os agricultores podem adicionar menos fertilizantes com facilidade quando utilizarem sistema de manejo de cobertura morta, já que os nutrientes ficam mais tempo presente na camada de solo cultivado e, assim, fornecer mais nutrientes para a absorção das culturas durante a estação de crescimento.

Já Dong et al. (2019) perceberam que os dados de nitrogênio nitrogenado no perfil do solo na colheita mostraram que a cobertura de filme plástico reduziu significativamente o a concentração de nitrato no perfil do solo, o conteúdo de NO^3 diminuiu no perfil inteiro. Já Zhang et al. (2012) conferiram que o uso da cobertura plástica além de melhorar o status de umidade do solo e aumentar a rendimento, têm um grande impacto na lixiviação e transformação do nitrogênio e do nitrato no solo.

3.9 Modelagem do transporte de solutos

A preocupação com o caminho dos fertilizantes aplicados no solo, tem impulsionado os pesquisadores a desenvolverem modelos teóricos, objetivando descrever os processos físicos envolvidos no transporte desses produtos no perfil do solo (LADU; ZHANG, 2011).

Existem muitos modelos matemáticos para descrever o transporte de água e solutos em meio poroso e esses modelos têm ganhado cada vez mais destaque principalmente devido aos altos custos envolvidos nas pesquisas de campo e aos avanços computacionais, fazendo com que se constituam em ferramentas bastante viáveis, possibilitando prever o destino e do

comportamento da água e dos solutos na irrigação localizada (SILVA et al., 2016).

Assim, o surgimento de programas computacionais desta natureza acarreta ganhos inerentes à modelagem, como detecção de demandas de conhecimento e de dados, discernimento entre hipóteses, alternativas e acesso à metodologia implementada, o que possibilita alterações e aperfeiçoamentos, quando necessários, no modelo (KARANDISH; ŠIMŮNEK, 2019). Diante disso, vale ressaltar que os dados e medições obtidas em campo são indispensáveis, pois, os modelos matemáticos necessitam de calibrações e validações locais (RIVERA et al., 2008). Essas técnicas têm aplicações na estimativa do armazenamento de água no solo, do fluxo vertical e lateral de água e solutos (MINELLA et al., 2010). Contudo, faz-se necessário a escolha de um modelo apropriado que represente o que realmente acontece no sistema solo-planta-atmosfera (CONCEIÇÃO, 2016).

Torna-se de fundamental importância, compreender de que maneira os modelos emprega métodos numéricos para predizer os processos de transferência da água e de solutos entre a superfície do solo e o lençol freático.

Alguns modelos podem ser utilizados de uma forma bem pontual, sendo aplicados a nutrientes essenciais, como o nitrato e o potássio. Sabendo que existe uma relação entre a condutividade elétrica aparente do solo e a condutividade elétrica da solução do solo (CE_w), bem como entre CE_w e a concentração iônica (C_i), é possível usar a TDR para monitorar a distribuição de água e solutos iônicos no solo. Contudo, a TDR não determina, de forma direta, a CE_w e a concentração de íons (PERSSON; UVO 2003). As pesquisas evidenciam que é possível relacionar, satisfatoriamente, a CE_w com a C_i (MUÑOZ-CARPENA et al., 2001),

Ao se estimar esses íons utilizando-se a TDR, pode-se determinar a sua distribuição em tempo real e em curtos intervalos de tempo, tornando possível a realização dos balanços de nitrato e potássio no solo. No monitoramento da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) e do teor de água do solo, a reflectometria no domínio do tempo (TDR) tem sido aplicada com sucesso em várias pesquisas (VOGELER et al., 1996; SANTOS et al., 2012). Obtendo-se bons ajustes para modelos lineares.

Ao longo tempo diversos trabalhos realizados em campo e em coluna de solo evidenciam a viabilidade da técnica da TDR para obtenção do teor de nitrato e potássio na solução solo (SANTANA et al., 2007; SANTOS et al., 2010; PONCIANO, 2012; CONCEIÇÃO, 2016).

3.9.1 Modelagem matemática

As equações de fluxo de água e transporte de solutos são resolvidas numericamente usando o método de elementos finitos lineares do tipo Galerkin. Esse método converte uma equação diferencial em um problema discreto, variando os parâmetros a um espaço de função. Por exemplo, os modelos do HYDRUS-1D também inclui um algoritmo de otimização de parâmetro do tipo Marquardt-Levenberg para estimativa inversa dos parâmetros de transporte e reação hidráulica e/ou de solutos do solo a partir de dados de fluxo e/ou transporte transitórios ou em estado estacionário medidos. O método de Galerkin é usado apenas para aproximar as derivadas espaciais, enquanto as derivadas do tempo são discretizadas por meio de diferenças finitas.

3.10 Características gerais do abacaxizeiro

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merr) é uma planta tropical, monocotiledônea, herbácea, perene, pertencente à família Bromeliácea. Possui sistema radicular fibroso e superficial, com a maioria das raízes sendo encontradas nos primeiros 15 cm no solo; algumas podem atingir 30 cm (MATOS et al., 2013).

Para seu pleno desenvolvimento e crescimento necessita-se de uma temperatura entre 22 °C e 32 °C e umidade relativa acima de 85 %. Em solos com pH acima de 5,5, a nutrição da planta tende a ser afetada, sobretudo o aproveitamento de micronutrientes. Isso não impede o cultivo, mas o dificulta, exigindo cuidados especiais no manejo de nutrientes (MATOS et al., 2013).

O abacaxizeiro é uma planta que se adapta muito bem a condições com baixa disponibilidade hídrica quando comparada à grande maioria das frutíferas cultivadas. É uma fruteira que apresenta várias características morfo-fisiológicas típicas de plantas xerófilas, tais como, coletar água de forma

eficiente, capacidade de armazenar água na hipoderme das folhas inclusive o orvalho, por suas folhas em forma de canaleta, e reduzir, consideravelmente, as perdas de água (transpiração reduzida) por meio de vários mecanismos. Apesar dessas adaptações às condições de clima seco, maiores rendimentos e frutos de melhor qualidade são obtidos quando a cultura é bem suprida com água. (SOUZA; REINHARDT; CABRAL, 2000).

Outro ponto muito favorável do abacaxizeiro é o seu metabolismo, ela é classificada como uma planta CAM (mecanismo ácido da crassuláceas) facultativa, quando as plantas se encontram em ambiente com menor radiação e temperatura, e com boa disponibilidade hídrica elas se comportam como C3 quando sob luminosidade excessiva, déficit hídrico ou altas temperaturas que tornam a absorção diurna do CO₂ menor, essas plantas passam a apresentar o comportamento CAM (TAIZ; ZEIGER, 2017)

A necessidade hídrica do abacaxizeiro, vai depender do seu estágio de desenvolvimento e da umidade do solo, variando de 1,3 a 5,0 mm dia⁻¹. Um cultivo comercial de abacaxizeiro exige, em geral, uma quantidade de água equivalente a uma precipitação mensal de 60 a 150 mm (MAPA, 2010).

Para que o abacaxizeiro alcance alta produtividade é necessário um programa de adubação criterioso uma vez que a demanda nutricional da cultura é elevada e variável em função dos fatores edafoclimáticos, das práticas de manejo adotadas, da cultivar, do sistema e da densidade de plantio (SILVA, 2006).

Existem divergências em relação ao comportamento do abacaxizeiro submetido a doses de nutrientes, e isso vai variar de acordo como o fornecimento dos nutrientes em quantidades, épocas e fontes adequadas, previamente definidas considerando sempre os objetivos da produção (FERREIRA et al., 2011). Entre as principais regiões produtoras de abacaxi no mundo, incluindo o Brasil, verifica-se que, na maioria das situações, as recomendações têm variado de 6 a 10 g planta⁻¹ de N, 1 a 4 g planta⁻¹ de P₂O₅ e 4 a 15 g planta⁻¹ de K₂O (FERREIRA et al., 2011).

Para a cultura do abacaxi a reposição de nitrogênio e potássio é muito importante, pois quantidades elevadas desses nutrientes são absorvidas pelas plantas e exportadas pelos frutos e mudas, e o desempenho isolado e/ou associado exercem funções importantes no crescimento vegetativo, produção e

qualidade do fruto, exigindo estratégia de recomendação de adubação para garantir equilíbrio nutricional da cultura (RODRIGUES et al., 2013).

O conhecimento da quantidade de nutrientes acumulados na planta, em estádios fenológicos da cultura, fornece subsídios para auxiliar a elaboração de um programa para adubação da cultura. Desse modo, uma adubação equilibrada, proporciona nutrição adequada, contribuindo assim para a máxima expressão do potencial da espécie (MATOS, 2012).

Segundo França (1976) a absorção de nutrientes pelo abacaxizeiro é mínima nos primeiros três meses após o plantio e se intensifica após este período até a floração. Os macronutrientes móveis (N, P, K e Mg) têm seu ponto de acúmulo máximo em períodos que antecedem a floração, indicando que a adubação com estes nutrientes deve ser realizada nos períodos que antecedem o florescimento (PEGORARO et al., 2014). De acordo com Paula et al. (1985), ao realizar estudos para produtividade de 41 t ha⁻¹ com a cultivar Pérola, revelaram as seguintes quantidades extraídas, em kg ha⁻¹: 1.234 de K; 253 de Ca; 238 de N; 157 de Mg; 17 de S; 13,5 de P. Já utilizando a cultivar vitória Pegoraro et al. (2014), encontraram para a produção de 72 t ha⁻¹, encontrou as seguintes quantidades extraídas em kg ha⁻¹: 898 de K, 452 de N, 134 de S, 129 de Ca, 126 de Mg e 107 de P. Comumente os maiores acúmulos encontram-se nas folhas. As quantidades exportadas também são relativamente altas e referem-se àquelas imobilizadas nos frutos e nos órgãos propagativos (coroas e mudas do tipo filhote, filhote rebentão e rebentões) (MALÉZIEUX; BARTHOLOMEW, 2003).

4. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and drainage, 56).

BARROS, D. L. Relações hídricas do mamoeiro, cv. Tainung 1, com aplicação de antitranspirantes foliares. **Tese** (Doutorado Acadêmico em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA. 2021. 93p.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, C. L. T. Transporte de solutos no solo, In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e Manejo Da Irrigação**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 528.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2. ed. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2009. 166 p.

BRANCO, M. S. C.; NAVA, G.; ERNANI, P. R. Crescimento inicial, produção e qualidade de frutos de macieiras submetidas a irrigação e fertirrigação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 1, p. 34-41, 2016.

BRAGA, M.B.; MAROUELLI, W.A.; RESENDE, G.M.; MOURA, M.S.B.; COSTA, N.D.; CALGARO, M.; CORREIA, J.S. 2017. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 147-153, 2017.

CHEN, J.; LÜ, S.; ZHANG, Z.; ZHAO, X.; LI, X.; NING, P.; LIU, M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 829-839, 2018.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO-FILHO, M. A.; LEDO, C. A. S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 41-48, 2006.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. da; MIRANDA, J. H. de. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola** [online], v. 30, n. 4, 2010.

COELHO FILHO, M. A.; BASSO, L. H.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, E. F.; PEREIRA, F. A. C. Relação-Solo- Planta- atmosfera. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A.

Irrigação e FERTIRRIGAÇÃO em fruteiras e hortaliças. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. p. 771.

COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; SILVA, A. C. P.; CARVALHO, G. C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertirrigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p.263-269, 2014.

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUSA, V. F. Aspectos básicos em FERTIRRIGAÇÃO. In: SOUSA, V. F; MAROUELLI, W. A; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e FERTIRRIGAÇÃO em fruteiras e hortaliças.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. Cap. 6, p. 771.

COELHO, E. F.; QUEIROZ, L. A; SANTOS, L. F. B.; PÁDUA, T. R. P.; SANTOS, V. T. Modelos paramétricos para estimativa da área foliar do abacaxizeiro. **Anais. XXIV Congresso Brasileiro de fruticultura. Fruteiras nativas e Sustentabilidade.** São Luís/Maranhão, 2016.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Balanço hídrico em fruteiras. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS. **Circular técnica**, n 82, ISSN 1808-6810, 12 p. 2010.

CONCEIÇÃO, B. S. **Modelagem da dinâmica de nitrato e potássio no solo em bananeiras fertirrigadas: modelos paramétricos e o modelo hydrus.** 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

CUNHA, F. N. TEIXEIRA, M. B.; RODRIGUES, C. R.; Giovani Santos MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3118-3128, 2019.

DONG, Q.; DONGA, T.; GUO, S.; HAO, M. Effect of different mulching measures on nitrate nitrogen leaching in spring maize planting system in south of Loess Plateau. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 654-658, 2019.

FERREIRA, E.A.; SILVA, J.R.; ALMEIDA, G.V.B. de; SANTOS, W.V. Abacaxi. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 7-16, 2011.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: Experimental Designs** package. R package version 1.1.2. 2013.

FILIPOVIĆ, V.; ROMIĆ, D.; ROMIĆ, M. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamics: experimental results and a modeling study. **Agricultural Water Management**, v. 176, n.1, p. 100-110, 2016.

FRANÇA, G. E. **Curva de crescimento, concentração e absorção de macronutrientes pelo abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill) durante**

um ciclo de cultura. 62f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1976.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão.** 1ª Edição, 2012, 45p

GABRIEL, J.; MUÑOZ-CARPENA, R.; QUEMADA, M. The role of cover crops in irrigated systems: water balance, nitrate leaching and soil mineral nitrogen accumulation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, n. 1, p. 50-61, 2012.

GAJGHANE, P. G.; TONCHER, S. S.; RAUT, M. M. Effect of potassium and sulphur levels on soil fertility status after harvest of mustard. **Plant Archives**, v. 151, n. 1, p. 347-351, 2015.

GAVA, R.; SILVA, E.E.; BAILO, F.H.R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo / electronic moisture sensor calibration in different soil textures. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 2, p. 154-162, 2016.

GOMES, E. N.; ESCOBEDO, J. F.; FRISINA, V. A.; ANGELA, R. Modelos de estimativa da para global e difusa em função da radiação de ondas curtas e da transmissividade atmosférica. In: anais... XII **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

GRECCO, K. L.; MIRANDA, J. H. M.; MARTINUS, L. K. S.; GENUCHTEN, V. T. HYDRUS-2D simulations of water and potassium movement in drip irrigated tropical soil container cultivated with sugarcane. **Agricultural Water Management**, v. 221, n. 1, p. 334-347, 2019.

GUARESCHI, R. F.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; SARKIS, L. F.; MARTINS, M. R.; JANTALIA C. P.; CABRIALES, J. J. P.; NÚÑEZ, J. A. V. URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. **Revista Terra Latino americana**, v. 37, n. 2, p. 1-15, 2019.

GUIMARÃES, M. et al. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, Portugal, v. 59, n. 3, p. 252-258, 2017.

HARSHA, BR.; JAGADEESH, BR. Surface and sub-surface soil potassium dynamics in a selected red soil type. **Journal Of Pharmacognosy And Phytochemistry**. v. 6, n. 6, p. 1438-1443, 2017.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C. SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, p. 193-2000, 2010.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Potassium availability in a Hapludalf soil under long term

fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 783-791, 2010.

KARANDISH, F.; SIMÖNEK, J. A comparison of the HYDRUS (2D/3D) and SALTMED models to investigate the influence of various water-saving irrigation strategies on the maize water footprint. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 809-820, mar. 2019.

LADU, J. L. C.; ZHANG, D. Modeling atrazine transport in soil columns with HYDRUS-1D. **Water Science And Engineering**, v. 3, n. 4, p. 258-269, 2011.

LIMA, L. W. F. Otimização do uso da água em abacaxizeiro cv. BRS Imperial com redução da evaporação e percolação de água. **Tese** (Doutorado Acadêmico em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, Bahia. 2021. 117p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALÉZIEUX, E.; CÔTE, F.; BARTHOLOMEW, D. P. Crop environmental, plant growth and physiology. In: BARTHOLOMEW, D. P.; ROHRBACH, K. G. **The pineapple**: botany, production and uses. Hononulu: University of Hawaii, 2002. 320 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Portaria Nº 187, de 05 de julho de 2010. Diário Oficial da União. Brasília – DF 06 de julho de 2010 – Seção 1. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2019.

MATOS, A. T.; GARIGLIO, H. A. A.; LOMONACO, P. A. V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 17, p.743-749, 2013.

MATOS, A.P. Produção Integrada de Fruteiras Tropicais. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2012.

MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 2, p. 417-426, 2014.

MELO, A. S. DE; NETTO, A. O. A.; NETO, J. D.; BRITO, M. E. B.; VIÉGAS, P. R. A.; MAGALHÃES, L. T. S.; FERNANDES, P. D. Desenvolvimento Vegetativo, Rendimento da Fruta e Otimização do Abacaxizeiro cv. Pérola em Diferentes Níveis de Irrigação. **Ciência Rural**, v. 36, n.1, 2006.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (ed.). **Manejo e**

conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, p. 105- 121, 2010.

MUÑOZ-CARPENA, R.; RITTER, A.; BOSCH, D. D.; SCHAFFER, B.; POTTER, T. L. Summer cover crop impacts on soil percolation and nitrogen leaching from a winter corn field. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 1, p. 633-644, 2008.

MUÑOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; ALVAREZ-BENEDÍ, J.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino en el suelo. In: LÓPEZ, J. J.; QUEMADA, M. **Temas de investigación en zona no saturada**. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001. p. 1-7.

NADZIRAH, K. Z.; ZAINAL, S.; NORIHAM, A.; NORMAH, I.; SITI ROHA, A.M.; NADYA, H. Physico-chemical properties of pineapple variety N36 harvested and stored at different maturity stages. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 1 p. 225–231, 2013.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Miscible displacement: III, Theoretical considerations. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 26, n. 3, p. 216-221, 1962.

OLIVEIRA, A. M. G.; JUNGHANS, D. T.; MATOS, A. P., PADUA.; T. R. **P. Abacaxizeiro 'BRS Imperial' Sistema de Produção para a Mesorregião do Sul Baiano**. 2017. Disponível em: cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao&p_r_p_-996514994_topicId=1301 >. Acesso em: 29 nov. 2019.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 439-445, 2004.

PAULA, M. B.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, F. D.; SILVA, C. R. Exigências nutricionais do abacaxizeiro. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 130, p. 27-31, 1985.

PEGORARO, R. F.; MAIA, V.; SOUZA, B. A. M.; FERREIRA, D. Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated 'Vitória' pineapple plant. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, n. 1, p. 896-904, 2014.

PONCIANO, I. M. **Aplicação da reflectometria no domínio do tempo (TDR) na estimativa da condutividade elétrica da solução do solo e de concentrações de nitrato, potássio e cloreto em coluna de solo não saturado**. 114 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

RHOADES, J. D.; RAATS, P. A.; PRATHER, R. J. Effects of liquid phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 5, p. 651, 1976.

REDER, A.; RIANNA, G.; PAGANO, L. Calibration of TDRs and Heat Dissipation Probes in Pyroclastic Soils. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 9, p. 171-179, 2014.

RIVERA, R. N. C.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; BOTREL, T. A. Modelo aplicado à dinâmica da água e do potássio no solo sob irrigação por gotejamento - análise de sensibilidade. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.448-459, 2008.

RODRIGUES, A. A.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, A. P.; SILVA, S. M. Mineral nutrition and 'Pérola' pineapple yield as a function of K/N ratios in fertilization. **Brazilian Journal of Fruticulture**, v. 35, n. 1, p. 625-633, 2013.

ROSOLEM, C. A.; MATEUS, G. P.; GODOY, L. J. G.; FELTRAN, J. C.; BRANCALÃO, S. R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 875-884, 2003.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, n. 1, p. 1015-1018, 1999.

SANTANA, G. S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 142-157, 2007.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L. V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1226-1233, 2010.

SANTOS, M. R.; ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**, v. 34, p. 299-308, 2010.

SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; ZONTA, J. H.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A. Uso da Reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de fósforo em colunas de solos fertirrigados. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 45-53, 2012.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). Irrigação: gestão e manejo. Brasília (Coleção Senar, 250): ISBN 978-85-7664-211-4, 84 p. 2019.

SHARMA, V.; SHARMA, K. N. Influence of accompanying anions on potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. **Pedosphere**, v. 23, n. 4, p. 464-471, 2013.

SILVA, A. J P; COELHO, E. F. Estimation of water percolation by different methods using TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.1, 73-81, 2014.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N; TEIXEIRA, M. B.; LELIS NETO, J. A. Distribution of solutes NO_3^- e Ca in soil columns with vinasse. **Revista Brasileira Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 777- 786, 2016.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M.T. **The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple Solutes in variably-saturated media**. California: University of California Riverside, 2013.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; VAN GENUCHTEN, M.T. **The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media**, Salinity Laboratory, **USDA**. California: University of California Riverside, 1999.

SOLDEVILLA-MARTINEZ, M.; LÓPEZ-URREAB, R.; MARTÍNEZ-MOLINA, L.; LIZASOA, M. Q. J. I. Improving simulation of soil water balance using lysimeter observations in a semiarid climate. **Procedia Environmental Sciences**, n. 19, p. 534 – 542, 2013.

SOUSA, V.F.; NUNES, G.M.V.C.; ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.C.E. Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense. São Luís: Embrapa Cocais, 2019.

SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S de; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 26-42, 2016.

SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; ALMEIDA, B. G.; MELO, D. V. M. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 510-517, 2013.

SOUZA, O. P. S.; ZANINI, J. R.; TORRES, J.L.R.; SOUZA, A.C.B.; CAMPOS, E. L. Produção e qualidade física dos frutos do abacaxi sob diferentes lâminas e frequências de irrigação. **Irriga**, v. 17, n. 4, p. 534 - 546, 2012.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; NOGUEIRA, L. C.; COELHO FILHO, M. A.; ARAÚJO, A. R. **Irrigação e FERTIRRIGAÇÃO em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 771 p.

SOUZA, O. P. S.; TEODORO, R.E.F.; MELO, B.; TORRES, J.L.R. Qualidade do fruto e produtividade do abacaxizeiro em diferentes densidades de plantio e

lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n. 5, p. 471 - 477, 2009.

SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.134 - 141, 2007.

SOUZA, L. F. S; REINHARD, D. H; CABRAL, J. R. S. (Org.). **O abacaxi. Produção**. Brasília: EMBRAPA Comunicação Para Transferência de Tecnologia, 2000. 77 p.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D. **Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa Mandioca e Fruticultura Tropical**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. 56p (Boletim de Pesquisa, 20).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M. A. M. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAL, A. Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the Dry lands. **Water Research**, n 90, p. 387-394, 2016.

VOGELER, I.; CLOTRIER, B. E.; GREEN, S. R.; SCOTTER, D. R.; TILLMAN, R. W. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 1, p. 5-12, 1996.

VOGELER, I.; CLOTHIER, B. E. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 5-12, 1996.

WANG, X; XING, Y. Effects of Mulching and Nitrogen on Soil Nitrate-N Distribution, Leaching and Nitrogen Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.). **Plos One**, v. 11, n. 8, p.1-18, 2016.

ZHANG, H.Y.; LIU, Q. J.; YU, X. X.; LU, G.A.; WU, Y.Z. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 158, n. 1, p. 164-171, 2012.

**CAPÍTULO I – MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM
ABACAXIZEIRO CV. IMPERIAL CULTIVADO EM SOLO COM E SEM
COBERTURA**

MARCA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM ABACAXIZEIRO CV. IMPERIAL CULTIVADO EM SOLO COM E SEM COBERTURA

RESUMO: O abacaxizeiro é considerado uma planta exigente quanto aos aspectos nutricionais. Dessa forma, informações sobre a absorção e acúmulo de nutrientes em componentes morfológicos torna-se necessário na tomada de decisão em práticas de manejo e recomendações de adubação mais criteriosas. Diante dessa realidade, o objetivo deste trabalho é determinar a marcha de absorção de macronutrientes, pela cultura do abacaxizeiro cv BRS Imperial com uso do mulching sintético como cobertura do solo em solo de textura franco arenosa. Para o experimento foram utilizadas mudas do abacaxizeiro cv BRS Imperial, plantados com o espaçamento de 0,9 m x 0,4 m x 0,4 m, o qual corresponde a uma densidade de plantio de 38460 plantas por hectare. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, a adubação de fundação foi realizada conforme a análise de solo e recomendação de adubação para o abacaxizeiro. As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação. O nitrato de potássio foi à fonte de nitrogênio utilizada. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições e tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas no tempo (5 x 2), estando na parcela dias após o plantio (90, 180, 270, 360 e 450 dias após o plantio - DAP) e na subparcela duas coberturas do solo (com e sem cobertura do solo). Foram determinadas curvas de absorção de macronutrientes determinando a quantidade de nutrientes extraída e o acúmulo total de nutrientes no ciclo da cultura. A utilização do mulching promove maior acúmulo de matéria seca em todos os órgãos da planta de abacaxizeiro, e aumento da disponibilidade dos macronutrientes para as plantas em relação aos tratamentos sem cobertura do solo. A extração total de macronutrientes pelo abacaxizeiro cv. BRS Imperial obedece a seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > P > Mg$, e corresponde a 30,3; 17,7; 6,25; 4,36; e 4,24 g planta⁻¹ para o tratamento com cobertura do solo e 17,2, 11,5, 3,92, 3,37 e 2,77 g planta⁻¹ para o tratamento sem cobertura do solo, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: *Ananas comosus*, nutrição mineral, extração de macronutrientes. Mulching.

MARCH OF MACRONUTRIENTS ABSORPTION IN PINEAPPLE CV. IMPERIAL CULTIVATED IN SOIL WITH AND WITHOUT COVERAGE

ABSTRACT: Pineapple is considered a demanding plant in terms of nutritional aspects. Thus, information on the absorption and accumulation of nutrients in morphological components becomes necessary in decision-making in management practices and more judicious fertilization recommendations. Given this reality, the objective of this work is to determine the rate of macronutrient absorption by the pineapple crop cv BRS Imperial with the use of synthetic mulching as ground cover in sandy loam soil. For the experiment, pineapple seedlings cv BRS Imperial were used, planted with a spacing of 0.9 m x 0.4 m x 0.4 m, which corresponds to a planting density of 38460 plants per hectare. The irrigation system used was drip, the foundation fertilization was performed according to soil analysis and fertilization recommendation for pineapple. Fertigation followed a weekly application frequency. Potassium nitrate was the nitrogen source used. The experimental design was in randomized blocks, with three replications and treatments arranged in a split-plot scheme in time (5 x 2), being in the plot days after planting (90, 180, 270, 360 and 450 days after planting - DAP) and in the subplot two soil covers (with and without soil cover). Macronutrient absorption curves were determined, determining the amount of nutrients extracted and the total accumulation of nutrients in the crop cycle. The use of mulching promotes greater accumulation of dry matter in all organs of the pineapple plant, and an increase in the availability of macronutrients for the plants in relation to treatments without ground cover. The total extraction of macronutrients by pineapple cv. BRS Imperial obeys the following decreasing order: $K > N > Ca > P > Mg$, and corresponds to 30.3; 17.7; 6.25; 4.36; and 4.24 g plant⁻¹ for the treatment with ground cover and 17.2, 11.5, 3.92, 3.37 and 2.77 g plant⁻¹ for the treatment without ground cover, respectively.

KEYWORDS: Ananás comosus, mineral nutrition, macronutrient extraction, Mulching.

1. INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananás comosus*) é considerado uma das frutas mais atrativas comercialmente em todo o mundo (BAIDHE et al., 2021) principalmente por apresentar sabor e aroma muito agradável. Ao que diz respeito a sua produção em nível mundial, em 2019 concentrou-se na Costa Rica, Filipinas e Brasil (FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, 2021) No Brasil, sendo as regiões Norte, Nordeste e Sudeste responsáveis pela produção de 93% dos frutos, com destaque os seguintes estados: Pará, Paraíba e Minas Gerais (IBGE, 2021).

O Brasil é um país destaque, sendo o terceiro maior produtor de abacaxi do mundo, mostrando a relevância para o agronegócio (FAO, 2021). Entretanto, um dos principais fatores que limitam a produção e a qualidade de abacaxizeiros no Brasil são as doenças, destacando a fusariose (*Fusarium guttiforme*), como a causadora de prejuízos econômicos aos produtores de abacaxi (VENTURA et al., 2009).

Em razão disso, diversos estudos surgiram visando a implantação de novas cultivares de abacaxizeiros que fossem mais resistentes a fusariose, dentre elas, e aplicada a este estudo, podemos citar, a 'BRS Imperial' resultante do cruzamento entre a cv. 'Perolela' e a 'Smooth Cayenne', que tem ganhado destaque por ser a primeira cultivar híbrida resistente à fusariose, com ausência de espinhos nas folhas, e boa qualidade físico-química de fruto (CABRAL, MATOS, 2005). Além da resistência a doenças, a nutrição mineral também está entre os principais fatores que afetam os rendimentos agrícolas, e esse fato se agrava ainda mais pela ausência de informações do comportamento nutricional (SILVA et al., 2009).

Frente a isso, se fazem necessários estudos sobre nutrição da planta, no intuito de compreender e estabelecer sua exigência nutricional e, ainda, de que forma os nutrientes podem interferir na qualidade do fruto, tendo em vista que a nutrição mineral tem uma grande influência no crescimento da planta como o abacaxizeiro e, conseqüentemente, na sua produção e qualidade do fruto (SOUZA; REINHARDT, 2009).

Informações sobre a absorção de nutrientes durante o ciclo fenológico do abacaxizeiro e sua acumulação nos componentes morfológicos tornam-se

necessários para determinar em que período ocorre a máxima absorção nutricional, para servir como base na tomada de decisão em práticas de manejo e recomendações de adubação mais precisas (PEGORARO et al., 2014).

No abacaxizeiro, os principais nutrientes envolvidos na maximização da produção, características físicas e pós colheita são os macronutrientes nitrogênio (N) e potássio (K) (TEIXEIRA et al., 2002; CAETANO et al., 2013; OLIVEIRA, 2015). Na literatura é possível identificar a realização de estudos de marcha de absorção em abacaxizeiro cv. MD-2, criada pelo Pineapple Research Institute (CRUZ, et al., 2013), cv.BRS Vitoria (PEGORARO et al., 2014) e cv. Pérola (SILVA, 2016) e, embora as cultivares de abacaxizeiro apresentem semelhanças, podem possuir particularidades quanto à absorção e translocação de nutrientes minerais, trazendo a importância do acompanhamento de forma particular para cada cultivar. Assim, ressalta-se a necessidade de estudos mais detalhados para a cultivar BRS Imperial, tendo em vista que são poucas as informações a respeito do acúmulo de macronutrientes para essa cultivar.

Além do conhecimento com a parte nutricional, é necessária também a adoção de tecnologias que potencializem ainda mais a eficiência de absorção e acumulação desses nutrientes de maneira satisfatória, contribuindo para a máxima expressão do potencial da espécie. Nesse caso, podemos destacar a utilização de mulch combinada com o sistema de irrigação por gotejamento (SOUZA et al., 2021; PEREIRA et al., 2021), sendo uma técnica comum de manejo agrícola praticado na produção comercial de vegetais, dentre eles as frutíferas.

De acordo com Filipović et al. (2016), essa forma de manejo resulta em vários impactos na água e distribuição de nutrientes e, conseqüentemente, afeta a dinâmica dos nutrientes no solo. Os mesmos autores afirmam que os agricultores podem aplicar menos fertilizantes quando utilizarem sistema de manejo com cobertura morta, já que os nutrientes ficam mais tempo presente na camada de solo cultivado que, assim, fornecem mais nutrientes para a absorção das culturas durante a estação de crescimento. Em adição, Zhang et al. (2012) conferiram que o uso da cobertura plástica além de melhorar o status

de umidade do solo resulta em maior mineralização de N, menos lixiviação de N mineral e maior rendimento de amendoim.

Diante dessa realidade, o objetivo deste trabalho foi determinar a marcha de absorção de macronutrientes, qualidade dos frutos e produção pela cultura do abacaxizeiro cv. BRS Imperial com uso do mulch sintético como cobertura de um solo com textura franco arenosa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição e localização do experimento

O experimento foi desenvolvido no município de Cruz das Almas – BA, no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura – EMBRAPA, com coordenadas geográficas: latitude 12°40'12" S, longitude 39°06'07" W e altitude de 220 m conforme apresentado na Figura 1. O clima local é tropical quente úmido (Af), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80% (GUIMARÃES et al, 2017). Os dados pluviométricos coletados durante a condução do experimento, bem como os meses de coleta de plantas para a determinação da marcha de absorção são apresentados na Figura 1.

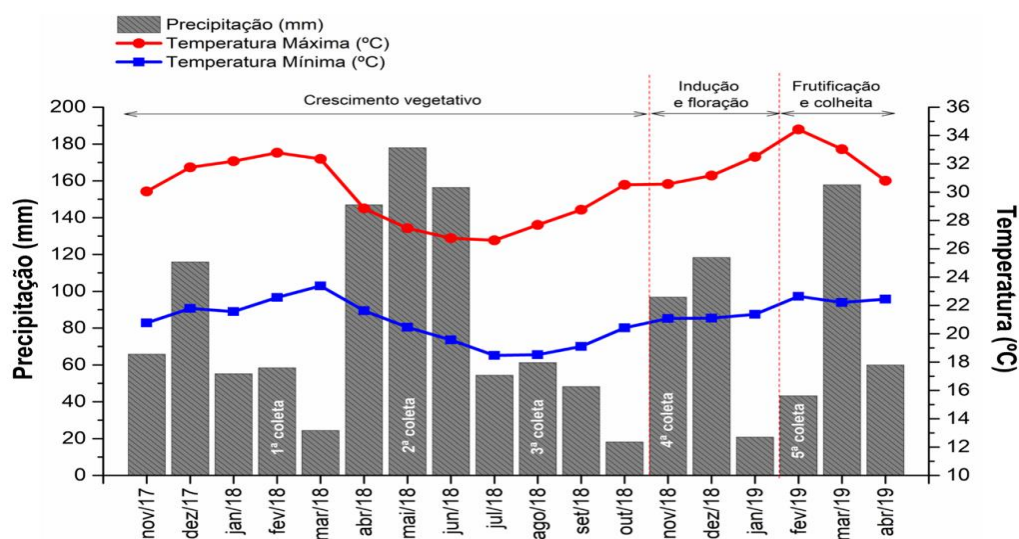


Figura 1. Precipitação pluviométricas temperaturas máximas e mínimas, registrada no município de Cruz das Almas, durante a condução do experimento do ciclo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Para o experimento foram utilizadas mudas do abacaxizeiro cv. BRS Imperial, tipo filhote, que foram plantadas em novembro de 2017 com o espaçamento de 0,9 m x 0,4 m x 0,4 m, o qual corresponde a uma densidade de plantio de 38.460 plantas por hectare. O plantio foi feito sobre canteiros com 0,20 m de altura acima do nível do solo com largura de 0,80 m. O solo da área experimental apresenta textura franco arenosa. Antes da implantação do experimento foram realizadas amostragens do solo e encaminhadas para os laboratórios da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas – BA, para análises físicas e químicas do solo antes da diferenciação dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos químicos do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas - BA.

Análise Física											
Granulometria (g kg ⁻¹)			Porosidade(%)				Retenção de água (cm ³ cm ⁻³)				
Areia	Silte	Argila	Macro	Micro	Total	Densidade do solo (g.cm ⁻³)	0,01 Mpa	1,5 Mpa	Água disponível		
733	94	173	11,98	19,12	31,10	1,55	0,164	0,113	0,051		
Análise Química											
pH	² P	² K	³ Ca	³ Mg	³ Al	² Na	H+Al	SB	CTC	V	MO
(água)	(mg dm ⁻³)									%	g kg ⁻¹
7,1	49	0,51	2,06	1,01	0	0,03	0	3,62	3,62	100	15

SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e MO = matéria orgânica. ²Extração por Mehlich⁻¹; ³Extração com KCl 1M; ⁴Método de Walkley e Black modificado.

A indução floral foi realizada no dia 05 de novembro de 2018, aos 350 dias após o plantio de forma artificial no fim da tarde, aumentando assim a eficiência da indução, utilizando-se como indutor o Etefon (produto comercial Ethrel). O produto foi pulverizado na roseta central, um total de 50 ml por planta, de uma solução preparada com 30 ml do produto comercial, adicionados a 100 litros de água, à qual acrescentam-se 2 kg de ureia e 35 g de hidróxido de cálcio (cal de pintura).

2.2 Sistema e manejo da Irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com uma linha lateral para cada duas fileiras de plantas, uma fita gotejadora modelo Metzterplas, emissores com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$ e espaçados de 0,30 m. Os tratamentos foram diferenciados por registros no cabeçal de controle. O manejo da irrigação foi realizado com o auxílio do equipamento da TDR – Reflectometria no Domínio do Tempo, para obtenção da lâmina de água a ser aplicada.

As umidades foram monitoradas três vezes na semana, antes de realizar a irrigação. As sondas de TDR foram instaladas, utilizando por tratamento 8 sensores, dois por subparcela em quatro repetições. A determinação do tempo de irrigação para cada tratamento, foi definido pela diferença entre a capacidade de campo do solo e sua umidade média atual. Lâmina e o tempo de irrigação foram calculados conforme Bernardo et al. (2006).

2.3 Manejo da fertirrigação

Na Tabela 2, são apresentadas as recomendações de adubação para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no extremo sul da Bahia (OLIVEIRA; ROSA, 2017). Essa recomendação foi aplicada a esse estudo. As fertirrigações seguiram uma frequência semanal. Foram utilizadas as seguintes fontes de nutrientes: KNO_3 da marca Dripsol® que contém 45% de potássio na forma de K_2O e 12% de NO_3^- . Tendo em vista que o nitrato tem 12% de N foi necessário complementar com uréia a quantidade necessária de nitrogênio para o abacaxizeiro. E foram realizados cálculos da necessidade do nutriente de acordo com análise química e recomendação (Tabela 2).

Tabela 2. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de $38.000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

	Em cobertura – Após o plantio			
	1º ao 2º mês	4º ao 5º mês	6º ao 7º mês	8º ao 9º mês
N (g/planta)	1,58	2,63	3,16	3,16
K₂O (g/planta)	2,63	3,95	5,26	5,26

Adaptado de OLIVEIRA e ROSA (2015).

2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições e tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas (5 x 2), estando na parcela dias após o plantio - DAP (90, 180, 270, 360 e 450 dias após o plantio) com 50 plantas úteis e na subparcela duas coberturas do solo (com e sem cobertura do solo). As variáveis dependentes corresponderam ao acúmulo de macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos seguintes órgãos: raiz, caule, folhas, folha D e na planta inteira. Para determinação da matéria seca foi utilizado o mesmo esquema estatístico, tinha 100 plantas na parcela, sendo 50 úteis, a qual coletava-se uma por parcela em seis repetições.

O delineamento experimental para avaliação das variáveis de produção e de qualidade de frutos foi em blocos casualizados com seis repetições. Foi aplicado o teste de média. Para avaliar o efeito dos tratamentos o teste a 5% foi conclusivo. Os atributos de produção foram determinados pela média de 30 frutos por parcela.

2.5 Medidas fisiológicas

Para as análises de crescimento foram realizadas coletas de plantas com intervalo de 90 dias entre elas. Foi coletada uma planta por tratamento em cinco repetições, totalizando 20 plantas por coleta, sendo que para cada tratamento tinham 50 plantas úteis.

Posteriormente, as plantas foram divididas em raiz, caule, folhas e frutos e nestas contabilizadas (número de folhas totais, largura e comprimento da folha D). O material foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante para determinação da massa seca da raiz (MSR), massa seca do caule (MSC) e massa seca da folha (MSF). As aferições de massa foram efetuadas com auxílio de uma balança de precisão. A massa seca total resultou da soma da massa seca nas diversas partes da planta (raiz, caule, folhas e frutos).

2.6 Marcha de absorção de nutrientes

Para avaliar a marcha de absorção de macronutrientes, após secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, utilizando no moinho peneira com diâmetro de malha 1,0 mm.

Da amostra total resultante, foram retiradas 0,5 g do material moído para determinação dos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg (TEDESCO et al., 1995). As determinações foram realizadas nos extratos, após digestão sulfúrica (N) e nitro-perclórica (P, K, Ca e Mg). O N foi determinado pelo método Kjeldahl, o P por colorimetria e o K por fotometria de emissão de chama. Os teores de Ca e Mg foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica.

O acúmulo de nutrientes, para cada um dos respectivos componentes morfológicos da planta e nas respectivas épocas de coleta, foi calculado multiplicando-se a concentração de nutrientes pela respectiva quantidade de matéria seca das partes.

2.7 Produção e qualidade dos frutos

A produtividade da cultura foi calculada por meio do peso médio dos frutos com coroa multiplicando pela densidade de plantio. Foram também avaliados o número total de dias do plantio até o florescimento (DPF), número de dias do florescimento a colheita (DFC) e do plantio à colheita (DPC), sendo feito a média por 15 frutos por subparcela.

Os atributos químicos pós-colheita dos frutos do abacaxizeiro cv. BRS Imperial foram avaliados pela porcentagem de polpa e pela umidade do fruto por meio de uma balança semianalítica (IAL, 2005). Os sólidos solúveis (SS) foram obtidos com o uso de um refratômetro portátil, sendo os resultados encontrados em porcentual de açúcares e expressos em °Brix (LFA, 1973). A acidez total titulável na polpa do fruto (AT), o porcentual de ácido málico (g 100 g⁻¹ de tecido fresco) foram determinados de acordo com a AOAC (1975). Da relação entre sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (AT), obteve-se o índice de maturação dos frutos (SS/AT) (SINCLAIR, 1961). O pH foi determinado com um pHmetro de bancada (IAL, 2005). Para a caracterização

química foram enviados 5 frutos por tratamento para o laboratório e destes foram tirados uma média.

2.8. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a uma avaliação de homocedasticidade e em seguida foram submetidos a análise de variância, com o teste F para detectar os efeitos das fontes de variação nas variáveis dependentes. Para as fontes de variação que tiveram efeito nas variáveis dependentes que são acúmulo de macronutrientes, as médias dessas variáveis em função da fonte de variação cobertura do solo foram comparadas mediante aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) e análise de regressão para fontes de variação quantitativas dias após plantio (90, 180, 270, 360 e 450 DAP), utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento vegetativo

Verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) de forma isolada em relação ao tempo (DAP) e ao uso da cobertura do solo (COB) para todas as variáveis analisadas. Houve interação entre os fatores avaliados (DAP x COB) somente para a massa seca do caule, conforme Figura 2. Com relação ao tempo, observou-se acúmulos de massa seca positivas ao longo do ciclo. Já no que se refere a utilização de cobertura do solo, as maiores médias foram verificadas na condição do solo com mulching, conforme a Figura 2.

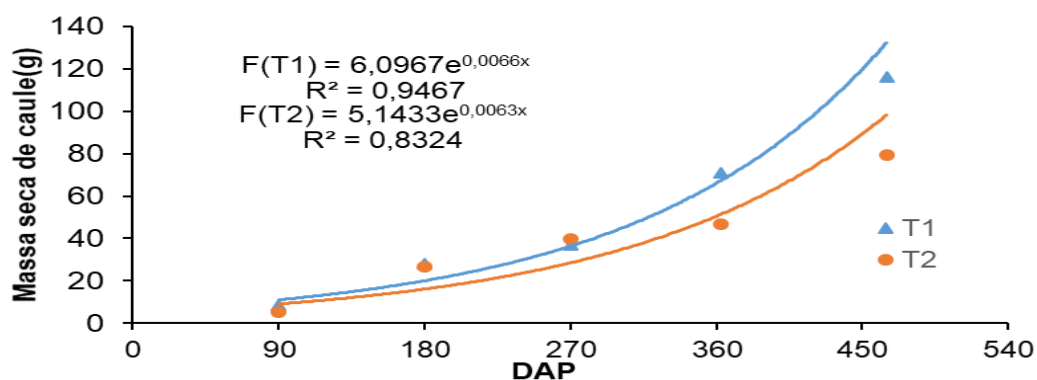


Figura 2. Interação do acúmulo de matéria seca no caule em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.

O conhecimento dos padrões de acúmulo de matéria seca de uma cultura possibilita melhor entendimento dos fatores relacionados com a nutrição mineral, visto que a absorção de nutrientes é influenciada pela taxa de crescimento da planta (BARBOSA et al., 2003). Na fase inicial dos 90 aos 180 DAP foi verificado um acúmulo principalmente em função do acúmulo nas folhas, demonstrando incremento de 100,31 g e 50,25 g para as folhas do tratamento com cobertura e sem cobertura respectivamente, e 19,84 e 21 e 19,84 e 21,36 g para ao caule do tratamento com cobertura e sem cobertura. Isso pode ser justificado, devido as características morfológicas do abacaxizeiro que se compõe de um caule (talo) ao redor do qual crescem as folhas.

Após o período de 90 a 180 DAP, o acúmulo de matéria seca se manteve crescente e constante, influenciando o incremento do período seguinte, conforme a tabela 3, aos 270 dias, a planta tinha 50% de sua massa seca total. O acúmulo máximo de matéria seca foi de 450,36 g planta⁻¹ observado aos 455 DAP, desse total, 65,2% foram acumulados nas folhas, 1,61% na folha D, 21% no caule e 12% nas raízes.

Já ao que se refere ao uso do mulching, conforme tabela 3, as maiores taxas de acúmulo de matéria seca total foram verificadas ao final do período experimental na fase de enchimento dos frutos e apresentaram diferença significativa nesse período, com superioridade de acúmulo para os tratamentos com cobertura do solo, resultando em uma taxa de acúmulo para a planta total de 6,436 g dia⁻¹ com cobertura do solo e 3,98 g dia⁻¹ sem cobertura do solo. Isso pode ter ocorrido devido ao tratamento com cobertura favorecer a umidade, temperatura e resultar no desenvolvimento da planta, promovendo maior acúmulo, e isso está associado aos benefícios da utilização do mulching.

O tratamento com cobertura do solo apresentou superioridade de acúmulo de matéria seca para todos os órgãos da planta de abacaxizeiro em estudo e em especial para as folhas e caule, quando comparados ao tratamento sem cobertura do solo, evidenciando incremento expressivo de 50,83% na massa seca total da planta.

Dos 270 aos 360 DAP, período que antecede indução, o desenvolvimento da massa seca das folhas atinge 72%, sendo a massa seca da folha D um parâmetro a ser levado em consideração para indução, e este se encontra neste período com quase que 100% de seu desenvolvimento. De acordo com Malézieux et al. (2003), independente da cultivar de abacaxi, os maiores ganhos em massa seca são obtidos pelas folhas, resultante da sua habilidade em manter a capacidade fotossintética prolongada por um longo período de tempo.

O maior percentual de incremento no caule foi 58% notado a partir da indução ao desenvolvimento de frutos, dos 270 aos 360 DAP tendo em vista que a importância do crescimento do caule para sustentar o fruto.

As raízes por sua vez na fase de floração tinham atingido 50% do incremento de massa seca (Tabela 3), visto a continuar seu desenvolvimento.

Tabela 3. Taxa de acúmulo de matéria seca e % de incremento em partes das plantas MF – massa seca da folha, MFD- Massa seca da folha D, MC – Massa seca do caule, MR – Massa seca da Raiz e PT- Massa seca da Planta total ao longo dos dias após o plantio em plantas de abacaxizeiro cv BRS Imperial submetidos a dois tratamentos T1- com cobertura do solo, T2 – sem cobertura do solo.

Taxa de acúmulo de matéria seca (g/dia)										
DAP	MF		MFD		MC		MR		PT	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
0 - 90	0,549	0,448	0,025	0,021	0,093	0,059	0,043	0,028	0,685	0,536
90 - 180	1,664	1,010	0,044	0,039	0,313	0,029	0,156	0,105	2,137	1,408
180 - 270	2,176	1,44	0,060	0,057	0,411	0,443	0,197	0,137	2,784	2,021
270 - 360	2,887	1,832	0,080	0,066	0,790	0,519	0,426	0,319	4,103	2,67
360 - 455	3,99	2,531	0,086	0,075	1,292	0,883	0,740	0,567	6,03	3,98
CV(%)	31,99		16,09		34,39		47,57		28,30	

% de incremento										
DAP	MF		MFD		MC		MR		PT	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
0 - 90	13,75	17,72	28,66	27,29	7,17	6,73	5,88	4,90	11,38	13,45
90 - 180	41,66	39,78	51,24	52,24	24,24	33,60	21,58	18,43	35,46	35,37
180 - 270	54,47	56,93	69,74	76,27	31,85	50,17	26,56	24,09	46,19	50,75
270 - 360	72,28	72,40	93,11	87,68	61,15	58,73	57,59	56,23	68,09	67,06
360 -455	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*O uso de mesmas Letras maiúsculas entre os dias após o plantio (DAP) e minúsculas entre a aplicação de coberturas do solo (T1 E T2) não diferem entre si ao nível de probabilidade pelo teste tukey.

Dessa forma, aplicação de cobertura no solo no sistema de cultivo do abacaxizeiro BRS Imperial resultou em plantas com maior tamanhos. De acordo com (KASIRAJAN; NGOUAJIO, 2012) essa técnica do mulching possibilita a manutenção da água no solo, auxilia na retenção de água e nutrientes, e evita a lixiviação desses nutrientes. Além disso, diminui as flutuações de temperatura do solo, fazendo com que as plantas não sofram esse tipo de estresse. Em condições de estresse as plantas reduzem a intensidade das trocas gasosas através do fechamento estomático, reduzindo o acúmulo de fitomassa e expansão foliar, acelerando o processo de senescência (TAIZ; ZEIGER, 2017), com redução no seu desenvolvimento vegetativo.

3.2 Marcha de absorção de macronutrientes

Não ouvi interação significativa pela análise de variância para tipos de cobertura do solo e dia após o plantio nos teores de macronutrientes nas folhas. A interação entre os fatores avaliados (DAP x COB) foi significativa para o acúmulo de Ca e Mg na folha D, de N, P, Ca e Mg no caule, P na raiz e planta total conforme Figuras 3, 4, 5 e 6.

A avaliação nutricional da folha D do abacaxizeiro é um bom indicativo para se detectar a necessidade de adubação nessa cultura (SIEBENEICHLER et al., 2002). O maior acúmulo de Ca e Mg em Folha D pelo abacaxizeiro foi registrado dos 360 aos 455 DAP. O padrão de acúmulo de Ca e Mg pelo abacaxizeiro cv BRS Imperial manteve-se constante durante as épocas de coleta, fato que pode ser constatado analisando-se os acúmulos, Figura 3.

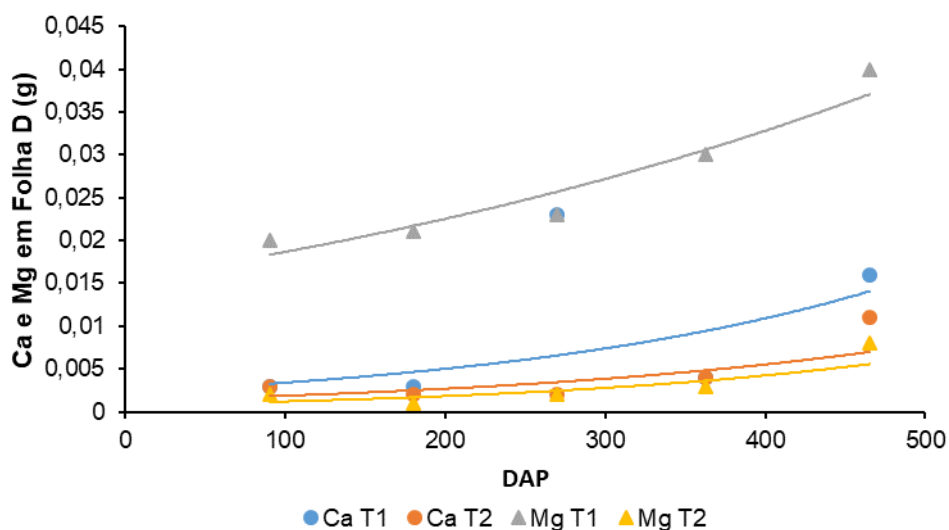
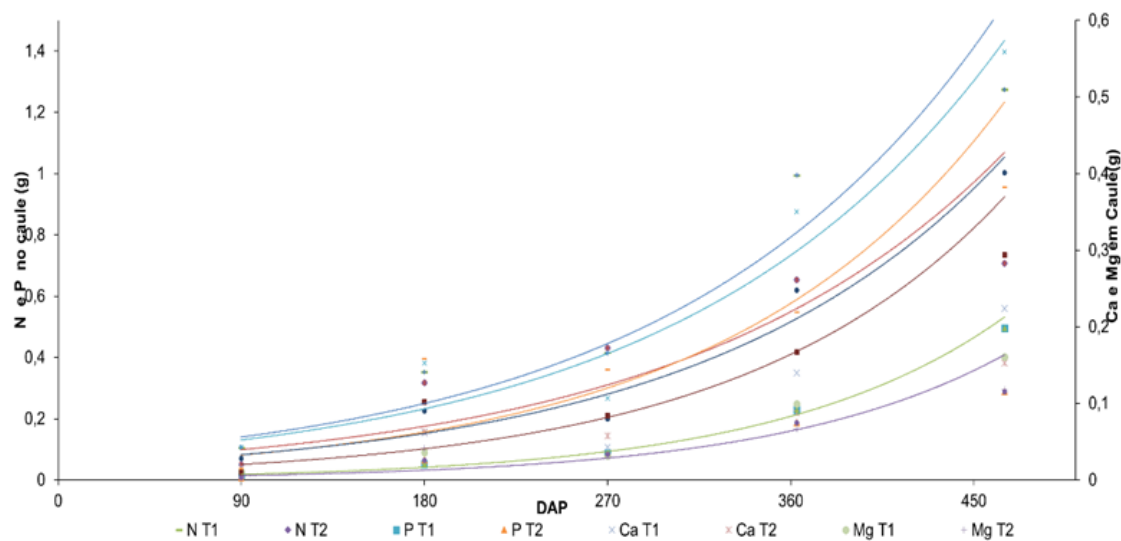


Figura 3. Interação do acúmulo de Ca e Mg na folha D, em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.

A absorção de N no caule foi relativamente baixa durante a fase inicial, conforme figura 4, ocorrendo maior incremento nas taxas de acumulação dos 360 aos 455 dias após o plantio. Fato bastante satisfatório do ponto de vista nutricional, pois nesse período, esse macronutriente é utilizado pelo abacaxizeiro com o objetivo de frutificação e produção de novos órgãos e no caule, insere-se o pedúnculo que sustenta a inflorescência e, posteriormente o fruto (OKIMOTO, 1948). Acúmulo de P, Ca e Mg no caule foi semelhante aos



outros macronutrientes, com maior acúmulo registrado dos 360 aos 455 DAP.

Figura 4. Interação do acúmulo de N, P, Ca e Mg em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.

O acúmulo de fósforo nas raízes de abacaxizeiro, foi baixo, desde fase inicial ao final do ciclo atingindo 46% de acúmulo dos 270 aos 360 DAP, como pode ser observado na figura 5.

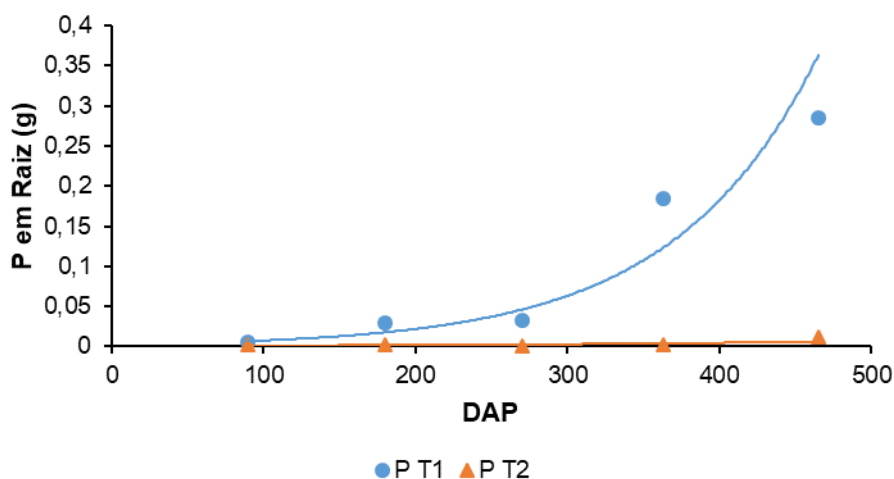


Figura 5. Interação do acúmulo de P, em função dos tratamentos de cobertura e dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.

No que diz respeito ao acúmulo de macronutrientes na planta total, somente o acúmulo de fósforo e magnésio, apresentou interação significativa entre os fatores avaliados (DAP x COB) conforme figura 6.

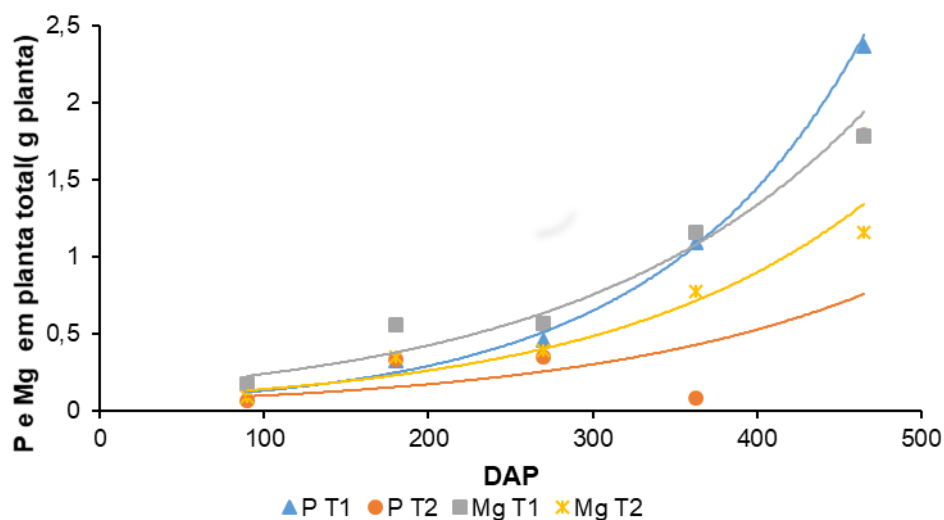


Figura 6. Interação do acúmulo de P e Mg, na planta total, em função da cobertura do solo e dos dias após o plantio. T1 – tratamento com cobertura do solo, T2 – tratamento sem cobertura do solo.

Os modelos de regressão, ajustados para as interações entre os fatores nos acúmulos de macronutrientes pelo abacaxizeiro BRS Imperial, podem ser verificados na tabela 4.

Tabela 4. Modelo de regressão ajustado para interação entre os fatores nos acúmulos de macronutrientes pelo abacaxizeiro BRS Imperial.

Macronutrientes	Tratamento	Equação	R ²
-----Folha D-----			
Cálcio	Com cobertura	$y = 0,0015e^{0,004x}$	0,6501
Cálcio	Sem cobertura	$y = 0,0013e^{0,0036x}$	0,5712
Magnésio	Com cobertura	$y = 0,0154e^{0,002x}$	0,978
Magnésio	Sem cobertura	$y = 0,0015e^{0,004x}$	0,6501
-----Caule-----			
Nitrogênio	Com cobertura	$y = 0,0788e^{0,0064x}$	0,9267
Nitrogênio	Sem cobertura	$y = 0,056e^{0,0063x}$	0,7612
Fósforo	Com cobertura	$y = 0,0083e^{0,0089x}$	0,9876
Fósforo	Sem cobertura	$y = 0,0064e^{0,0089x}$	0,8629
Cálcio	Com cobertura	$y = 0,0294e^{0,0064x}$	0,8765
Cálcio	Sem cobertura	$y = 0,017e^{0,0072x}$	0,7449
Magnésio	Com cobertura	$y = 0,0179e^{0,0068x}$	0,9255
Magnésio	Sem cobertura	$y = 0,0101e^{0,0077x}$	0,7886
-----Raiz-----			
Fósforo	Com cobertura	$y = 0,0026e^{0,0106x}$	0,9398
Fósforo	Sem cobertura	$y = 0,0008e^{0,0044x}$	0,4915
-----Planta total-----			
Fósforo	Com cobertura	$y = 0,0559e^{0,0083x}$	0,9805
Fósforo	Sem cobertura	$y = 0,0569e^{0,0056x}$	0,3709
Magnésio	Com cobertura	$y = 0,1351e^{0,0057x}$	0,9228
Magnésio	Sem cobertura	$y = 0,0759e^{0,0062x}$	0,9132

As maiores taxas de absorção dos macronutrientes foram verificadas na fase de enchimento dos frutos, isto é, dos 360 aos 450 DAP (Tabela 5). Na floração, fase que antecede a frutificação pode-se identificar um acúmulo de 62,7 % de N, 46% de P, 78,6% de K, 67% de Ca e 65% de Mg, através das porcentagens do total dos macronutrientes, poderá indicar para fins de manejo de fertirrigação, como deve ser realizado o parcelamento adequado e quanto do nutriente deve ser aplicado no período de tempo correspondente.

Fazendo uma análise geral entre todos os macronutrientes desse estudo, a extração de macronutrientes pelo abacaxizeiro cv. BRS Imperial obedece a seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > P > Mg$, e corresponde a $30,31 \text{ g planta}^{-1}$ ou $1165,5 \text{ kg ha}^{-1}$; $17,7 \text{ g planta}^{-1}$ ou $682,2 \text{ kg ha}^{-1}$; $6,25 \text{ g planta}^{-1}$ ou $240,4 \text{ kg ha}^{-1}$; $4,36 \text{ g planta}^{-1}$ ou $167,5 \text{ kg ha}^{-1}$; e $4,24 \text{ g planta}^{-1}$ ou $163,1 \text{ kg ha}^{-1}$ para o tratamento com cobertura do solo e $17,23 \text{ g planta}^{-1}$ ou $662,8 \text{ kg ha}^{-1}$; $11,5 \text{ g planta}^{-1}$ ou $441,4 \text{ kg ha}^{-1}$; $3,92 \text{ g planta}^{-1}$ ou $158,9 \text{ kg ha}^{-1}$; 38 g planta^{-1} ou $129,9 \text{ kg ha}^{-1}$ e $2,76 \text{ g planta}^{-1}$ ou $106,7 \text{ kg ha}^{-1}$ para o tratamento sem cobertura do solo, respectivamente.

O tratamento com cobertura do solo confere um acúmulo maior de macronutrientes em relação aos tratamentos sem cobertura do solo (Tabela 5). Em termos percentuais, a cobertura do solo proporcionou um acúmulo de 75,88% de K, 54,56% de N, 59,6% de Ca, 28,95% de P e 53,51% de Mg. O uso de mulch como cobertura do solo proporciona temperaturas mais amenas e manutenção de uma boa umidade, com consequente melhoria das condições ambientais para sua microbiota, o que pode promover as maiores extrações de macronutrientes observadas (KASIRAJAN; NGOUAJIO, 2012). Propicia também uma menor lixiviação dos cátions e de perda de nitrogênio por volatilização. Esses processos melhoram a fertilidade do solo, com consequente maior disponibilização de nutrientes para as plantas, que se traduzem por maiores produtividades (ZHANG et al., 2012).

3.3 Qualidade do fruto e produção

Conforme o resultado do teste tukey (Tabela 6) a cobertura do solo apresentou efeito significativo para as variáveis dos frutos acidez total titulável, ratio, pH e produtividade por hectare. Porém não apresentou influência significativa para sólidos solúveis totais. A utilização do mulch promoveu resultados significativamente melhores do que o solo sem cobertura, para os atributos acidez do fruto, resultando em frutos menos ácidos (Tabela 6). Os valores de sólidos solúveis estão dentro da faixa consideradas como valores ótimos por Chitarra; Chitarra (2005), que é de 14 -16 °Brix para frutos de boa qualidade e para o consumo in natura.

Tabela 6. Efeito da utilização da cobertura do solo nos atributos químicos dos frutos e de produção do abacaxizeiro cv. BRS Imperial AT - acidez total titulável, SS - sólidos solúveis, SS/AT - índice de maturação, pH - potencial hidrogeniônico, Prod – Produtividade por hectare.

Cobertura	AT	SST	SST/AT	pH	Prod (ton ha ⁻¹)
Com	0,51 b	16,14 a	32,48 a	3,96 a	46,22 a
Sem	0,71 a	16,58 a	23,89 b	3,71 a	29,36 b
CV(%)	9,48	4,60	10,03	1,28	9,22

Medias seguida da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de médias ($p < 0,05$).

Já no que se refere a relação entre os sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT), que indica que quanto maior o valor mais doce será o fruto, os valores variaram 23,89 a 32,48.

O pH diz respeito ao processo de amadurecimento dos frutos (REINHARDT; MEDINA, 1992). Os valores de pH encontrados neste trabalho foram superiores aos obtidos por Pinheiro et al. (2006), em estudo de qualidade química e físico-química de sucos concentrados de abacaxi.

A aplicação do mulch contribuiu para um maior acúmulo de nutrientes para as plantas que conseqüentemente resultou em uma maior produtividade. Dentre os nutrientes, o segundo mais acumulado foi o nitrogênio. O nitrogênio é o nutriente que apresenta maior efeito sobre a produtividade do abacaxizeiro (BEZERRA et al., 1981; GUARÇONI, M.; VENTURA, 2011). O valor de

produtividade obtido neste estudo foi superior ao determinado por Oliveira et al. (2015) ao obter produtividade máxima para a cultivar imperial, de 42 t ha⁻¹.

4. CONCLUSÃO

A utilização do mulching promove maior acúmulo de matéria seca em todos os órgãos da planta de abacaxizeiro, evidenciando uma massa seca total de 288,25 g contra 191,1 g no tratamento sem o uso da cobertura do solo.

A extração de macronutrientes pelo abacaxizeiro cv. BRS imperial obedece a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > P > Mg, e corresponde a 30,3; 17,7; 6,25; 4,36; e 4,24 g planta⁻¹ para o tratamento com cobertura do solo e 17,2, 11,5, 3,92, 3,37 e 2,77 g planta⁻¹ para o tratamento sem cobertura do solo, respectivamente.

Aos 270 dias após o plantio as plantas do abacaxizeiro cv. BRS imperial atingiram 72 % da massa seca total de folhas.

As maiores taxas de absorção dos macronutrientes foram verificadas no tratamento com uso da cobertura do solo, na fase de enchimento dos frutos, isto é, dos 360 aos 450 DAP.

A demanda de macronutrientes do abacaxizeiro cv BRS Imperial é maior que as demais cultivares considerando os dados disponíveis na literatura.

5. REFERÊNCIAS

AGHDAM, M.S., HASSANPOURAGHDAM, M.B., PALIYATH, G., FARMANI, B. The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers. **Scientia Horticulturae**, v.144, p.102-115, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Schweizerbart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 12 ed. Washington, D.C.: Association of Analytical Chemistry, 1094p. 1975.

BAIDHE, E.; KIGOZI, J.; MUKISA, I.; MUYANJA, C.; NAMUBIRU, L.; KITARIKAWA, B. Unearthing the potential of solid waste generated along the pineapple drying process line in Uganda: a review. **Environmental Challenges**, v. 2, p. 100012, 2021.

BARBOSA, Z.; SOARES, I.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 519-522, dez. 2003.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8a ed atualizada e ampliada. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 2006. 613p.

BEZERRA, J.E.F.; MAAZE, U.C.; SANTOS, V.F.; LEDERMAN, I.E. Efeito da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produção e qualidade do abacaxi cv. Smooth Cayenne. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.3, p. 1-5, 1981.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2. ed. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2009. 166 p.

CABRAL, J.R.S.; MATOS, A.P. **Desenvolvimento de híbridos de abacaxi resistentes à fusariose**. Cruz das Almas, BA: Embrapa-CNPMPF, 4p. 2003. (Comunicado Técnico, 88).

CAETANO, L.C.S., VENTURA, J.A., COSTA, A.F.S., GUARÇONI, R.C. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.3, p.883-890, 2013.

CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 783p

CRUZ, H.; HERRERA, D.; H. MURILLO, A. Crecimiento y absorción de nutrientes en piña (ananas comosus, var. md-2) en el trópico húmedo de Costa Rica. **Tierra Tropical**, v. 9, n. 1, p. 11-18, 2013.

FANG, S.; XIE, B.; LIU, D.; LIU, J. Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil. **New Forests**, v. 41, n. 2, p. 147-162, 2010.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO 2020. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 11/03/2021.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**. v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FILIPOVIĆ, V.; ROMIĆ, D.; ROMIĆ, M. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamics: experimental results and a modeling study. **Agricultural Water Management**, v. 176, n.1, p. 100-110, 2016.

GUIMARÃES, M.; LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n.3, p. 252-258, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2019**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 11/07/2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática - **SIDRA: levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: Acesso em: 20 jun. 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUIZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, 4 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

KASIRAJAN, S.; NGOUAJIO, M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. **Agronomy for sustainable development**, v. 32, p. 501-529, 2012.

LABORATORY IN FOOD ANALYSIS. Lond: Butterworths, p. 58-60, 1973.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

GUARÇONI M.A.; VENTURA, J.A. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi 'Gold' (MD-2). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1367-1376, 2011.

GUO, S., JIANG, R., QU, H., WANG, Y., MISSELBROOK, T., GUNINA, A., KUZYAKOV, Y. Fatee transporte de N-ureia em sistema de cultivo em sulco em sulco de sequeiro com cobertura morta de plástico. **Solo Tillage Res**. v. 186, p. 214–223, 2019.

MALÉZIEUX, E.; BARTHOLOMEW, D.P. Plant nutrition. In: BARTHOLOMEW, D.P. et al. The Pineapple: botany, production and uses. Honolulu: CAB, 2003. P.143 -165.

MWANGO, S. B., MSANYA, B. M., MTAKWA, P. W., KIMARO, D. N., DECKERS, J., & POESEN, J. Effectiveness OF Mulching Under Miraba in Controlling Soil Erosion, Fertility Restoration and Crop Yield in the Usambara Mountains, Tanzania. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 4, p. 1266-1275, 2015.

OLIVEIRA, A. M. G.; JUNGHANS, D. T.; MATOS, A. P.; PADUA, T. R. P. **Abacaxizeiro 'BRS Imperial' Sistema de Produção para a Mesorregião do Sul Baiano**. 2015. Disponível em: www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo. Acesso em: 29 nov. 2017.

OKIMOTO, M. C. Anatomia e Histologia da Inflorescência e Fruto do Abacaxi. **Botanical Gazette**, v. 110, n. 2, p. 227-231, 1948.

OLIVEIRA, A. M. G.; PEREIRA, M. E. C.; NATALE, W.; NUNES, W. S.; LEDO, C.E. S. Qualidade do abacaxizeiro, BRS Imperial" em função de doses de N-K. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 2, p. 497-506, 2015.

PASCALE, S.; COSTA, L. D.; VALLONE, S.; BARBIERI, G.; MAGGIO, A. Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. **HortTechnology**, v. 21, n. 3, p. 301-308, 2011.

PEGORARO, R. F.; MAIA, V.; SOUZA, B. A. M.; FERREIRA, D. Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated 'Vitória' pineapple plant. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, n. 1, p. 896-904, 2014.

PEREIRA, W. D. B., POSSÍDIO, C. E. F., SOUSA, J. S. C. D., SIMÕES, W. L., & SANTOS, C. M. G. Produção e Qualidade de Melões Sob Diferentes Arranjos do Sistema de Irrigação e Coberturas do Solo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 285-294, 2021.

REINHARDT, D. H. R; MEDINA, V. M. Crescimento e qualidade do fruto do abacaxi cv. Pérola e Smooth Cayenne. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.27, n.3, p.435-447, 1992.

REINHARDT, D.H.; MEDINA, V.M.; CALDAS, R.C.; CUNHA, G.A.P. da; ESTEVAM, R.F.H. Gradientes de qualidade em abacaxi 'Pérola' em função do tamanho e do estágio de maturação do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.3, p.544-546, 2004.

RODRIGUES, A. A. **Desenvolvimento e teores foliares de nutrientes dos cultivares de abacaxi Pérola, Smooth Cayenne e Imperial nas condições edafoclimáticas do estado da Paraíba**. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

RODRIGUES, A.A. et al. Desenvolvimento vegetativo de abacaxizeiros „Pérola” e „Smooth Cayenne” no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.126-134, 2010.

SIEBENEICHLER, S. C.; MONNERA, P. H.; CARVALHO, A. J C.; SILVA, J. A. S. Composição mineral da folha em abacaxizeiro: efeito da parte da folha analisada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 194-198, 2002.

SILVA, A. P.; V, V. H. A.; SOUZA, A. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; DANTAS, J. P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - fertcalc-abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1269-1280, 2009.

SILVA, M.; **G. MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELO ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’ EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS PARAIBANOS**. 2016. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

SINCLAIR, W. B. Division of agricultural sciences. Califórnia. USA: Oranpa University. 1961.

SOUZA, E. A., COELHO, E. F., SANTOS, M. R., MELO, D. M. Agronomic performance of ‘BRS Princesa’banana under fertigation and mulching. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p.979-998, 2021.

SOUZA, L. F. S. & REINHARDT, D. H. Abacaxizeiro. In: CRISÓSTOMO, L. A. & NAUMOV, A. (Orgs.). **Adubando para Alta Produtividade e Qualidade: Fruteiras Tropicais do Brasil**. Tradução: Lindbergue Araújo Crisóstomo. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p.182-205.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 6. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2017. 230p.

TEDESCO M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. 1995

TEIXEIRA, L.A.J.; SPIRONELLO, A.; FURLANI, P. R.; SIGRIST, J. M. M. Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.219-224, 2002.

TEIXEIRA, L.A.J.; SPIRONELLO, A.; FURLANI, P. R.; SIGRIST, J. M. M. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2ed. rev e ampl. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

VENTURA, J. A.; COSTA, H.; CAETANO, L. C. S. Abacaxi 'vitória': uma cultivar resistente à fusariose. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 931-1223, 2009.

ZHANG, H.Y.; LIU, Q. J.; YU, X. X.; LU, G.A.; WU, Y.Z. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 158, n. 1, p. 164-171, 2012.

**CAPÍTULO II - CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TDR PARA ESTIMATIVAS
DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE EM SOLOS**

CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TDR PARA ESTIMATIVAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE EM SOLOS

RESUMO: A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) se destaca entre as técnicas utilizadas para a determinação do conteúdo de água e monitoramento da condutividade elétrica aparente (CEa) dos solos. Todavia, o desempenho da TDR para medir com precisão concentrações de solutos depende fortemente da adequação do procedimento de calibração das sondas em uso. Diante desse cenário, objetivou-se com esse estudo determinar constantes de Giese e Tieman em calibração de sondas de TDR artesanais para estimativa da CE aparente do solo com base em soluções conhecidas e com base em solo saturado com soluções conhecidas em de textura distinta (Argiloso arenoso e Areia franca). O estudo foi realizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA. A constante K_p ou constante de Giese-Tieman foi determinada através de leituras de diferentes níveis de condutividade elétrica em amostras de solo e também em solução, utilizando adubo puro e comercial para fertirrigação, essas medidas da CEa foram realizadas utilizando a sonda conectada diretamente à TDR 100 ou apresentando o acoplamento a multiplexadores eletromecânico e distribuidor intermediando a sonda à TDR com auxílio do software PCTDR, versão 4.0 © Campbell Scientific. Para verificar a acurácia e validação das constantes obtidas na regressão linear, aplicou-se os indicativos estatísticos o R^2 (coeficiente de determinação), *RMSE* (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros), “d” (índice de concordância de Willmott) e o desvio padrão geral (GSD). A técnica utilizada para medir a condutividade elétrica não influenciou diretamente no processo de determinação da constante de Giese e Tieman. O tipo de solo influencia na determinação da constante de Giese e Tieman, sendo necessário estabelecer uma constante de Giese e Tieman diferente para cada tipo de solo.

Palavras-chave: reflectometria no domínio do tempo, constante de Geise e Tieman, monitoramento da salinidade.

CALIBRATION OF TDR PROBES FOR ESTIMATION OF APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN SOILS

ABSTRACT: Time Domain Reflectometry (TDR) stands out among the techniques used for determining water content and monitoring the apparent electrical conductivity (ECa) of soils. However, the performance of TDR to accurately measure solute concentrations strongly depends on the adequacy of the calibration procedure of the probes in use. Given this scenario, this study aimed to determine Giese and Tieman constants in calibration of homemade TDR probes for estimation of soil apparent EC based on known solutions and based on saturated soil with known solutions in distinct texture (Sandy clay and Sand). The study was carried out at Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA. The Kp constant or Giese-Tieman constant was determined through readings of different levels of electrical conductivity in soil samples and also in solution, using pure and commercial fertilizer for fertirrigation. These measurements of the ECa were performed using the probe connected directly to the TDR 100 or presenting the coupling to electromechanical multiplexers and distributor intermediating the probe to the TDR with the aid of PCTDR software, version 4.0 ® Campbell Scientific. To verify the accuracy and validation of the constants obtained in the linear regression, the statistical indicators R² (coefficient of determination), RMSE (square root of the mean square of the errors), "d" (Willmott's agreement index) and the overall standard deviation (GSD) were applied. The technique used to measure the electrical conductivity did not directly influence the determination process of the Giese and Tieman constant. The type of soil influences the determination of the Giese and Tieman constant, and it is necessary to establish a different Giese and Tieman constant for each soil type.

Key words: time domain reflectometry, Geise and Tieman, salinity monitoring.

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, a aplicação de água como forma de suprir a demanda da cultura, sofreu, ao longo dos anos, muitas transformações, a aplicação de fertilizantes também tem evoluído e contribuído para uma estabilidade produtiva. O conhecimento acerca do conteúdo de água é imprescindível a qualquer estudo que envolva gerenciamento da água de irrigação, entretanto, o monitoramento da condutividade elétrica aparente (CEa) dos solos, e a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) tem se destacado em estudos de monitoramento do controle da salinidade do solo (SANTANA et al., 2007; SANTOS et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2017).

A condutividade elétrica representa a capacidade de um material de conduzir corrente elétrica (WANG et al., 2021). Os equipamentos utilizados na obtenção da condutividade elétrica aparente do solo se baseiam nas técnicas de contato, gerando uma corrente elétrica em eletrodos isolados, ou através da utilização de corrente induzida por um campo magnético, denominada de indução eletromagnética, que se trata de uma técnica para medir a condutividade elétrica em solos sem contato com o mesmo, sendo um método de amostragem não destrutiva (MOLIN e RABELO, 2011).

As leituras de CEa fornecidas por esses sensores possuem elevada relação com a condutividade elétrica medida em laboratório (SUDDUTH et al., 2005).

Dentre as técnicas existentes para medir a condutividade elétrica aparente do solo, a reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem sido bastante aceita em estudos de transporte de solutos devido, principalmente, sua capacidade de medir o conteúdo de água e a salinidade do solo em volumes de amostragem relativamente grandes e não deformados com uma única sonda e em períodos muito curtos (SANTOS et al., 2012). Por outro lado, o desempenho da TDR para medir com precisão concentrações de solutos depende fortemente da adequação do procedimento de calibração em uso (CAPPARELLI; SPOLVERINO; GRECO, 2018).

A medição da condutividade elétrica por meio da TDR requer conhecimento de impedância, pois, a amplitude da tensão refletida depende da condução elétrica do sinal aplicado entre as hastas da sonda (CAMPBELL

SCIENTIST, 2005). A presença de íons livres na solução do solo resultará em atenuação do sinal aplicado à teoria apresentada por Giese e Tiemann (1975) que tem sido aplicada à medição da condutividade elétrica aparente do solo.

A TDR pode funcionar de várias formas, seja apenas com o uso de sonda (guia de onda) conectada a TDR ou com sondas acopladas a um ou mais multiplexadores conectados a um equipamento de TDR. Quando as sondas são acopladas a canais de multiplexadores eletromecânicos, podem apresentar limitações, considerado como um dos fatores de perturbação ao pulso eletromagnético emitido pela TDR, com atenuação do pulso, nos multiplexadores (COELHO et al., 2006). Diante dessa limitação, surge a necessidade de calibrações, de forma que uma sonda de TDR possa operar tanto acopladas diretamente à TDR como a canais de multiplexadores, fornecendo valores confiáveis de umidade e de condutividade elétrica aparente do solo (IŽVOLT, DOBEŠ, MEČÁR; 2016).

Os trabalhos relativos à calibração dos equipamentos de TDR para a estimativa da condutividade elétrica não são bem difundidos entre a maioria dos usuários, principalmente à carência de informações na literatura descrevendo suas potencialidades e limitações. A constante de Giese e Tiemann (K_p) da sonda de TDR é facilmente determinada através de calibração, de maneira que as hastes da sonda são imersas em soluções de condutividade elétrica conhecida e que se utiliza de um sal 100% puro, embora essa seja a forma mais usual e indicada na literatura, essa condição pode não expressar a realidade do campo, tendo em vista que cada tipo de solo tem uma composição variável, pois os elementos químicos e físicos presentes na sua composição são influenciados por fatores como: clima, umidade, sol, vento, organismos vivos e biodiversidade.

Diante desse cenário, objetivou-se com esse estudo o ajuste de modelos para a determinação da CE da solução do solo em função da CE aparente da TDR e gerar modelos de calibração das sondas resultando na constante de Geise e Tieman (1975), necessária para a obtenção precisa da CE aparente do solo, considerando a sonda em solução e em dois tipos de solos de textura distinta (Argiloso arenoso e Areia franca) conectada a TDR e ao multiplexador a partir de duas metodologias de preparo de amostras para calibração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas – BA. As coordenadas geográficas são: latitude 12°40'12" S, longitude 39°06'07" W e altitude de 220 m. O clima local é tropical quente úmido (Af), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (GUIMARÃES et al, 2018).

2.2 Determinação da Condutividade elétrica aparente

Tanto na determinação da condutividade elétrica aparente em solução aquosa quanto em amostra de solo, utilizou-se a Equação 1 proposta por Giese e Tieman (1975):

$$CEa = \frac{Kp}{Zc} \frac{1-\rho}{1+\rho}$$

(1)

em que:

CEa – condutividade elétrica aparente do solo (dS m⁻¹);

Kp – constante da sonda (dS Ω m⁻¹), determinada experimentalmente;

Zc – impedância do cabo (50 Ω);

ρ – coeficiente de reflexão (adimensional).

O termo Kp, também conhecido como constante da sonda, deve ser obtido de forma experimental devido às peculiaridades e variações dos materiais empregados na fabricação da mesma (CAMPBELL SCIENTIST, 2006).

A sonda de TDR utilizada foi de três hastes de aço inoxidável, com comprimento efetivo de 0,10 m fora da resina e espaçadas entre si por 0,017

m; cabos coaxiais de 50 ohms; comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 0,05 m e comprimento do cabo de 3,5 metros.

Primeiramente, configurou-se o PCTDR ajustando o $K_p=1$ a fim de determinar o coeficiente angular ($K_p=\alpha$) da reta oriunda da regressão entre os valores CEW medidos em condutivímetro de bancada nas soluções de 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 dS m^{-1} e os valores correspondentes de $\frac{1}{z_c} \frac{1-\rho}{1+\rho}$, essa metodologia também foi descrita por Ponciano et al., (2011). Desta forma foram determinados os K_p s para todas as condições propostas neste estudo.

2.3 Metodologia de calibração 1

Para a calibração, a primeira metodologia utilizada consistiu em um método bastante comum em que se faz o uso de soluções iônicas com condutividades elétricas conhecidas (NOBORIO, 2001). Utilizou-se da seguinte equação para cálculo para se obter as concentrações do Sal nitrato de potássio PA e nitrato de potássio comercial. A condutividade elétrica da água (CE), atualmente é expressa em mS cm^{-1} . Deve-se observar que $1 \text{ dS m}^{-1} = 1 \text{ mS cm}^{-1}$, corresponde a aproximadamente 640 mg de sal por litro de água, com base nisso utilizou a Equação 2 de Richards (1954) para determinar as concentrações.

$$CE = 640 \times \text{concentração de KNO}_3 \text{ em mg/L} \quad (2)$$

Com as concentrações se mediu a CE por meio de um condutivímetro de bancada com compensação automática de temperatura e no gráfico CE x concentração se obteve uma equação ajustada para o KNO_3 em questão, com isso se obteve as reais soluções do sal (KNO_3).

Inicialmente, foram feitas as leituras de $\frac{1}{z_c} \frac{1-\rho}{1+\rho}$, pela TDR, mantendo-se o valor de K_p igual a 1. A partir dos dados da CEa medidos pela TDR nas soluções de KNO_3 , traçou-se pontos de regressão linear e definiu-se o coeficiente angular da regressão como sendo o valor de K_p . Essas medidas da CEa foram realizadas utilizando a sonda conectada diretamente à TDR 100 ou acoplada a multiplexadores conectados a TDR. Dessa forma, foi determinada a

constante de Giese-Tieman em quatro condições de leitura da CE: **(1)** - leituras com a sonda inserida em solução de nitrato de potássio PA, conectada diretamente na TDR; **(2)**- leituras com a sonda inserida em solução de nitrato de potássio comercial conectada diretamente a TDR utilizando nitrato de potássio; **(3)** - leituras com sonda de TDR inserida em solução de nitrato de potássio PA acoplada a multiplexadores com nitrato de potássio PA; **(4)** - leituras de com sonda de TDR inserida em solução de nitrato de potássio comercial acoplada a multiplexadores com nitrato de potássio comercial.

2.4 Metodologia de calibração 2

Para a segunda metodologia, utilizou-se amostras de solo arenoso (areia franca) e franco argilo arenoso, coletados em janeiro de 2020 e submetidos a caracterização química e física (Tabela 7).

Classe Textural	Densid solo kg.dm ⁻³	Textura			Porosidade		
		Areia	Silte	Argila	Macro	Micro	Total
Areia Franca	1,78	813	96	91	10,90	14,10	25,00
Franco argilo arenoso	1,51	589	72	339	9,56	25,04	34,6

Nota: P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Na: Sódio; H: hidrogênio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; M.O: matéria orgânica.

Tabela 7. Características químicas e físicas dos dois tipos de solo utilizados na calibração.

Classe Textural	pH água	P mg.dm ⁻³	K Ca Mg Al Na H+Al SB CTC							V %	MO g.kg ⁻¹	
		 cmolc.dm ⁻³									
Areia Franca	7,4	19	0,05	2,25	0,32	0	0,06	0	2,68	2,68	100	6
F. Arg. Aren.	5,8	7	0,21	1,78	1,00	2,78	0,33	2,2	3,32	5,52	60	10

Essa metodologia de calibração consistiu em preparar colunas de PVC de 0,15 m de altura e 0,075 m de diâmetro preenchidas com solo seco, destorroado, passado em peneira de 2 mm com cada tipo de solo, resultando em um total de quatorze colunas. A base de cada coluna de solo foi vedada com uma tela de malha fina.

Após os solos serem acomodados nas colunas, reduziu-se, o máximo possível, a CE do solo adicionando-se água destilada de forma abundante para que ocorresse a lixiviação dos sais no processo de drenagem (Figura 7A). Quando a média da condutividade elétrica das amostras atingiu 0,030 dS m⁻¹,

as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C até que atingiram a massa constante. Posteriormente, seguiram para saturação durante 48 horas (Figura 7B) em soluções de nitrato de potássio comercial para fertirrigação dissolvido em água destilada com as condutividades elétricas conhecidas para cada amostra de 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 dS m⁻¹. As leituras da CEa foram feitas utilizando-se as sondas de TDR e com o auxílio do software PCTDR, versão 4.0 © Campbell Scientific” (Figura 7D).

Assim como na calibração anterior, a sonda inserida na coluna de solo foi conectada diretamente à TDR 100, ou a multiplexadores eletromecânicos (nível 2). Estes foram conectados a um distribuidor (nível 1), intermediando à TDR. Dessa forma, foi determinado a constante de Giese-Tieman em quatro condições de leitura da CE:

L1 - leituras com a sonda conectada diretamente na TDR, em solo arenoso

L2 - leituras com a sonda conectada diretamente na TDR, em solo franco argilo arenoso.

L3- leituras com sondas de TDR conectadas a multiplexadores eletromecânicos e distribuidor, em solo arenoso.

L4 -leituras com sondas de TDR acoplada a multiplexadores eletromecânico e distribuidor, em solo franco argilo arenoso.

Após as leituras com a sonda de TDR, um extrator de solução (Figura 7C) foi introduzido no mesmo local de inserção da sonda, sendo aplicada uma tensão de 70 kPa com uso de uma bomba de vácuo manual. Coletou-se um volume de aproximadamente 20 mL e procedeu-se as leituras de CE das soluções por meio de um condutivímetro de bancada.

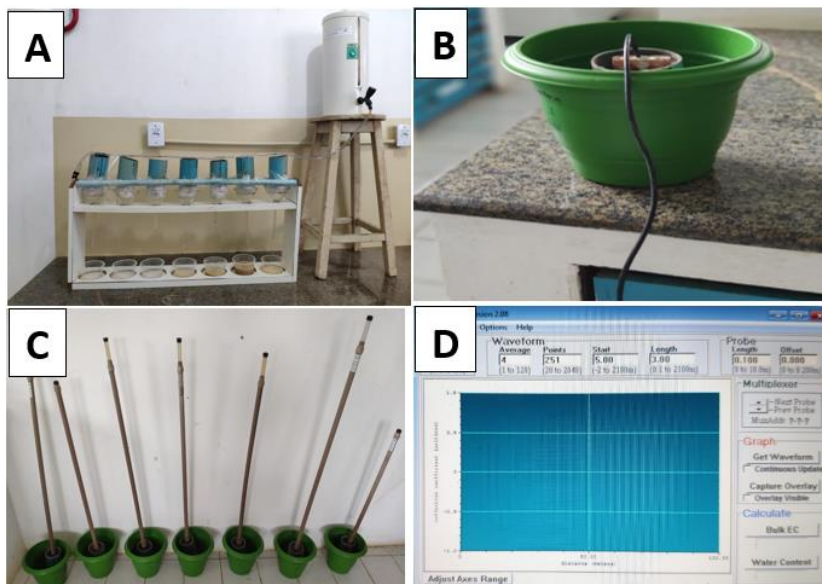


Figura 7. Processo de lavagem (A); saturação e inserção das sondas (B); inserção dos extratores (C); layout do programa PCTDR (D).
Fonte: Acervo do autor (2020).

2.5 Análises estatísticas

Para verificar a acurácia e validação das constantes obtidas na regressão linear, aplicou-se os indicativos estatísticos R^2 (coeficiente de determinação), $RMSE$ (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros), “d” (índice de concordância de Willmott) e o desvio padrão geral (GSD). Com exceção do R^2 , estes índices são calculados pelas equações 3, 4, e 5, respectivamente:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}$$

(3)

Em que:

n = Numero de dados

O_i = Valor observado.

E_i = Valor estimado.

2.6 Índice de concordância de Willmott (d)

O Índice de concordância (d) foi desenvolvido por de Willmott (1981) e é definido como

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \sigma| + |o_i - \sigma|)^2} \quad (4)$$

e o desvio padrão geral (GSD),

$$GSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - o_i)^2}{n}} = \frac{1}{\sigma} \quad (5)$$

2.7 Validação das constantes

Após a determinação das constantes de Geise e Tieman (k_p) pelas diferentes metodologias, foram realizadas validações. No intuito de determinar qual k_p que apresentou melhor desempenho dentro de cada situação específica, como pode ser visto na tabela 5. Na condição da metodologia 1, foram obtidas constantes nos valores de 3,56; 5,06; 6,48 e 7,23; (Figura 8). Enquanto que na condição da metodologia 2, foram obtidas constantes nos valores de 16,189 e 21,94, 24,12 e 35,49 (Figura 9). Para a validação, inseriu o valor das constantes que apresentaram melhor desempenho, de forma individual, sendo elas 5,063; 6,481; 16,189 e 24,12, (Tabela 11), no valor do K_p através das configurações do PCTDR, para estimar valores de CE com sondas conectadas diretamente à TDR em solo arenoso e solo franco argilo arenoso e com uso de multiplexadores em solo arenoso e em solo franco argilo arenoso. Também foram medida CEs, por meio de um condutivímetro de bancada com compensação automática de temperatura, a fim de determinar índices estatísticos.

De uma forma geral, foram obtidas constantes em imersão em solução e utilizando colunas de solos, com o objetivo de verificar qual a metodologia mais adequada para a calibração. O melhor desempenho dessas constantes foi avaliado pelos índices estatísticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Metodologia 1

As condutividades elétricas medidas por condutivímetro de bancada e pela TDR, com o programa PCTDR considerando os multiplexadores (Figura

8), resultaram em equações polinomiais de primeiro grau com elevados valores de coeficientes de determinação (R^2), para ambas as soluções. Isso comprova a existência de uma associação linear em ambas estimativas da condutividade elétrica, independente da fonte de sal.

As constantes de Giese-Tieman apresentaram valores de 3,5666 para a fonte comercial de nitrato de potássio e 5,063 para a fonte pura, ambos com o acoplamento direto da sonda à TDR. Quando utilizou-se multiplexadores, as constantes passaram a ser na ordem de 6,481 e 7,236 em solução com nitrato de potássio PA e comercial, respectivamente.

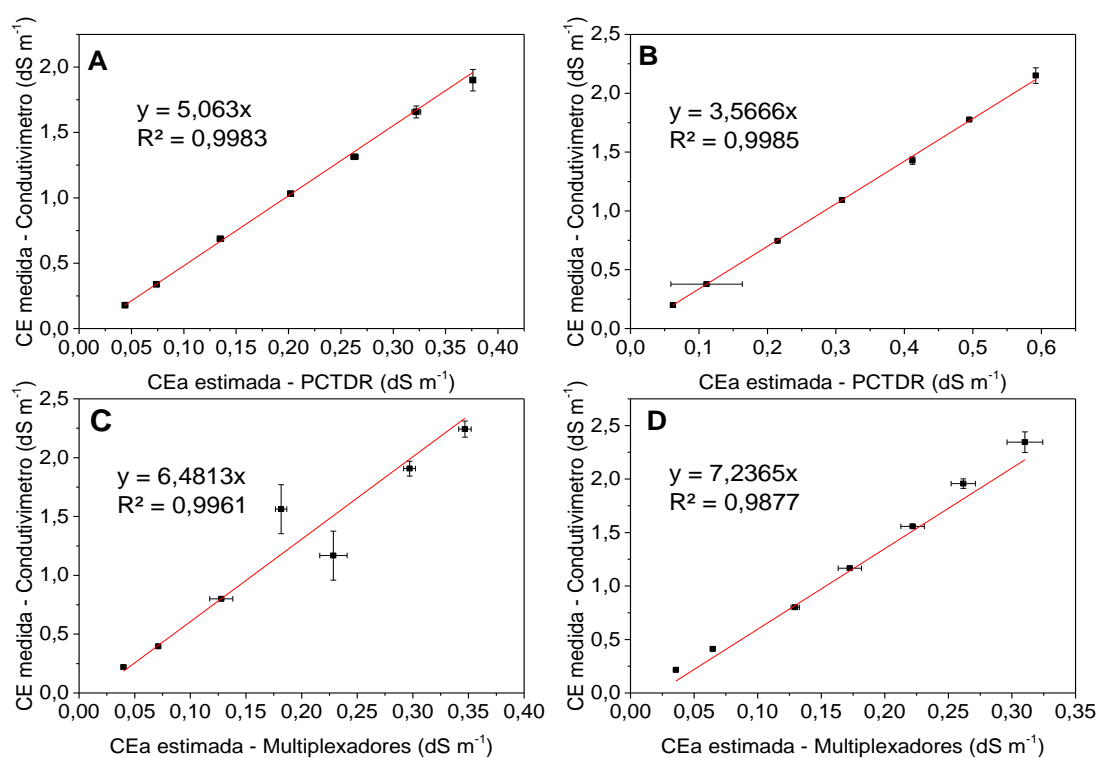


Figura 8. Coeficientes de determinação e constantes de Geise e Tieman estimadas com a guia de onda conectada a TDR utilizando nitrato de potássio PA (A) e comercial (B) e estimadas com multiplexadores intermediando a sonda ao PC-TDR em solução de nitrato de potássio PA (C) e comercial (D).

Para verificar a acurácia dos valores estimados e medidos, foi calculada a raiz do erro quadrático médio (RMSE - Root Mean Square Error), os valores do RMSE são dados no relatório final do programa Optirrig. Segundo Santos et al. (2014), o RMSE é uma medida da magnitude média dos erros estimados,

tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados. Quando os índices GSD e d são avaliados em conjunto, os limites a serem tomados para a avaliação do desempenho de modelos são: bom desempenho quando $GSD \leq 0,10$ e $d \geq 0,95$ e desempenho ruim para $d < 0,9$ ou $GSD > 0,2$. As demais faixas de variação destes índices são consideradas como de desempenho aceitável (FILA et al.,2003). Os valores calculados para a raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RSME), coeficiente de concordância (d) e desvio padrão geral (GSD) das equações das leituras da solução constituída por nitrato de potássio puro, que corresponde a constante de 5,06 e 6,48, estão dentro da faixa considerada como de bom desempenho, indicando uma excelente concordância entre os valores de condutividade elétrica medidos e estimados, principalmente devido aos altos valores de R^2 e de d (Tabela 8). A solução de nitrato de potássio comercial usada para fertirrigação resultou em valores de Kp, com acurácia, embora dentro dos limites adequados de GSD, menor quando comparada ao uso do nitrato de potássio puro. A menor acurácia se deve aos maiores valores de RMSE e GSD e menor valor de d. O nitrato de potássio comercial possui na composição outros elementos como o enxofre, o que faz com que a condutividade elétrica da solução tenha valores diferentes da avaliada em solução de nitrato de potássio PA.

Tabela 8. Valores do coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE), coeficiente de concordância (d) e desvio padrão geral (GSD) calculados para cada constante.

	TDR		MULTIPLEXADORES	
	Solução KNO ₃ PA	Solução KNO ₃ comercial	Solução KNO ₃ PA	Solução KNO ₃ comercial
	Constante de Geise-Tieman			
	5,063	3,566	6,481	7,236
R²	0,9992	0,9992	0,9973	0,9943
RMSE	0,3089	0,632	0,566	0,851
D	0,9956	0,975	0,993	0,986
GSD	0,0475	0,076	0,068	0,103

Os valores das constantes de Geise e tieman obtidas na metodologia 1, conforme figura 2 foram inferiores as obtidas por Coelho et al (2005) ao avaliar e caracterizar sondas de TDR para determinação da umidade e da

condutividade elétrica do solo, validadas para dois tipos de cabo coaxial e para diferentes comprimentos desses cabos, os valores de constante de Geise tieman obtidos foram superiores aos encontrados nesse estudo, no valor de 8,18, ao utilizar o menores comprimento do cabo das sondas, já para tamanhos de cabos maior obteve valores de constantes equivalentes a esse estudo, no valor de 6,83.

3.2 Metodologia 2

As estimativas da CE obtidas pelas sondas de TDR conectadas aos multiplexadores foram inferiores às obtidas com acoplamento da sonda diretamente a TDR para os dois tipos de solos saturados com a solução de KNO_3 comercial (Figura 9).

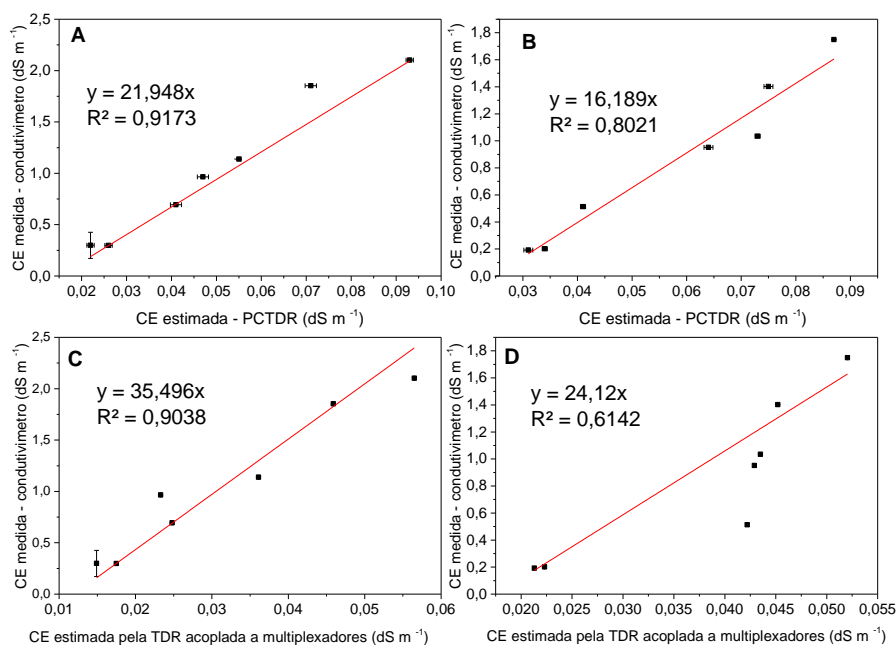


Figura 9. Coeficientes de determinação e constantes de Geise e Tieman (1975) dos valores de CE estimados com sondas conectadas diretamente à TDR em solo arenoso (A), em solo franco argilo arenoso (B) e com uso de multiplexadores em solo arenoso (C) e em solo franco argilo arenoso (D).

No que se refere a obtenção da constante de Giese e Tieman (K_p) com a guia de onda conectada diretamente a TDR, os valores encontrados para solo arenoso foi de 21,98, sendo superior a constante obtida para o solo

argiloso (16,18), em termos numéricos. Comportamento similar foi obtido nos dados obtidos através dos multiplexadores, com valores de K_p na ordem de 35,46 para o solo arenoso e 24,12 para o solo argiloso. Isso pode ter ocorrido, devido a atenuação do sinal desde a TDR (nível zero), passando pelo multiplexador distribuidor (nível 1) e pelo multiplexador (nível 2) na conexão do cabo da sonda até a mesma no solo. Santos et al., (2008) ao realizar estudo com o uso da reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de nitrato e fósforo em colunas de solos fertirrigados encontrou valor de 56,41 de constante de Giese e Tieman (k_p), valores estes superiores ao encontrado nesse estudo

A condutividade elétrica aparente do solo é resultado da condutividade elétrica das partículas do solo ou da fase sólida do solo e da condutividade elétrica da solução do solo (RHOADES et al., 1976), portanto é influenciada por diversos fatores do solo. Um fator a destacar são os processos químicos presentes nos dois tipos de solos, envolvidos na dupla camada difusa no caso do solo franco argila arenoso, pois o solo de textura argilosa tende a indisponibilizar bem como liberar os íons de carga positiva, deixando-os adsorvidos ou em solução no solo, enquanto que nos solos mais arenosos não ocorre os mesmos processos (BENTO et al., 2018). O solo arenoso, por ser mais inerte condiciona um estado mais variável dos íons numa determinada condição.

Dessa forma, os coeficientes angulares obtidos (Tabela 9), resultaram de melhor ajuste para os solos arenosos e medidos com a guia de onda diretamente conectada a TDR, deixando evidente a menor precisão nas estimativas da CE da solução do solo com as guias de ondas inseridas no solo franco argilo arenoso em comparação ao solo de classe areia franca.

Uma razão para isso se deve ao fato de que fatores como umidade e concentração de sais permanecem nas mesmas condições e que solos mais argilosos são melhores condutores de eletricidade quando comparados com solos de textura arenosa, conforme observado por Machado et al. (2006). Destacando assim a propriedade da argila de reter mais água e também de conduzir mais eletricidade que areia ou silte (MOLIN; RABELO, 2011). É importante ressaltar também que, quando as sondas são acopladas a canais de multiplexadores eletromecânicos, é possível apresentar limitações devido a

perturbações do sinal eletromagnético emitido pela TDR que reduz a confiabilidade da estimativa (COELHO et al., 2006). Apesar da menor precisão do modelo linear para determinação do Kp com a guia de onda inserida em solo franco argilo arenoso, tanto para leitura com acoplamento direto na TDR, como via multiplexador, a RMSE é menor nessa condição, bem como o GSD, que indica maior acurácia com uso nessas condições (Tabela 9).

Tabela 9. Valores do coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE), O coeficiente de concordância (d) e do desvio padrão geral (GSD) calculados para cada constante de Giese e Tieman.

	Guia de onda - TDR		Guia de onda - Multiplexador-TDR	
	Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso
Constante de Geise e Tieman				
	21,948	16,189	35,496	24,120
R²	0,9173	0,8021	0,9038	0,6142
RSME	1,18	0,96	1,18	0,96
D	0,83	0,83	0,70	0,68
GSD	0,16	0,15	3,4	2,25

3.3 Comparação das metodologias

Para o solo arenoso (Areia franca), com a guia de onda conectada diretamente a TDR, o valor da constante que demonstrou mais sensibilidade foi de 24,120. Em contrapartida, para o solo franco argilo-arenoso foi a constante de 16,189, indicando que o valor da constante obtida para o solo arenoso é superior 1,42 vezes em relação ao solo argiloso (Tabela 10). O comportamento foi o mesmo para os valores medidos com a guia de onda conectada a TDR via multiplexador.

Isso indica que, pode-se usar a metodologia 2 e com os multiplexadores, que são muito uteis em estudos de maior e especificidade que necessitem maior número de posições de coleta de dados.

Tabela 10. Valores dos índices RMSE, d e GSD para as constantes de Geise e Tieman com melhores desempenho e usadas para estimar a CE com sondas conectadas diretamente à TDR e com uso de multiplexadores em solo arenoso e em solo franco argilo arenoso.

	Sonda-TDR - Arenoso				Sonda-TDR – Argiloso			
CONTANTES	5,063	6,481	16,189	24,120	5,063	6,481	16,189	24,120
RSME	1,51	1,42	0,74	0,25	1,1	0,97	0,49	0,76
D	0,89	0,91	0,98	0,99	0,93	0,93	0,99	0,98
GSD	0,13	0,12	0,06	0,02	0,11	0,09	0,04	0,077
	Multiplexadores - Arenoso				Multiplexadores- Argiloso			
CONTANTES	5,063	6,481	16,189	24,120	5,063	6,481	16,189	24,120
RSME	1,47	1,39	0,9	0,26	1,04	1,05	0,62	0,76
D	0,85	0,92	0,97	0,99	0,94	0,91	0,99	0,98
GSD	0,13	0,12	0,08	0,02	0,106	0,1	0,06	0,07

RMSE - média dos quadrados dos erros; d - coeficiente de concordância; GSD - desvio padrão geral; e CE - condutividade elétrica.

Embora a metodologia de obtenção da constante de Geise e Tieman em soluções com água destilada e reagente nitrato de potássio PA seja a mais comum, as constantes obtidas através de coluna de solo e utilizando adubo comercial apresentaram melhor desempenho, conforme comprova os indicadores estatísticos.

4. CONCLUSÃO

O tipo de solo influencia na determinação da constante de Geise e Tieman, sendo necessário estabelecer uma constante de Geise e Tieman (K_p) diferente para cada tipo de solo.

Os indicadores de precisão e acurácia apontam para o uso de soluções como método para obtenção de Geise e Tieman (K_p) mais precisos do que quando se usa o próprio solo saturado com soluções.

O uso da constante de Geise e Tieman (K_p) pela metodologia 2 com a sonda TDR-solo tem maior precisão e acurácia do que quando com a sonda acoplada a multiplexador de nível 2.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Schweizerbart, v. 22, n. 6, p. 728, 2014.

CAMPBELL, J. L. Institutional Analysis and the Paradox of Corporate Social Responsibility. **American Behavioral Scientist**, v. 49, n. 7, p. 925- 938, 2006.

CAPPARELLI, G.; SPOLVERINO, G.; GRECO, R. Experimental determination of TDR calibration relationship for Pyroclastic Ashes of Campania. **Sensors**, v. 18, n. 11, p. 3727, 2018.

COELHO, E. F.; VELLAME, L.; COELHO FILHO, M. Antonio.; LEDO, C. A. S.; Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 23-30, 2006.

COELHO, E. F.; VELLAME, L.; COELHO FILHO, M. A. Sonda de TDR par Sonda de TDR para estimativ a estimativa da umidade e condutividade elétrica da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiple do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 475-480, 2005.

CONCEIÇÃO, B. S.; COELHO, E. F.; MARTINEZ, M. A.; SANT'ANA, J. A. V.; SILVA JUNIOR, J. J.; SILVA, A. J. P. Coeficiente de cultivo e extração de nitrato e potássio da bananeira 'prata gorutuba'. **Irriga**, [s.l.], v. 22, n. 4, p. 832-846, 2017.

FILA G., BELLOCCHI G.; DONATELLI M.; ACUTIS M. IRENE_DLL: object-oriented library for evaluating numerical estimates. **Agronomy Journal**, v.95, p.1330-1333, 2003.

GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from the sample time domain reflectometry. **Advanced Molex Relaxes Processes**. v.7, n. 1, p. 49, 1975.

GUIMARÃES, M. et al. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, Portugal, v. 59, n. 3, p. 258, 2018.

IŽVOLT, L.; DOBEŁ, P.; MEČÁR, M. Calibration of TDR test probes for measuring moisture changes in the construction layers of the railway line. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 1063, 2016.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a

argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p.1231, 2006.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 213–237, 2001.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils** Washington: USSS, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RHOADES, J. D.; RAATS, P. A. C.; PRATHER, R. J. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 5, p. 651-655, 1976.

SANTANA, G. S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 142-157, 2007.

SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; ZONTA, J. H.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A. Uso da Reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de fósforo em colunas de solos fertirrigados. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 45-53, 2012.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L. V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1226-1233, 2010.

SANTOS NETO, S. M.; ANTONINO, A. C. D.; COUTINHO, A. P.; BARROS, C. A. A.; SOARES, W. A. Performance e calibração de um sensor tipo TDR em solos do estado de Pernambuco, brasil. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 13, n. 1, p. 33, 2020.

SANTOS, W. O.; SILVA, K. B.; COELHO, D. C. L.; SILVA, K. M. P.; SOBRINHO, J. E.; SILVA, P. C. M.; BATISTA, R. O. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 3, p. 434-441, 2014.

SANTOS, M., R. **USO DA REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO PARA AVALIAR A DISTRIBUIÇÃO DE NITRATO E FÓSFORO EM COLUNAS DE SOLOS FERTIRRIGADOS**. 2008. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Mg, 2008.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W.D.; BOLLERO, G.A.; BULLOCK, D.G.; CLAY, D.E.; PALM, H. L.; PIERCE, F.J.; SCHULER, R.T. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 3, p. 283, 2005.

WANG, Z.; TIMLIN, D.; KOJIMA, Y.; LUO, C.; CHEN, Y.; LI, S.; FLEISHER, D.; TULLY, K.; REDDY, V. R.; HORTON, R. A piecewise analysis model for electrical conductivity calculation from time domain reflectometry waveforms. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 182, p. 106012, 2021. Elsevier BV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2021.106012>.

WILLMOTT, C. J. Sobre a validação de modelos. *Geografia física*, v. 2, n. 2, pág. 184-194, 1981.

**CAPÍTULO III- BALANÇO DE ÍONS PARA O ABACAXIZEIRO CV. BRS
IMPERIAL EM SOLOS COM E SEM COBERTURA**

BALANÇO DE ÍONS PARA O ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL EM SOLOS COM E SEM COBERTURA

RESUMO: No meio solo-planta, estudar o transporte de íons na solução do solo e a absorção destes pelas raízes é primordial para se propor manejo de fertirrigação as culturas. O movimento dos íons de nitrato e de potássio no solo tem sido amplamente estudado, tendo em vista que a alta mobilidade desses íons, pode ocasionar perdas de nutrientes e contaminação de águas subterrâneas. Diante desta realidade o presente trabalho tem como objetivo avaliar uma aproximação para a extração e lixiviação dos íons nitrato e potássio durante o ciclo do abacaxizeiro cv. Imperial irrigado por gotejamento e cultivado em solo com e sem cobertura sintética (mulch). Para o experimento foram utilizadas mudas do abacaxizeiro cv BRS Imperial, tipo rebentão, que foram plantados com o espaçamento de 0,9 m x 0,4 m x 0,4 m, o qual corresponde a uma densidade de plantio de 38460 plantas por hectare. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento. As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação. O nitrato de potássio foi a fonte de nitrogênio e potássio utilizada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema de parcelas sub subdivididas. Foram determinadas as variáveis de extração de nitrato e potássio pelo abacaxizeiro cv BRS Imperial, bem como a lixiviação desses íons no solo. Houve uma menor mobilidade do K^+ no perfil do solo em relação ao NO_3^- . A lixiviação de nitrato em solo arenoso foi 35 vezes maior do que a lixiviação de potássio para o mesmo solo. As maiores extrações de nitrato pelo abacaxizeiro cv BRS Imperial foram verificadas na fase de frutificação.

Palavras-Chave: Balanço de nutrientes. Nitrato, Potássio. Mulching.

ION BALANCE FOR PINEAPPLE CV. BRS IMPERIAL IN SOILS WITH AND WITHOUT COVER

ABSTRACT: In the soil-plant environment, studying the transport of ions in the soil solution and their uptake by the roots is primordial for proposing fertigation management for crops. The movement of nitrate and potassium ions in the soil has been widely studied, considering that the high mobility of these ions can cause nutrient losses and groundwater contamination. In view of this reality, the present work aims to evaluate an approach for the extraction and leaching of nitrate and potassium ions during the cycle of pineapple cv. Imperial, irrigated by drip irrigation and cultivated in soil with and without synthetic mulch. For the experiment were used pineapple seedlings cv BRS Imperial, shoot type, which were planted with the spacing of 0.9 m x 0.4 m x 0.4 m, which corresponds to a planting density of 38460 plants per hectare. The irrigation system used was drip irrigation. Fertigation followed a weekly application frequency. Potassium nitrate was the nitrogen and potassium source used. The experimental design was entirely randomized, with the treatments arranged in a subdivided plot design. The variables of nitrate and potassium extraction by the pineapple cv BRS Imperial, as well as the leaching of these ions in the soil were determined. There was a lower mobility of K^+ in the soil profile in relation to NO_3^- . Nitrate leaching in sandy soil was 35 times higher than potassium leaching for the same soil. The highest nitrate extractions by the pineapple cv BRS Imperial were observed in the fruiting phase. cv BRS Imperial were verified at 410 days after planting (fruiting phase).

KEYWORDS: Nutrient balance. Nitrate, Potassium. Mulching.

1. INTRODUÇÃO

O aprimoramento da aplicação de fertilizantes na água de irrigação requer conhecimentos de demanda da cultura, tipo de solo, manejo de irrigação e qualidade da água. No meio solo-planta, estudar o transporte de íons na solução do solo e a absorção das raízes é básico para se propor um manejo adequado de fertirrigação em culturas.

A fertirrigação tem evoluído lado a lado com o avanço da técnica de irrigação, haja vista que a fertirrigação apresenta inúmeras vantagens em relação ao método de aplicação dos fertilizantes na forma convencional. É uma alternativa que quando bem aplicada evita perdas por lixiviação e percolação resultando em melhor aproveitamento pelas plantas e maior eficiência na aplicação dos fertilizantes (CUNHA et al., 2019).

De uma maneira geral a maioria dos solos cultivados com o abacaxizeiro não supre adequadamente as necessidades nutricionais dessa cultura, pois trata-se de uma planta exigente quanto aos aspectos nutricionais, o que justifica a necessidade da prática de adubação (BORGES; COELHO, 2009).

Além disto, há que se considerar que todas as fases de desenvolvimento dessa cultura são bastante influenciadas pelo seu estado nutricional, notadamente na fase da produção, com influência direta na qualidade do fruto.

O nitrogênio e o potássio são considerados os nutrientes mais absorvidos pelas fruteiras (COELHO et al., 2011), evidenciando assim a relevância do estudo da dinâmica de íons em abacaxizeiro cv BRS Imperial principalmente por ser uma cultivar lançada recentemente. Daí a necessidade de se estabelecer um manejo adequado na FERTIRRIGAÇÃO, com vistas a um uso racional dos recursos produtivos, por meio de um manejo correto das técnicas agrícolas.

A preocupação com o impacto dos fertilizantes aplicados no solo, tem impulsionado os pesquisadores a desenvolverem modelos teóricos (LADU; ZHANG, 2011), bem como criar tecnologias que garantem a aplicação de níveis adequados de íons no solo, não apenas para satisfazer necessidades da planta e também para sustentar a produção agrícola.

O balanço de íons pode indicar situações de déficit ou um excesso de nutrientes, ajudar a; compreender os processos físico-químicos que ocorrem e

acompanhar a distribuição e as transformações dos nutrientes no perfil do solo, antes e depois da fertirrigação. O balanço de íon é fundamental para a tomada de decisão no manejo do sistema produtivo e para permitir estabelecer ou ajustar a aplicação dos fertilizantes (BARROS et al., 2010).

Considerando-se os avanços computacionais dos últimos anos, muitos estudos foram realizados para realização do balanço de íon por meio de aplicação de modelos analíticos e numéricos que prevê processos de transferência da água e solutos entre a superfície do solo e o lençol freático. Dentre os modelos computacionais disponíveis na literatura, pode-se citar o modelo Hydrus que vem se destacando pela precisão dos resultados obtidos SILVA et al. (2015), KANZARI et al. (2012), RAMOS et al. (2013). E para o monitoramento da distribuição de água e solutos iônicos no solo, a reflectometria no domínio do tempo (TDR) tem sido usada com sucesso em várias pesquisas (VOGELER et al. 1996; SANTOS et al. 2012; CONCEIÇÃO, 2016), devido à relação existente entre a condutividade elétrica aparente do solo e a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) e entre CEw e a concentração iônica (Ci).

Entretanto não se encontra na literatura muitos estudos voltados para balanço de íons utilizando equações que permita descrever o balanço em termos de quantificação de entradas e saídas desses elementos. O balanço de íons no solo, da mesma forma que o balanço de água, pode fornecer informações importantes e uteis como a absorção de nutrientes pelas raízes e a lixiviação de nutrientes num volume de solo. Pesquisas que envolve a transformação e o transporte de íons do solo, especialmente em relação a lixiviação de nutrientes em abacaxizeiro sob diferentes coberturas do solo são escassas. Estudos têm demonstrado que, nas condições de cobertura morta e palha, nitrogênio orgânico pode acumular-se na superfície do solo, devido a mudança de temperatura e umidade do solo, o que influi na lixiviação do nitrogênio do solo do nitrato (DONG et al, 2019).

Todavia, Filipović et al. (2016) afirma que os agricultores podem adicionar menos fertilizantes quando utilizarem sistema de manejo de cobertura morta, já que os nutrientes ficam mais tempo presente na camada de solo cultivado e, assim, fornecer mais nutrientes para a absorção das culturas durante a estação de crescimento. Já Zhang et al. (2012) conferiu que o uso da

cobertura plástica além de melhorar o status de umidade do solo e aumentar a rendimento, têm um grande impacto na lixiviação e transformação do nitrogênio e do nitrato no solo.

Diante dessa realidade, objetivou-se avaliar uma aproximação para a extração e lixiviação dos íons nitrato e de potássio durante o crescimento e a frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial fertiirrigado por gotejamento e cultivado em solo com e sem cobertura sintética (mulch).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição e localização dos experimentos

O experimento foi instalado em 12 de agosto de 2019 no município de Cruz das Almas – BA, nas dependências da Embrapa Mandioca e Fruticultura – EMBRAPA, com coordenadas geográficas: latitude 12°40'12" S, longitude 39°06'07" W e altitude de 220 m. O clima local é tropical quente úmido (Af), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (GUIMARÃES et al, 2018).

Para o experimento foram utilizadas mudas do abacaxizeiro cv. BRS Imperial, tipo rebentão, que foram plantados com o espaçamento de 0,9 m x 0,4 m x 0,4 m, em lisímetro de drenagem. Foram utilizados quatro lisímetros de drenagem confeccionados com tanques de fibra de vidro, com capacidade de 5m³, medindo 2 m de largura, 2,5 m de comprimento e 1 m de profundidade (SILVA; COELHO, 2014). A densidade de plantio foi de 38460 plantas por hectare. Foram implantadas um total de 20 plantas de abacaxi por lisímetro.

Dentro de cada lisímetro, a camada entre 0,80 e 1,0 m do perfil do solo foi dividido em duas camadas de 0,1 m, sendo a camada inferior composta por um sistema de drenagem, com tubos de PVC de 0,05 m perfurados e brita zero. Já a camada superior foi montada com areia lavada, com a finalidade de induzir um sistema de drenagem livre.

Dois dos lisímetros foram preenchidos cuidadosamente com solo de textura argilo arenoso e dois com solo de textura franco-arenosa. A cobertura do solo com mulching do tipo plástico biodegradável, foi utilizada com a

finalidade de impedimento de evaporação. O plástico biodegradável foi colocado na superfície do solo, tanto no lisímetro com solo de textura franco-arenosa como de textura argilo arenosa. Ou seja, dois tipos de solo (argiloso e arenoso) e a presença (CC) ou não (SC) da cobertura do solo (mulching). Totalizando, assim, quatro tratamentos.

Antes do plantio do abacaxizeiro, os lisímetros preenchidos com solo homogêneo foram submetidos a irrigações periódicas. Logo após, foram submetidos ao processo natural de compactação, ficando expostos às intempéries.

Após esse processo foram realizadas amostragens dos solos, as quais foram encaminhadas para análises no Laboratório de Física do Solo e Laboratório de solos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA, para definição de textura porosidade, densidade do solo e atributos químicos do solo, conforme apresentado nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Densidade do solo, frações granulométricas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e classe textural do solo da área do experimento, antes da instalação.

Tipo de solo	Densidade do solo Kg.dm ⁻³	Textura			Porosidade			Classe Textural
		Areia	Silte	Argila	Macro	Micro	Total	
		g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	%	%	%	
Arenoso	1,78	813	96	91	10,90	14,10	25,00	Areia Franca
Argiloso	1,51	589	72	339	9,56	25,04	34,60	Franco argilo arenoso

Tabela 12. Resultado dos atributos químicos do solo antes do plantio na área experimental.

Profundidade (m)	pH água	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V %	MO g.kg ⁻¹
			cmolc.dm ⁻³									
Arenoso	7,4	19	0,05	2,25	0,32	0	0,06	0	2,68	2,68	100	6
Argiloso	5,8	7	0,21	1,78	1,00	2,78	0,33	2,2	3,32	5,52	60	10

Nota: P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Na: Sódio; H: hidrogênio, SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; M.O: matéria orgânica.

A adubação de fundação foi realizada conforme a análise de solo e recomendação de adubação para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (OLIVEIRA; ROSA, 2017). A indução floral das plantas foi realizada no dia 05 de maio de 2020, aproximadamente 200 DAP (dias após o plantio). Foi

utilizando como indutor o Etefon (produto comercial Ethrel). O Etefon foi pulverizado na roseta central do abacaxizeiro, 50 ml por planta de uma solução preparada com 30 ml do Ethrel, adicionados a 100 litros de água, e acrescentados 2 kg de ureia e 35 g de hidróxido de cálcio (cal de pintura).

2.2 Instalação de extratores de solução e sondas de TDR

Foram confeccionados extratores de solução do solo de maneira artesanal. O extrator era composto de tubo de PVC, conectado na extremidade inferior a uma cápsula de cerâmica porosa. Esses extratores de solução foram instalados, juntamente com as sondas de TDR, nas profundidades de 0, 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m do perfil do solo. Os extratores de solução ficaram situados entre as sondas de TDR, foram utilizados os extratores de solução localizados nas distancias 0,00, 0,10 e 0,20 m (considerando a direção planta-gotejador e planta-planta) e nas profundidades 0,10 0,20; 0,30 e 0,40 m. Dessa forma, os extratores utilizados estavam localizados no bulbo molhado entre dois emissores

Para o monitoramento da umidade via solo foi confeccionada sondas de TDR com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável com comprimento efetivo de 0,1 m fora da resina e espaçadas entre si por 0,017 m; cabos coaxiais de 50 ohms; comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 0,05 m.

Foi instalada uma malha composta por sondas de TDR e extratores de solução distribuídas em pontos, instalados entre a planta e o gotejador considerando a profundidade efetiva do sistema radicular do abacaxizeiro.

Os dados de umidade foram coletados com uso de um sistema automático de coleta de dados envolvendo um reflectómetro tipo TDR, um armazenador de dados e multiplexadores de leituras, as umidades serão monitoradas a cada 20 minutos. A coleta de dados ocorrerá durante a fase vegetativa e enchimento de frutos.

2.3 Calibração das sondas de TDR

As sondas de TDR foram calibradas (Tabela 13) para cada tipo de solo e comprimento do cabo coaxial (Lima, 2021).

Tabela 13. Equações de calibração da TDR para um solo da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas – BA.

Comprimento do cabo (m)	Tipo de solo	Equação	R ²
1,5	Arenoso	$y = 3,3249x^3 - 1,6946x^2 + 1,1925x + 0,1226$	0,9918
1,5	Argiloso	$y = -17,299x^3 + 9,8017x^2 - 0,8074x + 0,2554$	0,9965
3,5	Arenoso	$y = -1E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0216x - 0,1424$	0,9908
3,5	Argiloso	$y = 9E-05x^3 - 0,0059x^2 + 0,138x - 0,938$	0,9953

2.4 Sistema e manejo da Irrigação e fertirrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com uma linha lateral para cada duas fileiras de plantas, sendo uma fita gotejadora modelo Metzerplas, emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹ e espaçados de 0,30 m. Os tratamentos foram diferenciados por registros no cabeçal de controle. O manejo da irrigação adotado foi realizado com base na avaliação do estado hídrico do solo, sendo monitorado com o auxílio do equipamento da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), para obtenção da lâmina de água a ser aplicada.

As umidades foram monitoradas três vezes na semana, no início da manhã, antes de realizar a irrigação, ao longo de todo o ciclo da cultura. As sondas de TDR, com cabo de 1,5 m, foram instaladas em cada parcela experimental em quatro repetições, num total de oito sondas. Estas sondas foram instaladas a 15 cm de profundidade na posição entre a planta e o gotejador. A partir dos resultados obtidos, calculava-se a média da umidade volumétrica do solo das oito sondas, utilizando-se a equação de calibração correspondente à sonda com cabo de 1,5 m de comprimento. Caso esses

valores fossem inferiores a umidade na capacidade de campo do solo, que foi definida como a retenção de água no solo a 0,01 MPa, calculava-se a lâmina de irrigação a ser aplicada naquele dia, conforme Lima (2021).

As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação. O nitrato de potássio foi a fonte de nitrogênio utilizada para fornecer nitrogênio e potássio. A opção em utilizar o nitrato de potássio como fonte ocorreu, pelo fato de o nitrato ser a forma mineral do nitrogênio. O que assegura a eliminação de variáveis que afetam o estado do N. Essa escolha também ocorreu pelo fato de que tanto o nitrato quanto o potássio apresentam grande mobilidade no solo, sendo esse comportamento desejável em estudos de dinâmica de íons na solução do solo.

Na Tabela 14, são apresentadas as recomendações de adubação para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' (OLIVEIRA; ROSA, 2017).

Tabela 14. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de 38.000 plantas ha⁻¹).

	Em cobertura – Após o plantio			
	1º ao 2º mês	4º ao 5º mês	6º ao 7º mês	8º ao 9º mês
Nitrogênio (g/planta)	1,58	2,63	3,16	3,16
K ₂ O (g/planta)	2,63	3,95	5,26	5,26

2.5 Coleta e análise da solução do solo nos tratamentos

Para avaliar a distribuição de íons no solo foram coletadas soluções durante 3 semanas seguidas, para cada fase de desenvolvimento da cultura e para cada tratamento. Um dia anterior ao início das coletas foi aplicado nos extratores um vácuo de 70 kPa, com o auxílio de uma bomba de vácuo. Após esse procedimento foi realizada a coleta da solução com auxílio de seringa com capacidade de 60 ml.

A solução do solo foi coletada nos seguintes momentos: antes da fertirrigação pela manhã, após a fertirrigação, e somente após duas horas da sucção que se realizava-se novamente outra coleta, e a última foi um dia após a fertirrigação em cada tratamento, a solução foi transferida para frascos hermeticamente vedados e, em seguida, armazenados em geladeira para posterior análise as leituras de Nitrato em um equipamento de avaliação rápida

(Card Horiba) e leitura de Condutividade elétrica (CE) em um condutivímetro de bancada. Na sequência, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Solos e Nutrição Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura, onde foram realizadas as leituras de potássio (K^+) empregando fotometria de emissão de chama. As leituras de umidade eram monitoradas a cada 20 minutos, sendo seus valores armazenados em um *datalogger*.

2.6 Extração de íons na zona radicular do abacaxizeiro

O balanço de íons (K^+ e NO_3^-) foi feito em lisímetros de drenagem. Os componentes do balanço de íons na zona radicular foram obtidos através do balanço de massa e foi realizado por meio da quantificação das entradas e saídas de nutrientes durante aproximadamente dois dias, cobrindo um evento de fertirrigação.

O volume de solo considerou a distância e a profundidade dos extratores na malha, numa área de 10 x 10 cm de solo, multiplicado pelo comprimento da capsula porosa de 6 cm que estava inserida no solo, isso, resultou em 600 cm³ de volume de solo que cada extrator abrangia. De posse desses dados foi determinado o valor da massa do íon no volume de solo alcançado pelo extrator de solução por meio da equação 3.

$$j = C_i \times \theta \times V_s \quad (3)$$

Em que:

j – É a massa de nitrato e ou potássio em um volume de solo conhecido na distância x e profundidade z onde o extrator está localizado (mg).

C_i – É a concentração de nitrato medido na solução do solo no ponto x e profundidade z onde o extrator está localizado (mg.L⁻¹).

θ – É a umidade medida pela TDR no mesmo instante em que foi coletado a solução do solo no ponto x e profundidade z (cm³. cm³).

V_s – É todo o volume de solo que compreende a região onde o extrator está localizado (cm³).

O balanço do íon nitrato e potássio no solo ($\Delta[\text{NO}_3^- \text{ e } \text{K}^+]$) foi realizado em função da quantidade total de nitrato e potássio no perfil de solo considerado, $[\text{NO}_3^- \text{ e } \text{K}^+]_j$, resultante da soma das quantidades individuais de nitrato e potássio em todas as profundidades amostradas e de cada distância. Logo em seguida somando todos os valores individuais obtidos em cada distância e em cada profundidade teremos o valor total do perfil para cada tratamento e para cada tempo de coleta.

Levando em consideração que j é o tempo antes da fertirrigação, $j+1$ o tempo após a fertirrigação e $j+2$ o tempo imediatamente antes da próxima irrigação/fertirrigação, o balanço do nitrato depende do valor inicial $[\text{NO}_3^-]_j$; da quantidade de NO_3 aplicado na fertirrigação, $[\text{NO}_3^-]_{j+1}$, da quantidade de NO_3 em ppm no final do período considerado, $[\text{NO}_3^-]_{j+2}$, da lixiviação no período, L_z , e extração do nitrato pelas raízes, $[\text{NO}_3^-]_{\text{ext}}$. Onde: o $[\text{NO}_3^-]_{\text{inf}} = [\text{NO}_3^-]_{j+1} - [\text{NO}_3^-]_j$. No que se refere à extração de nitrato e potássio no solo e com todos os componentes do balanço conhecido, aplica-se a equação 4 e 5 respectivamente:

$$[\text{NO}_3^-]_j + [\text{NO}_3^-]_{\text{inf}} - [\text{NO}_3^-]_{j+2} - L_z = [\text{NO}_3^-]_{\text{ext}} \quad (4)$$

$$[\text{K}^+]_j + [\text{K}^+]_{\text{inf}} - [\text{K}^+]_{j+2} - L_z = [\text{K}^+]_{\text{ext}} \quad (5)$$

2.7 Determinação da lixiviação

A lixiviação dos íons de NO_3^- e de K^+ foi realizada por meio da quantificação das saídas de água e nutriente nos lisímetros. As lâminas drenadas nos lisímetros foram medidas nas saídas dos sistemas de drenagem. O efluente coletado do fundo dos lisímetros na estação de coleta foi analisado, a fim de determinar a quantidade total de nitrato e potássio lixiviado num tempo antes e após a fertirrigação. O nitrato lixiviado sobre os intervalos de amostragem da solução do solo foram calculados como o produto da concentração de NO_3^- e K^+ da solução do solo e o volume da drenagem diária para o intervalo de amostragem.

2.8 Determinação da lixiviação

A lixiviação dos íons de NO_3^- e de K^+ foi realizada por meio da quantificação das saídas de água e nutriente nos lisímetros. As lâminas drenadas nos lisímetros foram medidas nas saídas dos sistemas de drenagem. O efluente coletado do fundo dos lisímetros na estação de coleta foi analisado, a fim de determinar a quantidade total de nitrato e potássio lixiviado num tempo antes e após a fertirrigação. O nitrato lixiviado sobre os intervalos de amostragem da solução do solo foram calculados como o produto de da concentração de NO_3^- e K^+ da solução do solo e drenagem diária obtido para o intervalo de amostragem.

2.9 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema de parcela sub subdivida. Os, tratamentos utilizados neste experimento foram dois tipos de solo (textura argilo arenosa e textura franco-arenosa), duas coberturas (com e sem utilização de cobertura do solo com mulch) e duas fases da cultura: fase 1 (crescimento vegetativo) e fase 2 (frutificação), sendo 3 repetições.

Foi avaliado nas duas fases fenológicas da cultura do abacaxizeiro cv BRS Imperial um período equivalente a três ciclos de fertirrigação, sendo que um ciclo corresponde a coleta de solução nos três horários (antes da fertirrigação, duas horas após a fertirrigação e um dia após a fertirrigação) e cada ciclo completo desse considerado como uma repetição. O fato de cada ciclo ser considerado uma repetição é justificado pela quantidade de fertilizante aplicada por fertirrigação não variar entre os tratamentos em cada ciclo de fertirrigação; o mesmo ocorrendo com a lâmina de irrigação, que não variou durante as fertirrigações.

Os resultados das variáveis de balanço de íons no solo, isto é, a extração de nitrato e potássio e lixiviação de nitrato e potássio foram submetidas à análise de variância, com as médias comparadas pelo teste tukey até 5% de significância utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Extração e lixiviação dos íons nitrato e potássio, no cultivo do abacaxizeiro cv BRS Imperial

A quantidade de nitrato extraído pela planta de abacaxizeiro cv BRS Imperial e lixiviado no perfil do solo foram influenciadas ($p < 0,05$) pelo tipo de solo. A extração de potássio pelo abacaxizeiro não foi influenciada ($p < 0,05$) pelo tipo de solo, enquanto que a lixiviação de potássio foi (Tabela 15).

A necessidade de otimizar a produção tem estimulado pesquisadores a buscarem técnicas e alternativas para melhoria da produtividade e redução de custos, e a preocupação com o caminho dos fertilizantes aplicados no solo, tem impulsionado muitos estudos (LADU; ZHANG, 2011). Diante disso, é possível verificar que a maior extração de nitrato ocorreu em solo argiloso, com valor percentual de 25% a mais em relação ao arenoso, em contrapartida a maior lixiviação desse íon ocorreu em solo arenoso (Tabela 15). A lixiviação de nitrato em solo arenoso foi 35 vezes maior do que a lixiviação de potássio para o mesmo solo. Quando se compara, a lixiviação de nitrato entre os solos é possível notar que no solo argiloso ocorreu uma redução de 33 % do valor de nitrato lixiviado.

Este resultado é justificado pelo fato de que os solos de textura arenosa tendem a ser pobres em matéria orgânica e têm uma baixa capacidade de troca catiônica (HUANG E HARTEMINK, 2020). Desta forma, os nutrientes aplicados na fertilização ou que já estão presentes no solo, são dificilmente retidos e tendem a ser lixiviados, devido a isso os solos arenosos são caracterizados por serem pouco férteis (OSMAN, 2018). Além disso, o íon nitrato possui carga negativa e é facilmente liberado na solução do solo, e assim que o nitrato de potássio é dissolvido na água de irrigação entra no meio poroso, não sendo adsorvido pelas micelas (ALVES et al., 2010).

Já os solos argilosos são mais porosos em comparação aos arenosos e apresentam maior superfície específica nas micelas e isso garante uma elevada capacidade de adsorção, por isso considera-se que os solos argilosos têm uma fertilidade elevada, muito embora dependendo das condições do solo (H e Al), os nutrientes possam não se encontrar facilmente disponíveis (KOME et al., 2019). A drenagem e perdas por lixiviação nos solos argilosos tendem a

ser bem inferiores, com possíveis perdas a ocorrerem devido à existência de canais preferenciais (BOOLTINK, 1995).

Tabela 15. Médias das quantidades de potássio e nitrato extraído nos diferentes tipos de solo cultivado com abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Solo	MACRONUTRENTES			
	EXTRAÇÃO (g/dia)		LIXIVIAÇÃO (g)	
	N	K	N	K
Arenoso	0,7489 b	4,22 a	1,39582 a	0,03916 a
Argiloso	0,9940 a	4,89 a	0,93555 b	0,02514 b
CV(%)	12,95	22,91	17,26	17,30

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A ocorrência de lixiviação ocasiona muitos prejuízos do ponto de vista agrônomo, levando a retirada nutrientes essenciais para o bom desenvolvimento das plantas (KENNY et al., 2019). Gerando um custo para os produtores, sendo necessário repor o valor nutritivo perdido (ALFARO et al., 2017). Este desgaste torna o solo menos propício para o cultivo e leva à diminuição da produtividade.

A quantidade de potássio e nitrato, extraído e lixiviado pela planta de abacaxizeiro cv BRS imperial foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos dias após o plantio (Tabela 16).

Tabela 16. Médias da quantidade de potássio e nitrato extraído e lixiviado em abacaxizeiro cv. BRS Imperial, em duas fases do seu ciclo.

Dias após o plantio	MACRONUTRENTES (g dia ⁻¹)			
	EXTRAÇÃO		LIXIVIAÇÃO	
	K	N	K	N
90 DAP	2,4672 b	0,4638 b	0,02146 b	1,56525 a
410 DAP	6,6628 a	1,2791 a	0,04286 a	0,76614 b
CV(%)	9,87	21,99	14,03	20,23

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A extração de nutrientes tende a variar durante o ciclo, o que foi notado nesse estudo, em que as maiores extrações foram verificadas aos 410 dias após o plantio (fase de frutificação). De acordo com Malézieux e Bartholomew (2003), a quantidade total de nutrientes na planta de abacaxizeiro aumenta com a idade, o que foi comprovado pela marcha de absorção realizada no

capítulo I deste trabalho, além do fato de a quantidade de N e K₂O aplicados na fase de frutificação ser maior que na fase de crescimento vegetativo.

Foi possível notar que a extração de potássio foi bem superior à de nitrogênio, fato esse que corrobora com Souza (1999), estudando vários autores, observou que as quantidades de nutrientes extraídas pela cultura do abacaxi foram diferentes e que o nutriente com maior extração é o potássio, seguido do nitrogênio. A extração de potássio verificada na fase de frutificação, foi cinco vezes maior que a de nitrato, entretendo a maior lixiviação foi notada pelo íon nitrato aos 90 DAP.

A lixiviação do nitrato foi maior ao na fase de crescimento vegetativo acredita-se que devido uma aplicação de uma quantidade superior a demanda da cultura e quando o sistema radicular não está totalmente desenvolvido, Lima (2021) ao realizar estudo par avaliar o desenvolvimento de raízes em abacaxizeiro cv BRS Imperial, identificou que aos 90 dias, o sistema radicular está em desenvolvimento, e nessa fase inicial apresenta raízes pequenas, o que justifica nesta fase não ter grandes absorções quando comparado com a fase de frutificação que apresenta maior densidade de raízes, isso deve ter propiciado aproveitamento do nutriente pelas plantas de abacaxizeiro não tão eficaz e, conseqüentemente, maior lixiviação de nitrato em relação a lixiviação de potássio, principalmente pelas características do íon.

Assim, todo o nitrato contido na camada arável do solo, que não fosse absorvido pelas plantas, estaria sujeito à lixiviação, sempre que houvesse movimento descendente da água no perfil, evidenciando intensa lixiviação desse íon.

A quantidade de potássio e nitrato, extraído e lixiviado pela planta de abacaxizeiro cv BRS imperial foram influenciadas ($p < 0,05$) pela cobertura do solo (Tabela 17). É possível notar que os maiores valores de extração tanto de nitrato como de potássio, foram verificados nos tratamentos com presença de cobertura do solo, isso pode ser justificado, de acordo com Filipović et al. (2016), que a utilização do mulching resulta em vários impactos na água e distribuição de nutrientes e, conseqüentemente, afeta a dinâmica dos nutrientes no solo, ocasionado também uma menor lixiviação dos cátions e de perda de nitrogênio por volatilização. Esses processos melhoram a fertilidade

do solo, com conseqüente maior disponibilização de nutrientes para as plantas, que se traduzem por maiores produtividades (ZHANG et al., 2012).

Tabela 17. Médias da quantidade de potássio e nitrato extraído e lixiviado em abacaxizeiro cv. BRS Imperial, nas diferentes coberturas.

Cobertura	MACRONUTRENTES (g dia ⁻¹)			
	EXTRAÇÃO		LIXIVIAÇÃO	
	N	K	N	K
SC	0,7139 b	3,6702 b	0,9067 b	0,0379 a
CC	1,029 a	5,4598 a	1,4247 a	0,0264 b
CV(%)	13,61	18,09	13,78	18,09

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A interação entre os fatores (SOLO X COB) foi significativa ($p < 0,05$) para as variáveis lixiviação de nitrato e potássio, como pode ser visto na tabela 18, o uso da cobertura do solo associado ao solo argiloso proporcionou as maiores extrações de nutrientes pela planta de abacaxizeiro cv BRS Imperial e menor valores de lixiviação, fato esse bastante positivo para o setor da agricultura irrigada na produção de alimentos, isso se deu pelas características de retenção do solo de textura argilosa e associado ao uso do mulching como cobertura morta. De acordo com Zhang et al. (2012) o uso da cobertura plástica, além de melhorar o status de umidade do solo resulta em maior mineralização de N, menos lixiviação de N mineral e maior rendimento de amendoim. E de acordo com Filipović et al. (2016), a utilização do mulching resulta em vários impactos na água e distribuição de nutrientes e, conseqüentemente, afeta a dinâmica dos nutrientes no solo.

Tabela 18. Efeito da interação do tipo de solo e cobertura do solo nas variáveis extração e lixiviação de potássio e no cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Variáveis	SOLO	Lixiviação de K (g)		Lixiviação de N (g)	
		Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso
Cobertura	Com	0,031 bA	0,0220 aB	1,0596 bA	0,7538 bB
	Sem	0,0475 aA	0,0283 aB	1,7320 aA	1,1173 aB
CV(%)		17,30		15,96	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre linhas não diferem significativamente entre os tipos de coberturas, enquanto as maiúsculas entre colunas, entre tipos de solo, pelo teste F ($p < 0,05$).

Dessa maneira é possível destacar que, para o cultivo de fruteira, em especial a esse estudo com o abacaxizeiro cv BRS Imperial, a planta consegue extrair maiores quantidades de nitrato e potássio na condição de cobertura do solo em solo argiloso, proporcionado também uma redução no processo de lixiviação desses nutrientes para camadas mais profundas. Garantindo assim, maior economia na aplicação de fertilizantes, reduzindo os custos e desperdícios para o sistema de produção, bem como as possibilidades de contaminação dos lençóis freáticos.

4. CONCLUSÃO

Houve uma menor mobilidade do K^+ no perfil do solo em relação ao NO_3^- , apresentou uma maior lixiviação, principalmente na fase de crescimento vegetativo da cultura.

A lixiviação de nitrato em solo arenoso foi 35 vezes maior do que a lixiviação de potássio para o mesmo solo.

As maiores extrações de nutrientes pelo abacaxizeiro foram verificadas aos 410 dias após o plantio (fase de frutificação). E a extração de potássio foi bem superior à de nitrato.

O abacaxizeiro cv BRS Imperial consegue extrair maiores quantidades de nitrato e potássio na condição de cobertura do solo em solo argiloso, proporcionado também uma redução no processo de lixiviação desses nutrientes para camadas mais profundas.

5. REFERÊNCIAS

ALFARO, M., ROSOLEM, C., GOULDING, K., JOHNSTON, J., WANG, H. **Potassium losses and transfers in agricultural and livestock systems.** Frontiers of Potassium Science. Rome, Italy. 25- 27.2017

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ALVES, M. S.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; ANDRADE NETO, T. M. Crescimento e produtividade da bananeira cv. Grande Naine sob diferentes combinações de nitrato de cálcio e ureia. *Revista Ceres*, v.57, p.125-131, 2010.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.

BOOLTINK, H. Field monitoring of nitrate leaching and water flow in a structured clay soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 52(2-3):251–261. 1995.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais.** 2. ed. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2009. 166 p.

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUSA, V. F. Aspectos básicos em fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. Cap. 6, p. 771.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. 23p

CONCEIÇÃO, B. S. **Modelagem da dinâmica de nitrato e potássio no solo em bananeiras fertirrigadas: modelos paramétricos e o modelo hydrus.** 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

CUNHA, F. N. TEIXEIRA, M. B.; RODRIGUES, C. R.; Giovani Santos MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3118-3128, 2019.

DIMENSTEIN, L. **Fertirrigação.** Fortaleza: Instituto Frutal, 1999. 31 p. CursoTécnico.

DONG, Q.; DONGA, T.; GUO, S.; HAO, M. Effect of different mulching measures on nitrate nitrogen leaching in spring maize planting system in south

of Loess Plateau. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 654-658, 2019.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019..

FILIPOVIĆ, V.; ROMIĆ, D.; ROMIĆ, M. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamics: experimental results and a modeling study. **Agricultural Water Management**, v. 176, n.1, p. 100-110, 2016.

GUIMARÃES, M.; LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n.3, p. 252-258, 2017.

HUANG, Jingyi; HARTEMINK, Alfred E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, [S.L.], v. 208, p. 103295, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>.

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

KENNY, Laura B.; WESTENDORF, Michael; WILLIAMS, Carey A.. Managing Manure, Erosion, and Water Quality in and Around Horse Pastures. **Horse Pasture Management**, [S.L.], p. 245-259, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-812919-7.00014-7>.

KOME, G., ENANG, R., TABI, F., YERIMA, B. Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science*, 9:155-188, 2019.

LADU, J. L. C.; ZHANG, D. Modeling atrazine transport in soil columns with HYDRUS-1D. **Water Science And Engineering**, v. 3, n. 4, p. 258-269, 2011.

LIMA, L. W. F. Otimização do uso da água em abacaxizeiro cv. BRS Imperial com redução da evaporação e percolação de água. **Tese** (Doutorado Acadêmico em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, Bahia. 2021. 117p.

MALÉZIEUX, E.; BARTHOLOMEW, D.P. Plant nutrition. In: BARTHOLOMEW, D.P. et al. *The Pineapple: botany, production and uses*. Honolulu: CAB, P.143 - 165. 2003.

OSMAN, K. *Sandy Soils. Management of Soil Problems*. Springer, 37–65 2018.

OLIVEIRA, A. M. G.; JUNGHANS, D. T.; MATOS, A. P., PADUA.; T. R. P. **Abacaxizeiro 'BRS Imperial' Sistema de Produção para a Mesorregião**

do Sul Baiano. 2017. Disponível em: cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeprodustemaProducaoId=9214&p_r_p_-996514994_topicId=1301>. Acesso em: 29 nov. 2019.

RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. A.; D. JUNIOR, M. S. D. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 3, jul. 2013.

SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; ZONTA, J. H.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A. Uso da Reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de fósforo em colunas de solos fertirrigados. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 45-53, 2012.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F. Estimation of water percolation by different methods using TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.1, 73-81, 2014.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. P.. Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. *Agrária (Recife. Online)*, v. 10, p. 293-303, 2015.

SOUZA, L. F. S; REINHARD, D. H; CABRAL, J. R. S. (Org.). O abacaxi. Produção. Brasília: EMBRAPA Comunicação Para Transferência de Tecnologia, 77 p. 2000.

VOGELER, I.; CLOTHIER, B. E. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 5-12, 1996.

ZHANG, H.Y.; LIU, Q. J.; YU, X. X.; LU, G.A.; WU, Y.Z. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 158, n. 1, p. 164-171, 2012.

**CAPÍTULO IV- USO DA ÁGUA PELO ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL
EM SOLOS COM E SEM COBERTURA**

USO DA ÁGUA PELO ABACAXIZEIRO CV. BRS IMPERIAL EM SOLOS COM E SEM COBERTURA

RESUMO: Em relação as condições de água na planta, algumas técnicas têm se destacadas, principalmente por garantir o uso mais eficiente da água pelas plantas. Além disso, existe a possibilidade de reduzir a necessidade de água a ser repostada pela irrigação. A lâmina de irrigação a ser repostada é calculada se baseando, principalmente, na evapotranspiração da cultura (ET_c). No caso da cultura abacaxizeiro, cv BRS Imperial, as informações de ET_c e K_c são contraditórias. Diante dessa realidade, o objetivo desse trabalho é aplicar técnicas de uso eficiente da água em abacaxizeiro cv. BRS Imperial com utilização de mulching em solos de textura argiloso e arenoso, cultivado em lisímetros de drenagem, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros. O experimento foi desenvolvido no município de Cruz das Almas – BA, nas dependências da Embrapa Mandioca e Fruticultura – EMBRAPA O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2. Os fatores considerados foram dois tipos de solo (arenoso e argiloso), duas condições de cobertura do solo (com e sem cobertura) e duas fases do ciclo da cultura (fase de crescimento vegetativo e fase de frutificação, sendo 5 repetições. E foram avaliadas as seguintes variáveis: armazenamento de água no solo, extração de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo. O uso da cobertura do solo associado ao solo argiloso influenciou positivamente nas condições hídricas para as plantas. Tal condição de cultivo promoveu maior armazenamento de água, menor evapotranspiração da cultura e menor coeficiente de cultivo resultando. Portanto, o uso da cobertura do solo associado ao solo argiloso, promoveu economia de água e um uso mais eficiente dos recursos hídricos no cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Palavras-chave: Cobertura do solo. Pegada hídrica. Solo arenoso. Solo argiloso. Coeficiente de cultivo. Evapotranspiração.

WATER USE BY PINEAPPLE CV. BRS IMPERIAL IN SOILS WITH AND WITHOUT COVER

ABSTRACT: In relation to the water conditions in the plant, some techniques have been highlighted, mainly by guaranteeing the most efficient use of water by the plants. In addition, there is the possibility of reducing the need for water to be replenished by irrigation. The irrigation blade to be replaced is calculated based mainly on the crop evapotranspiration (cTE). In the case of pineapple, cv BRS Imperial, the information about ETC and Kc are still poorly known. In view of this reality, the objective of this work is to apply techniques to optimize the use of water in pineapple cv. BRS Imperial with the use of mulching in soils with different textures, clay and sandy, cultivated in drainage lysimeters, under the edaphoclimatic conditions of the Coastal Tablelands. The experiment was developed in Cruz das Almas - BA, at Embrapa Mandioca e Fruticultura - EMBRAPA. The irrigation system used was drip irrigation using Time Domain Reflectometry (TDR) equipment. The experimental design was entirely randomized, in a 2 x 2 x 2 factorial scheme. The factors considered were two soil types (sandy and clayey), two soil cover conditions (with and without cover) and two phases of the crop cycle (90 and 410 DAP), with 5 repetitions. The following variables were evaluated: water storage in the soil, water extraction, crop evapotranspiration and crop coefficient. The use of soil cover associated with clayey soil positively influenced the water conditions for the plants. Such a crop condition promoted higher water storage, lower crop evapotranspiration, and lower crop coefficient, thus resulting in good water use efficiency and water footprint. Therefore, the use of soil cover associated with clayey soil, promoted water savings and a more efficient use of water resources in the cultivation of pineapple cv. BRS Imperial.

Key-words: Land cover. Water footprint. Sandy soil. Clayey soil. Crop coefficient. Evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são de absoluta importância para sobrevivência humana. Entretanto, cada dia que passa, a água com qualidade ao consumo humano, vem se tornando mais escassa. Isso tem causado uma crescente preocupação em relação a qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

As atividades agrícolas são as principais responsáveis pelo consumo de água doce, correspondendo a 70% das retiradas globais, podendo chegar a 95% em alguns países em desenvolvimento (FAO, 2020). A FAO (2020) estima que a demanda de água para produção de alimentos aumentará em mais de 50% até 2050. Contudo, o órgão enfatiza que essa quantidade de água pode ser reduzida para 10%, desde que haja melhorias nas práticas de irrigação e aumento nos rendimentos.

Essas melhorias podem ser alcançadas através do manejo da irrigação. Para isso é importante levar em consideração os seguintes fatores: quanto irrigar, quando irrigar e como irrigar (SOUSA et al., 2019). Esses fatores podem ser determinados baseados nas condições atmosféricas, nas condições de umidade do solo e nas condições de água na planta (GAVA et al., 2016).

Uma das principais variáveis utilizada para fins de manejo da irrigação, levando em consideração as condições atmosféricas, é evapotranspiração da cultura (ET_c). Essa variável é utilizada para definir quando e quanto de água precisa repor ao solo (PASCALE et al., 2011; TAL, 2016). Os métodos de estimativa da evapotranspiração são vários, como: balanço de água no solo, lisímetros de pesagem, considerados como método padrão; lisímetros de drenagem e as equações empíricas (FRIZZONE et al., 2016).

O monitoramento regular da umidade do solo é indispensável tanto para estabelecer o momento de irrigar quanto para determinar a lâmina de água a ser aplicada. Isso, além de contribuir para a redução do desperdício de água, favorece o aumento da produtividade. As medições dos teores de umidade podem ser realizadas através de vários métodos (diretos e indiretos) e equipamentos (BRAGA et al., 2018).

Dentre os mais diversificados métodos de determinação da umidade no solo, a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), considerada como um método indireto, tem sido bastante aceita devido, principalmente por ser um

equipamento seguro, permitindo medir a umidade com precisão, em qualquer profundidade. E tem sido bastante aplicada no balanço da água no solo em condições de campo (SOLDEVILLA-MARTINEZ et al., 2013; REDER et al., 2014).

Em relação as condições de água na planta, algumas técnicas têm se destacado, principalmente por garantir o uso mais eficiente da água pelas plantas e pela possibilidade de reduzir a necessidade de água a ser repostada pela irrigação, como é o caso do uso do mulching como cobertura do solo.

A prática de utilização de mulching combinada com a irrigação por gotejamento é considerada uma técnica comum de manejo agrícola praticado na produção comercial de vegetais e frutíferas. Essa forma de manejo resulta em vários impactos positivos na redução do consumo de água (LIU et al. 2013; FILIPOVIĆ et al., 2016; PEREIRA et al., 2015; WANG et al., 2015; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2017). Essas mudanças no ambiente do solo são boas para o crescimento das raízes das culturas, o que resulta em maior absorção de água e nutrientes do solo (WANG; XING, 2016).

A prática da cobertura do solo, aumentar a eficiência de uso da água e conservação do solo, e por isso vem sendo bastante adotada nos cultivos da fruticultura. Essas questões estão atreladas a expansão do abacaxizeiro irrigado no país, o aumento das demandas por tecnologias e a escassez de informações sobre as relações entre o consumo de água para abacaxizeiro, são considerados fatores importantes para elevar a produtividade e melhoria da qualidade dos frutos, e devido a isso nos conduziu ao presente estudo.

O objetivo desse trabalho foi aplicar técnicas de uso eficiente da água em cultivo de abacaxizeiro, cv. BRS Imperial, em lisímetros de drenagem, com e sem utilização de mulching sobre os solos de textura argilosa e arenosa.

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Descrição e localização do experimento

O experimento foi desenvolvido no município de Cruz das Almas – BA, no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura – EMBRAPA CNPMF, com coordenadas geográficas: latitude 12°40'12" S, longitude

39°06'07" W e altitude de 220 m. O clima local é tropical quente úmido (Af), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (GUIMARÃES et al, 2017). Os dados pluviométricos coletados durante a condução do experimento, são apresentados na Figura 10.

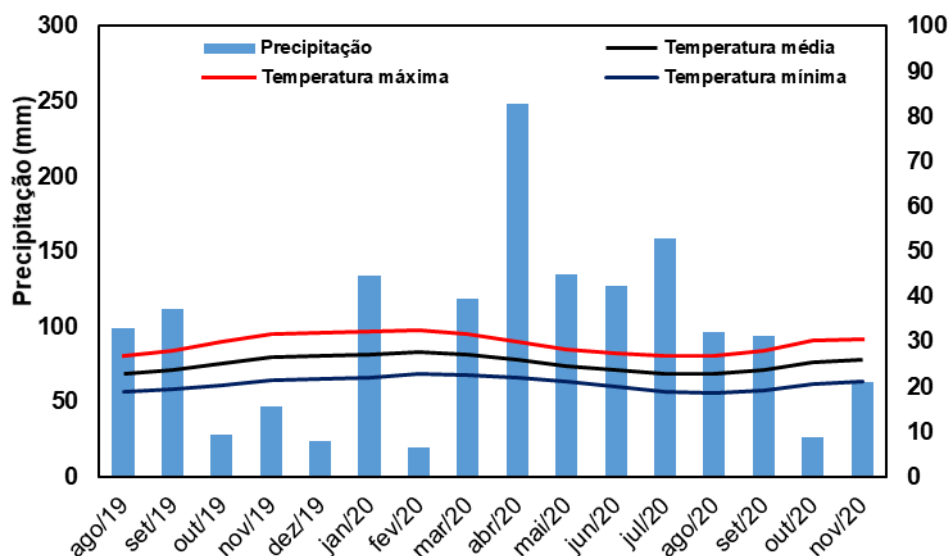


Figura 10. Dados pluviométricos mensais coletados durante a condução do experimento do ciclo do abacaxizeiro cv BRs Imperial.

Para o experimento foram utilizadas mudas do abacaxizeiro cv. Imperial, tipo filhote rebentão, que foram plantados com o espaçamento de 0,9 m x 0,4 m x 0,4 m, o qual corresponde a uma densidade de plantio de 38460 plantas por hectare. Foram implantadas um total de 20 plantas de abacaxi por lisímetros. Foram utilizados quatro lisímetros de drenagem confeccionados com tanques de fibra de vidro, com capacidade de 5m³, medindo 2 m de largura, 2,5 m de comprimento e 1 m de profundidade (SILVA; COELHO, 2014).

Dentro de cada lisímetro, o último 0,2 m do perfil do solo foi dividido em duas camadas de 0,1 m, sendo a camada inferior composta por um sistema de drenagem, com tubos de PVC de 0,05 m perfurados e brita zero. Já a camada superior foi montada com areia lavada, com a finalidade de induzir um sistema de drenagem livre.

Dois dos lisímetros foram preenchidos com solo de textura argilo arenoso e dois com solo de textura franco-arenosa. A cobertura do solo com mulching do tipo plástico biodegradável, foi utilizada com a finalidade de impedimento de evaporação. O plástico biodegradável foi colocado na superfície do solo, tanto no lisímetro com solo de textura franco-arenosa como de textura argilo arenosa. Ou seja, dois tipos de solo (argiloso e arenoso) e a presença (CC) ou não (SC) do mulching como cobertura do solo.

Antes do plantio do abacaxizeiro, os lisímetros foram preenchidos cuidadosamente com solo homogeneizado e submetidos a irrigações periódicas. Logo após, foram submetidos ao processo natural de compactação, ficando expostos às intempéries.

Após esse processo foram realizadas amostragens dos solos, as quais foram encaminhadas para análises no Laboratório de Física do Solo e Laboratório de solos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA, para definição de textura e análises físico hídricas, macro e microporosidade, densidade do solo, curva de retenção de água e análise química do solo conforme apresentado nas Tabelas 19, 20, 21 e 22.

Tabela 19. Densidade do solo, frações granulométricas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e classe textural do solo da área do experimento, antes da instalação.

Tipo de solo	Densidade do solo Kg.dm ⁻³	Textura			Porosidade			Classe Textural
		Areia	Silte	Argila	Macro	Micro	Total	
	 g.kg ⁻¹%			
Arenoso	1,78	813	96	91	10,90	14,10	25,00	Areia Franca Franco argilo arenoso
Argiloso	1,51	589	72	339	9,56	25,04	34,60	

Tabela 20. Umidade volumétrica e água disponível para diferentes tensões e tipos de solo da área experimental.

Tipo de solo	Umidade Volumétrica (m ³ .m ⁻³)					Água disponível (m ³ m ⁻³)
	Potencial Matricial (KPa)					
	-10	-33	-100	-300	-1500	
Arenoso	0,2314	0,0961	0,0657	0,0592	0,1303	0,0712
Argiloso	0,2437	0,2147	0,1991	0,1827	0,1793	0,0644

Tabela 21. Parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) para diferentes

Tipos de solo	Θ_s	Θ_r	A	N	M	R ²
Arenoso	0,2314	0,1303	0,0421	2,1526	0,5354	0,9879
Argiloso	0,2437	0,1780	0,0406	1,9275	0,4812	0,9843

tipos de solo da área experimental.

Tabela 22. Resultado dos atributos químicos do solo antes do plantio na área experimental.

Tipo de solo	pH	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V %	MO g.kg ⁻¹
Arenoso	7,4	19	0,05	2,25	0,32	0	0,06	0	2,68	2,68	100	6
Argiloso	5,8	7	0,21	1,78	1,00	2,78	0,33	2,2	3,32	5,52	60	10

Nota: P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Na: Sódio; H: hidrogênio, SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases; M.O: matéria orgânica.

A adubação de fundação foi realizada conforme a análise de solo e recomendação de adubação para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia. A indução floral das plantas foi realizada no dia 05 de maio de 2020, aproximadamente 200 DAP (dias após o plantio). Foi utilizando como indutor o Etefon (produto comercial Ethrel). O Etefon foi pulverizado na roseta central do abacaxizeiro, 50 ml por planta de uma solução preparada com 30 ml do Ethrel, adicionados a 100 litros de água, e acrescentados 2 kg de ureia e 35 g de hidróxido de cálcio (cal de pintura).

As plantas de abacaxizeiro foram caracterizadas através de medidas de comprimento e largura da folha D (Tabela 23). Além disso, registrou-se o número médio de folhas e se calculou a área foliar, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23. Valores médios do comprimento (CFD) e largura (LFD) da folha D, número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de abacaxizeiro, nas fases de crescimento vegetativo e de frutificação.

Solo	Mulching	NF	CFD (m)	LFD (m)	AF (m ²)
Crescimento vegetativo					
Argiloso	Sim	39	0,78	0,046	0,617
Argiloso	Não	33	0,61	0,044	0,436
Arenoso	Sim	39	0,66	0,045	0,554
Arenoso	Não	37	0,56	0,044	0,42
Frutificação					
Argiloso	Sim	40	0,77	0,059	0,806

Argiloso	Não	39	0,76	0,058	0,801
Arenoso	Sim	40	0,76	0,060	0,814
Arenoso	Não	38	0,75	0,059	0,799

A área foliar (AF) das plantas, nas duas fases do ciclo, foi determinada com base na equação 1.

$$AF = 19,298 \times (C \times L) - 559 \quad (1)$$

Em que:

AF é a Área foliar (cm²); C é o comprimento da folha D (cm); L corresponde à largura da “folha D” em cm (FRANCISCO et al, 2014).

2.2 Calibração das sondas de TDR

As sondas de TDR foram calibradas (Tabela 24) para cada tipo de solo e comprimento do cabo coaxial (Lima, 2021).

Tabela 24. Equações de calibração da TDR para um solo da área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas – BA.

Comprimento do cabo (m)	Tipo de solo	Equação	R ²
1,5	Arenoso	$y = 3,3249x^3 - 1,6946x^2 + 1,1925x + 0,1226$	0,9918
1,5	Argiloso	$y = -17,299x^3 + 9,8017x^2 - 0,8074x + 0,2554$	0,9965
3,5	Arenoso	$y = -1E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0216x - 0,1424$	0,9908
3,5	Argiloso	$y = 9E-05x^3 - 0,0059x^2 + 0,138x - 0,938$	0,9953

2.3 Sistema e manejo da Irrigação e fertirrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com uma linha lateral para cada duas fileiras de plantas, sendo uma fita gotejadora modelo Metzertplas, emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹ e espaçados de 0,30 m. Os

tratamentos foram diferenciados por registros no cabeçal de controle. O manejo da irrigação adotado foi realizado com base na avaliação do estado hídrico do solo, sendo monitorado com o auxílio do equipamento da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), para obtenção da lâmina de água a ser aplicada.

As umidades foram monitoradas três vezes na semana, no início da manhã, antes de realizar a irrigação, ao longo de todo o ciclo da cultura. As sondas de TDR, com cabo de 1,5 m, foram instaladas em cada parcela experimental em quatro repetições, num total de oito sondas. Estas sondas foram instaladas a 15 cm de profundidade na posição entre a planta e o gotejador. A partir dos resultados obtidos, calculava-se a média da umidade volumétrica do solo das oito sondas, utilizando-se a equação de calibração correspondente à sonda com cabo de 1,5 m de comprimento. Caso esses valores fossem inferiores a umidade na capacidade de campo do solo, que foi definida como a retenção de água no solo a 0,01 MPa, calculava-se a lâmina de irrigação a ser aplicada naquele dia, conforme Lima (2021).

As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação. O nitrato de potássio foi à fonte de nitrogênio utilizada para fornecer nitrogênio e potássio. A opção em utilizar o nitrato de potássio como fonte ocorreu, pelo fato de o nitrato ser a forma mineral do nitrogênio. O que assegura a eliminação de variáveis que afetam o estado do N. Além disso, devido ao fato de que tanto o nitrato quanto o potássio apresentam grande mobilidade no solo, sendo esse comportamento desejável em estudos de dinâmica de íons na solução do solo.

Na Tabela 25, são apresentadas as recomendações de adubação para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' (OLIVEIRA et al., 2017).

Tabela 25. Recomendação de adubação nitrogenada para o abacaxizeiro 'BRS Imperial' no Extremo Sul da Bahia (densidade em torno de 38.000 plantas ha⁻¹).

	Em cobertura – Após o plantio											
	1 ^o	ao	2 ^o	4 ^o	ao	5 ^o	6 ^o	ao	7 ^o	8 ^o	ao	9 ^o
	mês		mês		mês		mês		mês		mês	
Nitrogênio (g/planta)	1,58		2,63		3,16		3,16		3,16		3,16	
K ₂ O (g/planta)	2,63		3,95		5,26		5,26		5,26		5,26	

2.4 Balanço de água na zona radicular do abacaxizeiro

O balanço de água na zona radicular foi usado como forma de obtenção das variáveis que compõem a relação solo-água-plantas. Foi determinado em duas fases do ciclo da cultura. Ou seja, as fases de desenvolvimento inicial da cultura e frutificação. Sendo essas fases correspondentes aos 90 e 410 DAP, respectivamente. Os períodos de coleta de dados selecionados foram os que apresentaram evapotranspiração de referência (ET_o) aproximadamente constante, sendo possível em cinco ciclos de irrigação.

O monitoramento da umidade no perfil. Para isso, instalaram-se sondas de TDR, de 3,5 m de comprimento de cabo, nos lisímetros em uma malha de 23 posições considerando o sentido da planta, do gotejador e da rua, entre as linhas de plantio, para os diferentes tratamentos (Figura 11). As sondas foram instaladas nas trincheiras representando planos tridimensionais, com distâncias horizontais relacionadas a posição da planta, da rua e do gotejador. Sendo estas distâncias de 0,0; 0,10 e 0,20 m com profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 m. Para a distância horizontal relacionada ao gotejador foi um pouco diferente sendo 0,0 e 0,1 m com profundidades de 0,2 e 0,3 m (Figura 11).

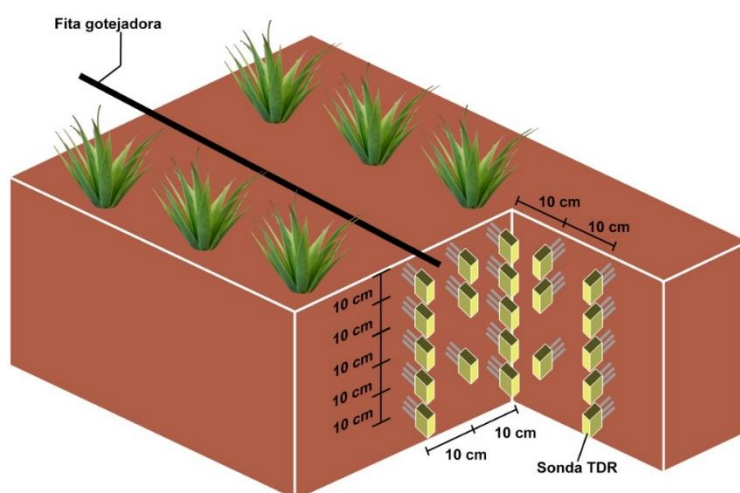


Figura 11. Esquema de distribuição de sondas de TDR para coleta de dados de umidade do solo, no cultivo do abacaxizeiro cv. BRS imperial.

A umidade do solo foi monitorada de forma contínua com leituras em intervalos de tempo de 20 minutos pelo sistema automático de aquisição de dados. Os multiplexadores de leitura (nível 2) foram conectados a um multiplexador (nível 1) que foi conectado ao reflectômetro tipo TDR100 e a um

armazenador de dados modelo CR1000 (“datalogger”) formando o sistema automático de aquisição de dados.

Os dados da umidade no perfil foram então transformados em umidade volumétrica pela equação de calibração correspondente as sondas de TDR com comprimento de cabo de 3,5 m. Em seguida foi calculada a média horária, que permitiu obter o armazenamento de água no perfil do solo, com o qual foi possível obter a variação de umidade entre dois tempos dentro de cinco ciclos de irrigação para cada fase de cultivo avaliada. A precipitação foi obtida por meio de estação meteorológica localizadas a cerca de 50 m do experimento. No entanto foram selecionados períodos em que a precipitação foi igual a zero.

O armazenamento de água no solo (ARM) na camada de solo entre z_0 e z_n em cada distância (R_i) da planta num tempo t_i , foi obtido pela equação 7.

$$ARM(z_0 - z_n) = \int_{z_0}^{z_n} \theta(z) dz \quad (7)$$

Em que:

ARM = Armazenamento de água no solo (mm);

$\theta(z)$ = Função de umidade do perfil do solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);

z_0 = Profundidade inicial (m);

z_n = Profundidade final (m).

Quando substituídos os valores, obteve-se a equação 8.

$$ARM(0 - 0,30) = \int_0^{0,30} \theta(z) dz \quad (8)$$

Em que:

ARM - armazenamento de água no solo (mm) em todo o perfil (0,0 – 0,3 m) avaliado nesse estudo, no tempo t_i .

O armazenamento em todo o perfil no tempo t_i foi dado pela média dos valores de ARM (z_0 - z_n) obtidos de todas as distâncias R_i . A variação de armazenamento (ΔARM) antes de uma irrigação (t_1) até o início da irrigação seguinte (t_2) será pela equação 9.

$$\Delta ARM_{t_1-t_2} = ARM_{t_1} - ARM_{t_2} \quad (9)$$

Em que:

ARM_{t_1} = armazenamento no perfil calculado no tempo t_1 ;

ARM_{t_2} = armazenamento no perfil calculado no tempo t_2 .

A lâmina de água percolada (Per) foi obtida por meio de coletores instalado nos lisímetros de cada tratamento. No período entre duas irrigações foi determinado o volume lixiviado com o auxílio de uma proveta. Uma vez conhecida a lâmina de irrigação e ou precipitação e percolação, a incógnita da equação do balanço fica sendo a evapotranspiração da cultura. O cálculo da evapotranspiração da cultura foi realizado utilizando a equação 10.

$$\Delta ARM = I + P - Per - ET \quad (10)$$

Em que:

ΔARM = Variação do Armazenamento (mm) entre os tempos t_1 (antes da irrigação); t_2 (antes da irrigação seguinte) em cada ciclo de irrigação;

I = Irrigação (mm) entre t_1 e t_2 ;

P = Precipitação (mm) entre t_1 e t_2 ;

Per = Percolação (mm) entre t_1 e t_2 ;

ET = Evapotranspiração (mm) entre t_1 e t_2 .

Substituindo as variáveis irrigação, lâmina percolada e variação de armazenamento, na equação 9, tem-se a evapotranspiração da cultura. Com a evapotranspiração evidenciada, conforme equação (11).

$$ET_c = \Delta ARM + I - Per \quad (11)$$

Os resultados de ET_c permitiram a obtenção dos valores de coeficiente de cultivo (K_c) do abacaxizeiro cv BRS Imperial pela equação (12). Sendo a ET_o determinada pela equação Penman-Monteith parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 1998).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (12)$$

Em que,

K_c = Coeficiente de cultura;

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm);

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm).

2.6 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2. Os fatores considerados foram dois tipos de solo (arenoso e argiloso), duas condições de cobertura do solo (com e sem cobertura) e duas fases do ciclo da cultura (90 e 410 DAP). Sendo as repetições compostas por cinco eventos de irrigação em cada fase do ciclo da cultura. Ou seja, com 5 repetições.

Os resultados das variáveis armazenamento de água no solo, extração de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo foram submetidas à análise de variância, tendo as médias comparadas pelo teste tukey até 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Lâmina total aplicada e frequência de irrigação nos diferentes tratamentos

Na Figura 12 é possível observar o número de irrigações mensais durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro, cv. BRS Imperial. Houve mais irrigações em outubro de 2019. Além disso, é possível observar um maior número de irrigações nos solos sem o uso de mulching, com exceção de alguns períodos quando ocorreu precipitações pluviométricas (Figura 12). A cobertura do solo com o mulching impediu a infiltração da água das chuvas necessitando, assim, de reposição de água para a cultura na forma de irrigação.

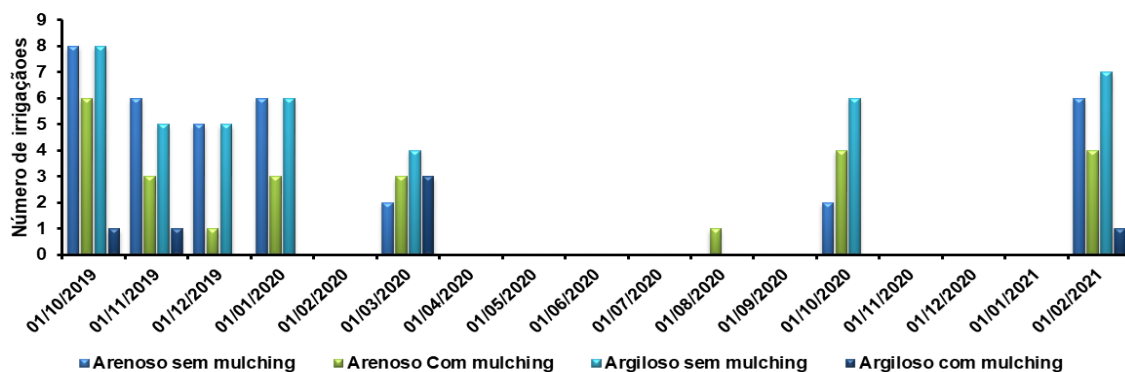


Figura 12. Número de irrigação aplicada por mês nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Na Figura 13, é possível observar as lâminas mensais de água aplicadas por irrigação durante o ciclo do abacaxizeiro, cv. BRS Imperial. Pode-se notar, na Figura 13, que a irrigação ocorreu em um percentual equivalente a 47% dos meses de estudo com lâminas inferiores a 50 mm.

Os tratamentos aplicados eram influenciados tanto pela aplicação do mulching sobre a superfície do solo, como pelo tipo de solo, que por sua vez resultou em lâminas distintas. As menores lâminas foram observadas nos tratamentos com aplicação de mulching, resultando na aplicação de 68,37mm para o solo arenoso com mulching e 14,23 mm em solo argiloso com mulching, em contrapartida os tratamentos sem mulching, tanto arenoso quanto argiloso apresentaram um consumo de água muito superior com lâminas de 153,02 mm e 184,66 mm, respectivamente (Figura 13).

Diante disso pode se notar um redução considerável na aplicação de água promovida pela utilização do mulching, para o solo arenoso o mulching promoveu uma redução de 55,31% da aplicação da água para a cultura, já para o argiloso a redução foi de 92,29% fato esse que corrobora com a literatura em trabalhos que ressaltam que essa forma de manejo resulta em vários impactos positivos na redução do consumo de água (LIU et al. 2013; FILIPOVIĆ et al., 2016; PEREIRA et al., 2015; WANG et al., 2015; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2017). As maiores lâminas aplicadas, corresponderam em maior frequência das irrigações, e isso ocorreu nos tratamentos sem utilização do mulching, independentemente do tipo de solo, conforme figura 13.

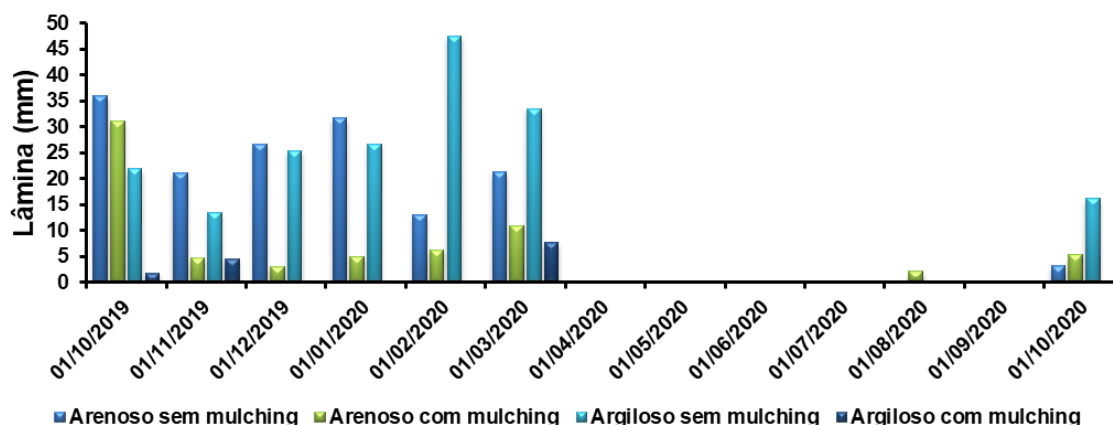


Figura 13. Médias das lâminas de água aplicada por mês nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

3.2 Água disponível no solo

A água disponível no solo atingiu valores superiores no início do ciclo, e foi reduzindo gradativamente ao longo do ciclo (Figura 14). O tratamento que apresentou maior valor de água disponível foi o solo arenoso sem mulching seguido do solo argiloso sem mulching. É possível identificar que a ausência do mulching contribui para o aumento do consumo hídrico da planta (Figura 14).

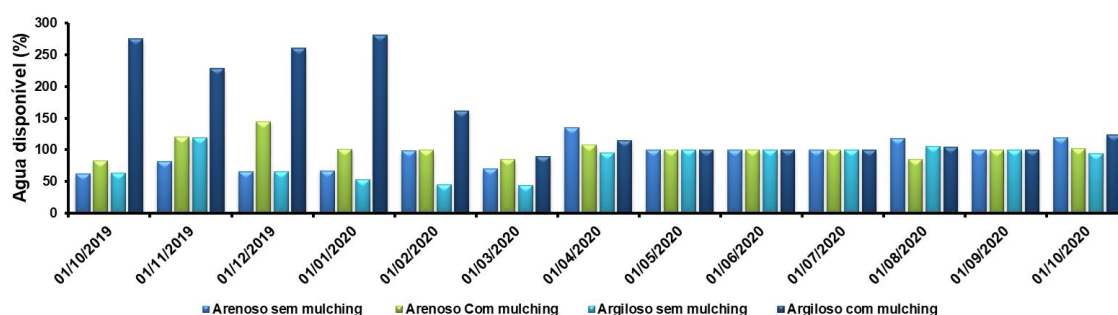


Figura 14. Médias da água disponível no solo antes da irrigação, por mês, nos diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

3.3 Armazenamento de água, extração de água, coeficiente de cultivo e evapotranspiração da cultura.

As variáveis armazenamento de água, extração de água e coeficiente de cultivo foram influenciadas ($p < 0,05$) somente pelo tipo de solo, como fator isolado (Tabela 26).

A textura de um solo determina a capacidade de retenção de água e é possível notar que o armazenamento de água, entre dois eventos de irrigação, foi maior no solo de textura argilosa com valor de 46 mm (Tabela 26). Enquanto que para solo arenoso o armazenamento de água, entre dois eventos de irrigação, foi inferior sendo seu valor de 30,85 mm (Tabela 26). Isso pode ser explicado devido ao solo de textura arenosa apresentar menor superfície específica e, conseqüentemente, menor retenção de água. E a microporosidade é predominante. Lembrar que a microporosidade é o fator mais importante nesses casos.

Já ao que se refere a extração de água pelas raízes, ocorreu o oposto do armazenamento de água. Para o solo arenoso a extração foi de 6,62 mm e para o solo argiloso foi de 1,70 mm, considerando o período de 6 a 48 horas após o evento de irrigação. Em termos percentuais, a extração de água apresentou um aumento de 74,32% no solo arenoso em relação ao solo argiloso (Tabela 26). É muito importante determinar a extração de água pela cultura, pois a mesma está relacionada com a produtividade tendo em vista que determina se a cultura está ou não submetida a um déficit hídrico. Em caso positivo de déficit hídrico, a extração de água pode determinar a produtividade possível para essa situação de água limitante às plantas (CARLESSO, 1995).

O coeficiente de cultivo foi influenciado pelo tipo de solo, de maneira que foram obtidos menores valores para o solo arenoso de 0,56 e maiores valores para o solo argiloso no valor de 0,68 (Tabela 26). Isso indica, de acordo com Allen et al., (1998), características da cultura e efeitos da evaporação do solo. Tais características variam ao longo do seu ciclo, em função da taxa de crescimento e condições atmosféricas, expressando em termos práticos o consumo hídrico durante o ciclo.

Tabela 26. Efeito do tipo de solo nas variáveis de armazenamento de água, extração de água e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

SOLO	Armazenamento (mm)	Extração (mm)	Kc
Arenoso	30,85 b	6,62 a	0,56 b
Argiloso	46,25 a	1,70 b	0,68 a
CV(%)	3,70	38,75	6,40

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

O armazenamento de água, a evapotranspiração da cultura (ETC) e o Kc foram influenciados ($p < 0,05$) pela utilização de mulching, como fator isolado (Tabela 27).

A necessidade de otimizar a produção tem estimulado pesquisadores a buscarem técnicas alternativas para melhoria da produtividade e redução de custos, principalmente devido a agricultura irrigada ser vista pelo mundo como uma vilã no consumo de água doce. A cobertura do solo proporciona muitos benefícios na economia de água durante o cultivo. Através dos resultados é possível notar que o armazenamento de água, entre dois eventos de irrigação, foi maior na condição de cobertura do solo, com valor de 39,17 mm. Para a condição sem cobertura do solo, o armazenamento de água entre dois eventos de irrigação, foi menor sendo o valor de 37,93 mm (Tabela 27). Além disso, a cobertura do solo proporcionou um menor valor de evapotranspiração da cultura e do Kc sendo estes de 4,46 mm e 0,49, respectivamente (Tabela 27).

Tabela 27. Efeito da cobertura nas variáveis de armazenamento de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Cobertura	Armazenamento (mm)	ETC (mm)	Kc
Com cobertura	39,17 a	4,46 b	0,49 b
Sem cobertura	37,93 b	6,27 a	0,74 a
CV(%)	3,70	18,93	6,40

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultivo foram influenciados pelos dias após o plantio, conforme tabela 28.

As demandas atmosféricas e consumo de água pelas culturas tendem a variar durante o ciclo, o que foi notado nesse estudo. A evapotranspiração da cultura (6,33 mm) e coeficiente de cultivo (0,78) foram maiores aos 410 DAP, período correspondente a fase de frutificação da cultura (Tabela 28). Isso é justificado, principalmente, pela taxa de crescimento da cultura. Ou seja, nessa fase, a planta está mais desenvolvida e enchendo os frutos, o que demanda maior quantidade de água. Conseqüentemente, tende a ser maior o coeficiente de cultivo (Kc), bem como a ETC.

Tabela 28. Efeito dos dias após o plantio (DAP) na evapotranspiração da cultura (ETC) e coeficiente de cultivo (Kc) durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

VARIÁVEIS	ETC (mm)	Kc
Dias após o plantio		
90 DAP	4,39 b	0,46 b
410 DAP	6,33 a	0,78 a
CV(%)	18,93	6,40

Medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A interação entre os fatores tipo de solo e cobertura do solo foi significativa ($p < 0,05$) para as variáveis armazenamento de água, extração de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo (Tabela 29). Os valores obtidos, como pode ser visto na tabela 29, indicam que a cobertura do solo associado ao solo argiloso promoveu os maiores valores de armazenamento de água (45,68 mm), evapotranspiração da cultura (5,14 mm) e coeficiente da cultura (0,61). Isso pode ser justificado pela capacidade do solo argiloso em reter água e da cobertura do solo em reduzir as taxas de evaporação.

O solo arenoso e sem cobertura apresentou maiores valores de ETc (6,29 mm) e Kc (0,73) quando comparado com o mesmo solo arenoso, porém sem uso de cobertura (Tabela 29).

Tabela 29. Efeito da interação do tipo de solo e cobertura do solo nas variáveis armazenamento de água, extração de água, evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Variáveis	SOLO	ARM (mm)		ETc(mm)		KC	
		Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso
Cobertura	Com	32,66 aB	45,68 aA	3,78 bB	5,14 bA	0,39 bB	0,61 aA
	Sem	29,04 bB	46,83 aA	6,29 aA	6,24 aA	0,73 aA	0,74 aA
CV (%)		3,70		18,40		6,40	

Médias seguidas de letras minúsculas são comparadas entre linhas para os tipos de coberturas, enquanto as letras maiúsculas comparam as médias entre colunas, para os tipos de solo. Letras diferentes indicam significância pelo teste F ($p < 0,05$).

O teste de comparação de médias mostrou interação entre os fatores tipo de solo e DAP para as variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo (Tabela 30).

A evapotranspiração da cultura (ETC) expressa o consumo de água por uma cultura durante o ciclo, sendo de grande importância na tomada de

decisão para dimensionamento e no manejo de projetos de irrigação. A mesma permite quantificar a água a ser reposta ao solo para atender as demandas hídricas da cultura. Na tabela 30, é possível observar que a ETC foi influenciada pelo tipo de solo, exceto aos 90 DAP. Provavelmente porque as plantas ainda estavam no início de seu crescimento.

O Kc foi maior em condições de solo argiloso. Sendo maior também aos 90 DAP (0,61) e aos 410 DAP (0,95), conforme Tabela 30.

Tabela 30. Efeito da interação dos dias após o plantio e tipo de solo nas variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Variáveis		ETC (mm)		Kc	
		Arenoso	Argiloso	Arenoso	Argiloso
Dias após o plantio	90 DAP	4,72 aA	4,07 bA	0,50 aB	0,61 bA
	410 DAP	5,36 aB	7,31 aA	0,40 bB	0,95 aA
CV(%)		18,93		6,40	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre linhas não diferem significativamente entre os tipos de coberturas, enquanto as maiúsculas entre colunas, entre tipos de solo, pelo teste F ($p < 0,05$).

Houve interação entre os fatores cobertura do solo e DAP para as variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo.

Como já foi definido na literatura, a necessidade hídrica do abacaxizeiro cresce continuamente, predominando assim até a formação total do fruto. Na Tabela 31 é possível observar que a cobertura do solo promoveu uma redução significativa da ETC e do Kc do abacaxizeiro, cv. BRS Imperial. Mesmo se encaminhando para o final do ciclo, onde a tendência destas variáveis é aumentar. É notada uma redução de 23,67 % e 34,04%, aos 410 DAP, para evapotranspiração da cultura e Kc, respectivamente.

Tabela 31. Efeito da interação da cobertura com os dias após o plantio nas variáveis evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo durante as fases de crescimento e frutificação do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

Variáveis		ETC (mm)		Kc	
		Com cobertura	Sem cobertura	Com cobertura	Sem cobertura
Dias após o plantio	90 DAP	3,44 bB	5,35 aA	0,37 b	0,54 a
	410 DAP	5,48 bB	7,18 aA	0,62 a	0,94 B
CV(%)		18,93		6,40	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre linhas não diferem significativamente entre os tipos de coberturas, enquanto as maiúsculas entre colunas, entre tipos de solo, pelo teste F ($p < 0,05$).

Ao analisar todas as variáveis desse estudo, pode-se afirmar que a prática de utilização de mulching em solo argiloso e irrigação por gotejamento, resulta em vários impactos positivos na distribuição de água no solo.

4. CONCLUSÃO

Para o solo arenoso o mulching promoveu uma redução de 55,31% da aplicação da água para a cultura, já para o argiloso a redução foi de 92,29% nas condições desse estudo.

A utilização da cobertura do solo, permitiu uma maior economia de água resultando em maiores valores armazenamento de água e conseqüentemente reduziu os valores de evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do abacaxizeiro cv. BRS Imperial.

A extração de água foi influenciada pelo tipo de solo, e maiores valores de extração foram verificados em solo de textura arenosa.

O uso da cobertura do solo associado ao solo argiloso promoveu os maiores de armazenamento de água e economia de água, promovendo além economia de água um uso mais eficiente dos recursos hídricos.

5. REFERÊNCIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BASÍLIO, E.E.; GOLYSNKI, A.; GOLYNSKI, A.A.; SILVA, C.J.; OLIVEIRA, D.S.; DIAS, R.F. Intervalos de Irrigação no Cultivo de Tomateiro para Processamento. **Irriga**, v. 24, n. 4, p.676-692, 2019.

BATISTA, L. S.; COELHO, E. F.; CARVALHO, F. A. P.; SILVA, M. G.; GOMES FILHO, R. R.; GONÇALVES, A. A. Calibração de sonda artesanal de uso com tdr para avaliação de umidade de solos. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 10, nº.2, Fortaleza, p. 522 - 532, Mar - Abr, 2016.

BRAGA, M.B.; MAROUELLI, W.A.; RESENDE, G.M.; MOURA, M.S.B.; COSTA, N.D.; CALGARO, M.; CORREIA, J.S. 2017. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 147-153, 2017.

CARVALHO, N.B.; PIRES, M.M.; GOMES, A.; S. Capital Humano e Tecnologia. **Revista de Geografia Agrária**, v. 12, p. 265-288, 2018

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. Can ridge-furrow plastic mulching replace irrigation in dryland wheat and maize cropping systems? **Agricultural Water Management**, v. 190, p. 1-5, 2017.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations,. Water for Sustainable Food and Agriculture: a report produced for the G20 presidency of germany. Rome: Fao, 2017. 33 p.

FILIPOVIĆ, V.; ROMIĆ, D.; ROMIĆ, M. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamics: experimental results and a modeling study. **Agricultural Water Management**, v.176, n.1, p. 100-110, 2016.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1ª Edição, 2012, 45p

GAVA, R.; SILVA, E.E.; BAILO, F.H.R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo / electronic moisture sensor calibration in different soil textures. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 2, p. 154-162, 2016.

GUIMARÃES, M.; LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 3, p. 252-258, 2017

LEVIDOW, L.; ZACCARIA, D.; MAIA, R.; VIVAS, E.; TODOROVIC, M.; SCARDIGNO, A. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. **Agricultural Water Management**, n. 146, p.84-94, 2014.

LEDIEU, J.; RIDDER, P.; CLERCK, P. A Method of Measuring Soil Moisture by Time-Domain Reflectometry. **Jornal of Hydrology**, v. 88, p. 319-328, 1986.

PASCALE, S.; COSTA, L. D.; VALLONE, S.; BARBIERI, G.; MAGGIO, A. Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. **HortTechnology**, v. 21,n. 3, p. 301-308, 2011.

RAMOS, T. B.; PEREIRA, L. S.; GONÇALVES, M. C. Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P, 2016.

REDER, A.; RIANNA, G.; PAGANO, L. Calibration of TDRs and Heat Dissipation Probes in Pyroclastic Soils. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 9, p. 171-179, 2014.

RIBEIRO, K., D. MENEZES, S., M. MESQUITA, M. G. B. F. SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

SANTOS, M. N. Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e de nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho-escuro argiloso na região dos cerrados. (**Tese de Mestrado**). Brasília, Universidade de Brasília, 1997. 133p.

SILVA, A. J P; COELHO, E. F. Estimation of water percolation by different methods using TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n.1, 73-81, 2014.

SOLDEVILLA-MARTINEZ, M.; LÓPEZ-URREAB, R.; MARTÍNEZ-MOLINA, L.; LIZASOA, M. Q. J. I. Improving simulation of soil water balance using lysimeter observations in a semiarid climate. **Procedia Environmental Sciences**, n. 19, p. 534 – 542, 2013.

SOUSA, V.F.; NUNES, G.M.V.C.; ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.C.E. Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense. São Luís: Embrapa Cocais, 2019.

TAL, A. Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the Dry lands. **Water Research**, n 90, p. 387-394, 2016.

WANG, X., LI, Z., XING, Y., CLOTHIER, B.E., DIERICKX, W., OSTER, J., WICHELNS, D. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water

content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 161, p. 53-64, 2015.