

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

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA BASEADA EM PROCESSOS
FÍSICO-HÍDRICOS NO SOLO**

Luiz Antonio Conceição de Carvalho

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2022

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA BASEADA EM PROCESSOS
FÍSICO-HÍDRICOS NO SOLO**

Luiz Antonio Conceição de Carvalho

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, 2007

Dissertação apresentada ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

Coorientador: Dr. Felipe Gomes F. da Silveira

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

C331a

Carvalho, Luiz Antonio Conceição de.

Avaliação de genótipos de mandioca baseada em processos físico-hídricos no solo / Luiz Antonio Conceição de Carvalho. – Cruz das Almas, BA, 2022.
88f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva.

Coorientador: Felipe Gomes Frederico da Silveira.

1.Solo – Água – Manejo. 2.Solo – Mandioca – Variabilidade genética. 3.Evapotranspiração – Análise.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.432

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

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

**AValiação DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA BASEADA EM PROCESSOS
FÍSICO-HÍDRICOS NO SOLO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Luiz Antonio Conceição de Carvalho



Documento assinado digitalmente

ALISSON JADAVI PEREIRA DA SILVA

Data: 06/02/2023 08:05:01-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Orientador - Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IFBAIANO



Documento assinado digitalmente

EUGENIO FERREIRA COELHO

Data: 06/02/2023 23:14:25-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Membro Interno – Dr. Eugênio Ferreira Coelho
EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura



Documento assinado digitalmente

FRANCISCO AIRDESSON LIMA DO NASCIME

Data: 03/02/2023 13:17:24-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Membro Externo - Dr. Francisco Airdesson L. do Nascimento
UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Dedico

A Silvana da Costa Cunha de Carvalho, minha esposa, pelo amor e compreensão; a minha mãe Guilhermina Conceição de Carvalho, minha fonte de inspiração, a meu pai Sérgio Fernandes de Carvalho (in memoriam) e a Gilma, minha irmã, pelo carinho e incentivo.

Ofereço

Aos meus irmãos Gilson, José e Paulo Sérgio; sobrinhos Amanda, Beatriz, Felipe, Karine, Nicolas e Paulo e cunhados Maurício, Valdirene e Wilka por juntos tornamos dessa família grande, uma grande família.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos concedidas;

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, à Direção do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola de Água e Solo pela oportunidade da realização dessa conquista.

A Dr. Eder Jorge de Oliveira, Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura de Cruz das Almas-BA, e sua equipe, pela disponibilização da área do Banco Ativo de Germoplasma, BAG, de mandioca para realização deste estudo.

Ao professor do IF Baiano de Guanambi, Dr. Alexandro dos Santos Brito, pelo valiosíssimo apoio nas atividades de campo e laboratório, bem como na parte escrita.

A todos professores do Núcleo de Engenharia de água e solo, NEAS, pela dedicação e ensinamentos prestados dentro e fora da sala de aula.

Aos professores da UFRB Dr. José Fernandes e Dr. Oldair Del Arco V. Costa pelas contribuições, apoio e incentivo.

Ao professor Dr. Luciano Souza pelas orientações, incentivos e por ser um exemplo de humildade e sabedoria, além do companheirismo, compreensão e paciência nos ensinamentos, o que tanto somou na concretização deste sonho.

Ao meu orientador, professor Dr. Alisson Jadavi, e a meu coorientador, professor Dr. Felipe Gomes, pelo trabalho conjunto nas atividades de campo e laboratório, além das diversas reuniões presenciais e pelo google meet, enfim, gratidão pelo companheirismo e ensinamentos.

A todos pós-doutorandos, à servidora Sueli e aos colaboradores Danilo e Edilson do PPGEA pelo apoio, contribuições e incentivos.

Aos colegas e amigos do PPGEA, em especial Danívio, Erivaldo e Jéssica pela parceria, diálogos e incentivos ao longo desta caminhada.

A todos servidores(as) e colaboradores da Fazenda Experimental do CCAAB/UFRB, em especial Elielson, pelas valiosíssimas contribuições nesta difícil batalha de conciliar trabalho-estudo.

Aos colaboradores de campo do Núcleo de Produção e Experimentação Vegetal, Luiz Augusto, Luiz do Carmo, Renato e Romy pelo apoio e amizade.

A Rosângela, Dra. pelo Programa de Pós-Graduação das Ciências Agrárias da UFRB, pelas incontáveis e enriquecedoras reuniões presenciais e à distância, pelas contribuições nas atividades de campo, o que contribuiu, sobremaneira, no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus grandes amigos Danilo, Denis, Léo e Magno pelo companheirismo, que independentemente de estarem longe ou perto, torcem fortemente por mim.

Enfim, agradeço a todos(as) que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho.

EPIGRAFE

“O sábio nunca diz tudo que pensa, mas pensa sempre tudo o que diz”.

Aristóteles

AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA BASEADA EM PROCESSOS FÍSICO-HÍDRICOS NO SOLO

EVALUATION OF CASSAVA GENOTYPES BASED ON PHYSICAL-HYDRIC PROCESSES IN THE SOIL

RESUMO

As mudanças climáticas têm alterado o regime pluviométrico, promovendo estiagens prolongadas em várias partes do mundo, o que somado à crescente demanda por alimentos, torna o uso racional da água uma necessidade urgente para a sustentabilidade do empreendimento agrícola, sobretudo para a mandioca, cultura de elevado potencial de subsistência para países em desenvolvimento. Com isso, o objetivo deste estudo foi fazer a caracterização do fluxo da água no solo e determinar eficiência do uso da água em 10 genótipos e 2 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA. Neste propósito foi instalado perfil instantâneo para monitoramento da condutividade hidráulica saturada e não saturada do solo e, em cada parcela de cultivo dos 10 genótipos e 2 variedades de mandioca, foram inseridos tubos de acesso para determinação - por meio da técnica FDR - do balanço de água no solo e a partir deste, o levantamento da evapotranspiração real e da eficiência de uso da água dos genótipos e variedades em estudo. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia em Cruz das Almas, Bahia, 12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude a oeste de Greenwich em um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiros Costeiros. Os menores valores de condutividade hidráulica obtidos foram entre as profundidades 0,30 a 0,80 m, faixa coesa, indicando uma limitação do fluxo de água pelo adensamento subsuperficial característicos destes solos. A maior eficiência do uso da água foi obtida pela BRS Formosa. Considerando-se que esta variedade de mandioca é de ampla aceitação pelos produtores e tem expandido nas regiões Norte-Nordeste do Brasil, sendo, portanto, promissora diante das variações climática, visando a economia de água com manutenção da produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: Condutividade hidráulica, FDR, Tabuleiros Costeiros.

ABSTRACT

Climate change has altered the rainfall regime, promoting prolonged droughts in various parts of the world, which, added to the growing demand for food, makes the rational use of water an urgent need for the sustainability of agricultural enterprises, especially for cassava, a crop of high livelihood potential for developing countries. Thus, the objective of this study was to characterize the flow of water in the soil and determine the efficiency of water use in 10 genotypes and 2 varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) from the germplasm bank of Embrapa Mandioca e Fruticultura, in Cruz das Souls, BA. For this purpose, an instantaneous profile was installed to monitor the saturated and unsaturated hydraulic conductivity of the soil and, in each cultivation plot of the 10 genotypes and 2 varieties of cassava, access tubes were inserted to determine - through the FDR technique - the balance of water in the soil and from this, the survey of the real evapotranspiration and the efficiency of water use of the genotypes and varieties under study. The experiment was carried out at the Experimental Farm on the Campus of the Federal University of Recôncavo da Bahia in Cruz das Almas, Bahia, 12°40'19" South latitude, 39°06'23" West of Greenwich in a Distrocohesive Yellow Latosol of Coastal Tablelands. The lowest values of hydraulic conductivity obtained were between the depths of 0.30 to 0.80 m, cohesive range, indicating a limitation of water flow due to subsurface consolidation, characteristic of these soils. The highest efficiency in water use was achieved by BRS Formosa. Considering that this variety of cassava is widely accepted by producers and has expanded in the North-Northeast regions of Brazil, it is therefore promising in the face of climate variations, aiming at saving water with maintenance of productivity.

KEY WORDS: Hydraulic conductivity, FDR, Coastal Trays.

SUMÁRIO

ABSTRACT	6
1.INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2. HIPÓTESES	13
1.4. REVISÃO DE LITERATURA	13
1.4.1. A cultura da mandioca	13
1.4.1.1. Importância socioeconômica	14
1.4.1.2. Necessidade hídrica	15
1.4.2. Os Tabuleiros Costeiros e a coesão dos solos	16
1.4.3. Propriedades hidráulicas do solo	17
1.4.3.1. Métodos de determinação da condutividade hidráulica do solo	18
1.4.4. Balanço de água no solo	19
1.4.4.1. Reflectometria de domínio da frequência	19
1.4.4.2. Evapotranspiração	20
1.4.5.2. Eficiência do uso da água	21
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO I	27
INTRODUÇÃO	28
2.1. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1.1. Área experimental	30
2.1.2. Caracterização morfológica do solo	30
2.1.2. Caracterização físico-hídrica do solo	31
2.1.4. Curva de retenção da água no solo	32
2.1.5. Resistência do solo à penetração	33
2.1.6. Condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado	33
2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
2.2.1. Caracterização físico-hídrica	39
2.2.1.1. Distribuição granulométrica e classificação textural	39
2.2.1.2. Porosidade e densidade	41
2.2.1.3. Curva de retenção de água no solo (CRA)	43
2.2.1.4. Resistência à penetração	44
2.2.1.5 Potenciais mátrico e total da água no solo	46
2.2.1.6. Condutividade hidráulica	54
2.3. CONCLUSÕES	56
2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO II	61
ABSTRACT	62

INTRODUÇÃO	63
3.1. MATERIAL E MÉTODOS	64
3.1.1. Localização e caracterização da área experimental	64
3.1.2. Genótipos avaliados e manejo da cultura	64
3.1.3. Monitoramento da água no solo	65
3.1.4. Evapotranspiração de referência	66
3.2.1. Caracterização do tempo no período experimental de campo	66
3.2.2. Balanço hídrico climatológico	68
3.1.5. Balanço de água no solo	68
3.1.6. Levantamento de dados biométricos	72
3.1.7. Análise estatística dos dados	73
3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.2.3. Crescimento e produção dos genótipos de mandioca	73
3.2.3.1. Dados biométricos	74
3.2.2. Balanço hídrico climatológico	78
3.2.4. Balanço hídrico do solo	79
3.2.5. Eficiência de uso da água	81
3.3. CONCLUSÕES	82
3.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Início das avaliações da umidade do solo no perfil Instantâneo, em Latossolo Amarelo Distrocoeso dos Tabuleiro Costeiro; Cruz das Almas, BA....	38
Figura 2. Ilustração das colunas e cubetas de mercúrio, da distribuição dos tensiômetros e tubos de acesso da sonda FDR PR2/6	36
Figura 3. Curvas de retenção de água do solo (CRA).....	47
Figura 4. Potencial total em função tempo redistribuição.....	49
Figura 5. Conteúdo de água ($m^3 m^{-3}$) do solo em função do tempo de redistribuição	53
Figura 6. Ln da Condutividade hidráulica em função da umidade do solo.....	55
Figura 7. Umidade média do solo em função do Ln tempo.....	56
Figura 8. Condutividade hidráulica saturada pelo método do permeâmetro de carga constante.....	59

CAPÍTULO II

Figura 1. Valores das médias mensais de temperatura e umidade relativa.....	70
Figura 2. Valores totais da evapotranspiração de referência (Eto), das precipitações e do déficit de pressão de vapor (DPV).....	70
Figura 3. Ilustrações do tubo de acesso e da sonda FDR, PR2/6.....	72
Figura 4. Curvas de calibração sonda FDR PR2/6	74
Figura 5. Altura dos genótipos	76
Figura 6. Diâmetro da haste dos genótipos	77
Figura 7. Índice de área foliar (IAF).....	78
Figura 8. Produção de raiz e parte aérea.....	79
Figura 9. Eficiência do uso da água.....	81

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Caracterização morfológica em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro, Cruz das Almas – BA.....	34
Tabela 2. Distribuição granulométrica.....	43

Tabela 3. Distribuição de poros e densidade do solo e de partículas.....	45
Tabela 4. Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980)	46
Tabela 5. Estatística descritiva de resistência a penetração mecânica	48
Tabela 6. Valores de umidade ($m^3 m^{-3}$) em função do tempo de redistribuição de água no perfil instantâneo.....	50
Tabela 7. Estatística descritiva da condutividade hidráulica ($mm\ dia^{-1}$) em função do tempo por profundidade,.....	57
Tabela 8. Estimativa da condutividade hidráulica média não saturada ($mm\ dia^{-1}$) do solo,.....	58

CAPÍTULO II

Tabela 1. Resumo da análise de variância para características biométricas e para a eficiência do uso da água.....	76
Tabela 2. Balanço hídrico no solo para genótipos de mandioca.....	83

1. INTRODUÇÃO GERAL

A obtenção de dados de umidade do solo é fundamental em várias áreas, como a hidrologia e meio ambiente, sendo crucial para otimizar o desempenho sustentável dos cultivos agrícolas, seja em áreas irrigadas que respondem por 70 % das retiradas de água doce do planeta (ZHANG et al., 2019), seja em cultivos em sequeiro, mediante técnicas e/ou manejos que proporcionem melhores retornos produtivos com a água disponível no solo (ORTIZ et al., 2021).

Assim a avaliação das propriedades hidráulicas do solo é de grande importância para o desenvolvimento da agricultura, por auxiliar na correta detecção das épocas mais prováveis de déficit hídrico e por melhorar a eficiência no uso da água na agricultura; sobretudo com a crescente demanda por alimento que vem gerando uma intensificação da produção agrícola, o que tem contribuído para agravar a competição por recursos naturais e o uso não sustentável do solo e da água (KOPITKE et al., 2019), sendo essencial, portanto, o estudo de metodologias que proporcione melhor uso da água, especialmente, para culturas de elevado grau de importância de subsistência para países em desenvolvimento como é o caso da mandiocultura.

Essa cultura, embora seja considerada tolerante à seca, podendo crescer e produzir em áreas com baixos índices pluviométricos, o impacto do déficit hídrico pode reduzir, significativamente, o crescimento e o rendimento das raízes de reserva (ZHU et al., 2020), estando entre os fatores mais relevantes para a baixa produtividade mundial que é de cerca 11 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2021), aquém do seu potencial que pode ultrapassar 80 t ha⁻¹, quando conduzida em condições ótimas (FAO, 2018).

O efeito isolado do déficit hídrico pode causar cerca de 60 % das perdas da produtividade de raízes de reserva de mandioca (EZUI et al., 2018); é fundamental, portanto, o estudo de genótipos e variedades mais adequados; haja vista que a mandioca é cultivada predominantemente em sequeiro, seja pelo baixo poder aquisitivo dos produtores, que em sua expressiva maioria é da agricultura familiar, seja pela reduzida disponibilidade de água em muitas regiões produtoras.

Na seleção de genótipos de melhor desempenho da relação produtividade de raiz e uso da água pelas plantas, faz-se necessário o levantamento das

propriedades hidráulicas do solo e uma das avaliações mais importantes é a quantificação do fluxo da água no solo, para duas situações: uma em que o solo se encontra em estado de saturação constante (regime estacionário) e outra em que a umidade do solo varia desde a saturação até umidades mais baixas - regime transiente - (LIBARDI, 2018). Conforme esse mesmo autor, ambas as situações se apresentam com uma constante de proporcionalidade denominada condutividade hidráulica (K), que diz respeito à facilidade com a qual a água é transmitida através do espaço poroso do solo.

Entre os métodos mais utilizados em campo para determinação da condutividade hidráulica saturada e não saturada em função da variação do conteúdo de água do solo no tempo, tem-se o perfil instantâneo descrito por Hillel et al. (1972), que consiste no monitoramento do estado transiente da drenagem interna de um perfil de solo, a partir de medidas contínuas e simultâneas da umidade e do potencial da água no solo, possibilitando informações essenciais para o balanço de água no solo, por meio do conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo.

O balanço de água no solo caracteriza-se como uma ferramenta muito importante para avaliar a intensidade das entradas e saídas de água em um volume de solo de interesse, resultando na definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, relacionando-se não só ao conhecimento dos principais fatores que o compõem (variação da armazenagem, precipitação, evapotranspiração, drenagem interna e ascensão capilar), bem como à medida temporal da umidade do solo (LIBARDI, 2018) e pode ser determinado por várias técnicas, entre elas, a FDR (Reflectometria de domínio da frequência).

A estimativa da umidade do solo pela sonda FDR (Reflectometria de domínio da frequência) consiste em um par de eletrodos ou placas metálicas condutoras localizadas em paralelo e separadas por material isolante, composta por um capacitor. Quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico desse capacitor. A capacitância aumenta com o acréscimo do número de moléculas de água livre, com os dipolos respondendo ao campo elétrico criado pelo capacitor (PALTINEANU; STARR, 1997).

O que justifica o presente trabalho é que apesar de a mandioca ser uma cultura tolerante ao déficit hídrico; sob essa condição seu desenvolvimento e rendimento são comprometidos, ressaltando-se, portanto, a importância do

levantamento de genótipos e variedades com viabilização produtiva e socioeconômica sob esta condição e, neste propósito, a caracterização do fluxo e do conteúdo de água no solo é fundamental. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi determinar a eficiência do uso da água em genótipos de mandioca, com o auxílio do balanço de água no solo.

Dessa forma, o presente trabalho foi constituído em dois capítulos: o primeiro intitulado Condutividade hidráulica em solo estratificado, o segundo: Seleção de genótipo de mandioca tolerante à seca.

1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Determinar a condutividade hidráulica nas camadas coesas e não coesas do perfil do solo, por meio do perfil instantâneo;
- II. Caracterizar as entradas e saídas de água na zona radicular de genótipos de mandioca;
- III. Determinar os períodos secos e as ocorrências de déficit hídrico;
- IV. Quantificar a evapotranspiração real dos genótipos;
- V. Relacionar adaptação dos genótipos ao déficit hídrico e eficiência do uso da água dos mesmos.

1.2. HIPÓTESES

O fluxo de água no perfil é comprometido com a coesão das camadas subsuperficiais do solo e desenvolvimento radicular e a absorção de água pela cultura são limitados sob esta condição;

O monitoramento do balanço do balanço de água no solo é uma ferramenta importante para seleção de genótipos de mandioca tolerantes à seca;

O levantamento da demanda evapotranspirativa propicia melhor escolha de genótipos quanto à eficiência de uso da água.

1.4. REVISÃO DE LITERATURA

1.4.1. A cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma euforbiácea nativa da América do Sul; classificada como mandioca brava (de indústria) ou mansa (de mesa), as quais se diferenciam pelo teor de ácido cianídrico (HCN) presente na

raiz fresca; as de mesa – denominadas também como doces, aipim ou macaxeira – possuem menos de 100 mg de HCN por kg de raiz fresca; e as amargas ou bravas – comumente utilizadas para a produção de farinha e extração de fécula – possuem mais de 100 mg de HCN por kg de raiz fresca (OLIVEIRA, 2016; SOUZA & LIMA-PRIMO, 2019).

1.4.1.1. Importância socioeconômica

É uma cultura que possui elevada importância socioeconômica no Brasil e no mundo, principalmente em regiões tropicais, onde o cultivo ocorre em maior intensidade, contribuindo, substancialmente, com a segurança alimentar nestes países (OKWUONU et al., 2021). Suas raízes possuem múltiplos usos: na alimentação humana, com elevado potencial de produção de carboidratos, sendo utilizada na forma de raízes processadas, domesticamente; na nutrição animal, como fonte de alimento energético (ABOUELEZZ et al., 2022; OKWUONU et al., 2021; PRACHUMCHAI et al., 2022) e no setor industrial, onde a fécula extraída de suas raízes tuberosas é utilizada para obtenção de alimentos e vários outros produtos industriais (LOBO et al., 2018).

Todavia, além das raízes, as ramas e folhas são importantes fontes de nutrientes proteicos e vitamínicos, podem ser fornecidas aos animais de formas fresca ou como feno e silagem; além da possibilidade da utilização na alimentação humana, como, por exemplo: a farinha de folhas e a maniçoba (LATIF & MÜLLER, 2015; LOBO et al., 2018).

Muitos outros usos podem ser encontrados: como ingrediente para fabricação de cervejas (LI et al., 2021); da manipueira ou resíduo do processamento das raízes de reserva, pode-se produzir biocombustíveis (LANSCHE et al., 2020; ZHANG et al., 2022; TAVARES et al., 2022), assim como fertilizantes e potencializadores de nutrientes do solo (NGUEFACK et al., 2022; TANAN et al., 2021).

Em 2018, a área global de cultivo, a produção e a produtividade média de mandioca atingiram, respectivamente, 24,8 milhões de hectares, 282,7 milhões de toneladas de raízes e 11,5 toneladas por hectare, situando o Brasil como o quarto maior produtor mundial, sendo superado por Nigéria, Tailândia e Indonésia (FAOSTAT, 2021).

A estimativa de produção de raízes de mandioca no Brasil para o ano de 2022, de acordo com levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, é de 18,03 milhões de toneladas de raízes em uma área colhida prevista de 1,24 milhão de hectares; comparando-se com o ano de 2021 que apresentou uma produção de 18,50 milhões de toneladas e produtividade média de 15 t ha^{-1} , estima-se para 2022 um aumento da área plantada de 1,19 %, porém a previsão é de que haja uma redução de 3,58 % na produtividade (IBGE, 2022; CONAB, 2022).

A Bahia, em 2021, apesar da terceira maior área de plantio do país, face a uma das piores produtividades (7 t ha^{-1}), aparece na 6ª posição entre os maiores produtores nacionais, sendo superada por Pará, Paraná, São Paulo, Amazonas e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2022).

1.4.1.2. Necessidade hídrica

As mudanças climáticas têm alterado o regime pluviométrico seja causando excedente hídrico, seja promovendo estiagens prolongadas em várias partes do mundo, comprometendo a produção e produtividade agrícola (ORTIZ et al., 2021).

Quando esse comprometimento produtivo ocorre em cultura como a mandioca, cuja importância para países em desenvolvimento é elevada, os danos à subsistência dessas populações são mais proeminentes. Embora essa espécie tenha mecanismos de tolerância à seca; permitindo à cultura a sobrevivência durante períodos de estresse hídrico, mediante a redução do dossel foliar e da taxa de transpiração (EZUI et al., 2018), isso implica, todavia, em redução do porte da cultura, menor produção da biomassa e do rendimento das raízes, com danos ainda mais relevantes quando o déficit hídrico ocorre nos quatro primeiros meses de cultivo, período de formação das raízes de reserva (EZUI et al., 2018; PEIXOTO, 2009).

Pode-se, contudo, encontrar genótipos que possuam melhor controle do fechamento e abertura estomática e maior eficiência fotossintética, minimizando, assim os danos do déficit hídrico e aumentando a eficiência no uso da água (LAGO et al., 2011).

Putpeerawit et al., (2017), estudando duas cultivares de mandioca com contrastantes graus de tolerância à seca, verificaram que a diferença entre genótipos está relacionada com a maior capacidade responsiva dos estômatos

em relação às variações do conteúdo de água no solo e que a maior eficiência está no controle estomático na cultivar mais tolerante que pode estar relacionada com expressão de genes das vias das aquaporinas. Portanto, a seleção de genótipos mais tolerantes, pode minimizar o impacto da seca na mandiocultura, sobretudo em regiões tradicionais de cultivo como os Tabuleiros Costeiros; conforme Souza et al., (2013).

1.4.2. Os Tabuleiros Costeiros e a coesão dos solos

Os Tabuleiros Costeiros caracterizam-se como formações terciárias situadas ao longo da faixa sedimentar costeira do Brasil, estendendo-se do Rio de Janeiro ao Amapá, com área estimada de 8,42 milhões de hectares; possuem superfícies planas a suave onduladas, solos profundos, porém, além de pobres e ácidos; COSTA et al., (2021), possuem caráter coeso (MELO FILHO et al., 2007; CINTRA, 2011).

Os fatores físicos do solo que limitam o crescimento radicular devido à impedimentos causados pela compactidade natural que predomina os solos dessa unidade geoambiental, devem-se a algumas consequências como: o aumento da resistência à penetração, má aeração e redução do fluxo de água, dentre outros; há ainda o agravante de que, nos Tabuleiros Costeiros, o clima é caracterizado pela distribuição irregular das chuvas, o que, considerando o predomínio de cultivo em sequeiro, constitui-se, assim, em constante desafio para a exploração e rendimentos agrícola (SOUZA, 1996).

Outro agravante dessa coesão subsuperficial é que conforme GUBIANI & MENTGES (2020) os quais, por meio de modelagem, analisando diferentes profundidades de compactação subsuperficiais do solo, observaram que além da redução da condutividade hidráulica na zona compactada há uma redução da ascensão capilar para as camadas superficiais, intensificando o déficit hídrico para as culturas agrícolas no período seco.

A presença de camadas coesas apresenta-se entre os atributos mais relevantes ao baixo potencial produtivo agrícola dos solos da região dos Tabuleiros Costeiros, limitando o crescimento e aprofundamento das raízes das plantas, a movimentação da água no solo e a disponibilidade de água para as plantas (CINTRA, 2011; QUEIROZ, 2021).

A elevação da resistência a penetração das raízes intensifica a deficiência hídrica, provoca alterações no desenvolvimento do vegetal, cuja reversibilidade depende da espécie/genótipo cultivado, da duração e severidade do déficit hídrico e do estágio de desenvolvimento do vegetal (CARVALHO et al., 2019; CARVALHO et al., 2021; CARVALHO et al., 2022).

1.4.3. Propriedades hidráulicas do solo

O conhecimento e a determinação das propriedades hidráulicas do solo são importantes, pois estão relacionadas com a movimentação da água nesse meio poroso; sua disponibilidade às plantas e a curva de retenção de água no solo (CRA) que estão entre as propriedades hidráulicas mais importantes neste processo (ALMEIDA et al., 2018).

A CRA, representa a relação da umidade do solo com a energia – potencial – na qual a água está retida pelo solo, em que atuam forças de coesão e adesão. Assim, há variadas utilidades da curva de retenção de água no solo para o manejo agrícola, entre as quais: cálculo da umidade correspondente à capacidade de campo e ao ponto de murchamento permanente, água total disponível e obtenção da faixa ótima de umidade do solo, além de ser um parâmetro fundamental para o balanço de água no solo (BARRETO et al., 2011; SILVA et al., 2020).

Dentre as temáticas da dinâmica da água no solo, uma das avaliações mais importantes é a quantificação do movimento da água, que é feita a partir do fluxo da água no solo para duas situações: uma em que o solo se encontra em estado de saturação constante (regime estacionário) e outra em que a umidade do solo varia desde a saturação até baixas umidades (regime transiente) (LIBARDI, 2018). Conforme esse mesmo autor, ambas as equações usadas para quantificar a água nesses dois regimes apresentam uma constante de proporcionalidade denominada de condutividade hidráulica (K), que diz respeito à facilidade com a qual a água é transmitida através do espaço poroso do solo.

A condutividade hidráulica é um atributo fundamental na caracterização físico-hídrica dos solos, sendo importante para projetos relacionados à drenagem agrícola, irrigação, conservação do solo e da água, estabelecimento de manejo do solo e pode ser determinada em condições de solo saturado (K_0) ou não saturado $K(\theta)$, sendo a primeira condição dependente, principalmente, do sistema poroso

do solo (macroporosidade, geometria e continuidade e tortuosidade de poros, entre outros) e a segunda, além disso, relacionada também ao conteúdo volumétrico de água no solo (θ) ou potencial total (ϕt), com o qual a água está retida em determinado ponto de medição (LIBARDI, 2018).

Assim, a condutividade hidráulica do solo é obtida pela quantificação dos componentes da equação de Richards, durante o período de redistribuição da água na área, por meio de medidas simultâneas da umidade e do potencial total da água ao longo do perfil do solo, o que possibilita a determinação da densidade de fluxo de água e do gradiente de potencial total nas profundidades de interesse (CARVALHO et al., 2007).

1.4.3.1. Métodos de determinação da condutividade hidráulica do solo

Entre os métodos mais utilizados em campo para determinação da condutividade hidráulica saturada e não saturada, em função da variação do conteúdo de água do solo no tempo, tem-se o perfil instantâneo descrito por Hillel et al. (1972), que consiste no monitoramento do estado transiente da drenagem interna de um perfil de solo, a partir de medidas contínuas e simultâneas da umidade e do potencial da água no solo, possibilitando informações essenciais para o balanço hídrico, por meio do conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo.

Apesar do método do perfil instantâneo ser mais trabalhoso, quando comparado aos métodos de laboratório, ele é preferível por permitir a medição direta da condutividade hidráulica saturada e não saturada no campo e, por meio desta, obter uma melhor estimativa do comportamento da água no solo, a partir da estimativa da densidade de fluxo; fundamental no balanço de água no solo.

O local destinado à implantação do perfil instantâneo deve ser preparado com a instalação de instrumentos de interesse – tensiômetros e técnica FDR, por exemplo – nas profundidades de interesse para o monitoramento do teor de água no solo (Libardi, 2018). Conforme esse mesmo autor, após a saturação da área, cobre-se a superfície do solo com uma lona plástica, para evitar as perdas por evaporação ou a adição de água no sistema, caso ocorra pluviosidade. Então, ocorre a redistribuição da água contida no solo pelo processo de drenagem interna, que deve ser acompanhada de medidas periódicas de conteúdo de água no solo e de energia de retenção.

1.4.4. Balanço de água no solo

Essa é uma ferramenta muito importante para avaliar o quantitativo de saídas e entradas de água em um volume de solo de interesse, resultando na definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, relacionando-se não só ao conhecimento dos principais fatores que o compõem (variação da armazenagem, precipitação, evapotranspiração, drenagem interna e ascensão capilar), bem como a medida da umidade do solo, a qual é de conhecimento essencial para a agricultura, mediante o levantamento da variação de armazenagem de água no solo, seja para culturas irrigadas, visando à aplicação otimizada do recurso hídrico, seja para culturas em sequeiro, em que se pode levantar informações concernentes às culturas e/ou variedades mais adequadas a tais condições edáficas (LIBARDI, 2018).

Além de ser um parâmetro quantitativo, consiste em informação técnica fundamental para várias atividades econômicas nos setores de agricultura, ecologia e engenharia, e ainda em trabalhos envolvendo áreas científicas como a física do solo, manejo da irrigação, modelagem hidroagrícola e fluxo em bacias hidrográficas (LIBARDI, 2018).

Para Reichardt (1990), a definição de períodos de déficit e excedente hídricos de um determinado local se deve à avaliação do balanço de água no solo, o qual registra a contabilização de água de uma determinada camada do solo e, conseqüentemente, identifica as áreas onde as culturas podem ser exploradas com maior eficácia e menor risco de perda agrícola da cultura.

1.4.4.1. Reflectometria de domínio da frequência

Existem variados métodos para mensurar a umidade do solo, informação essencial para o balanço de água no solo. Um método direto é o gravimétrico, considerado padrão, mas definido como trabalhoso, além de necessitar de um prazo resposta de pelo menos 24 horas para obtenção dos resultados. Diante disso, métodos indiretos vêm obtendo espaço no Brasil e no mundo como a TDR (Time Domain Reflectometry) e a FDR (Frequency Domain Reflectometry) que são técnicas que possuem características das leituras rápidas, precisas e com possibilidade de medidas simultâneas em diferentes profundidades do solo (SOUZA et al., 2013).

A mensuração da umidade do solo pela sonda FDR – reflectometria de domínio da frequência – consiste em um par de eletrodos ou placas metálicas condutoras localizadas em paralelo e separadas por material isolante, composta por um capacitor. Quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico, a capacitância aumenta conforme o acréscimo do número de moléculas de água livre, por haver uma alteração da frequência e aumento contagem de pulsos com os dipolos respondendo ao campo elétrico criado pelo capacitor (PALTINEANU; STARR, 1997). A sonda de capacitância Profile Probe PR2/6, utilizada neste trabalho, é um exemplo do método indireto de medida de umidade do tipo FDR.

As sondas FDR são tidas como uma importante técnica de monitoramento do conteúdo de água no solo. Medem a constante dielétrica aparente do solo (K_a), que é função, sobretudo, do teor de água no solo, mas, a sensibilidade desses sensores à textura e à densidade do solo, fazendo-se necessário a calibração para otimização da conversão da constante dielétrica em conteúdo de água no solo. Essa é uma técnica, embora ainda cara, é interessante na agilidade dos cálculos do balanço de água no solo e determinação da Evapotranspiração dos cultivos (SILVA, 2014; Jia et al., 2021).

1.4.4.2. Evapotranspiração

Pode-se conceituar que a evapotranspiração reúne dois processos naturais de perda de água do solo (evaporação) e da planta (transpiração), são eles: evaporação e transpiração. A evaporação refere-se a mudança de estado da água presente no solo, passando do líquido para o de vapor. Por outro lado, na transpiração das plantas, a água é translocada pelos vasos condutores, realizando atividade biofísica até ser transferida para atmosfera na forma de vapor por meio do controle de abertura e fechamento dos estômatos das folhas (SILVA, 2006).

A evapotranspiração é dependente de variados fatores, entre eles, condições climáticas, tipo, cobertura, conteúdo de matéria e manejo do solo, formas de cultivo e seleção de espécies agrícolas e/ou genótipos (ARYALEKSHMI et al., 2021).

Como descrito nos componentes do balanço de água no solo a evapotranspiração pode ser posicionada como a incógnita da equação, cuja sua variação de armazenagem corresponde ao quantitativo da evapotranspiração real

(Etr) da cultura agrícola (SILVEIRA et al., 2021), que é um requisito fundamental para obtenção da eficiência do uso da água.

1.4.5.2. Eficiência do uso da água

Existe uma necessidade urgente de se desenvolver uma agricultura sustentável dentro do nexo água-energia-alimentos, onde se requer, entre outras providências, a otimização do uso da água e produtividade agrícola. Neste propósito pesquisas têm sido realizadas visando propor indicadores que possam mensurar a utilização da água pelos cultivos agrícola, com metodologias capazes de determinar eficiência no uso da água (BARBOSA, 2015).

Dessa forma, estimar a relação da produção de biomassa e a quantidade de água evapotranspirada – a eficiência do uso da água pelas plantas – é imprescindível para o uso racional do recurso hídrico disponível do solo (ORTIZ-BOBEA et al., 2021).

A determinação da melhor eficiência de uso da água não é fruto apenas de cultivos irrigados, em que se visa economia da água aplicada por unidade de massa colhida, mas é também objeto de estudo para produção em sequeiro, pois observa-se que até dentro de uma mesma espécie de cultura agrícola pode haver variabilidade, com genótipos mais ou menos promissores a este propósito (MATHOBO et al., 2017).

Além disso, avanços na EUA é de suma importância para a sustentabilidade ambiental dos cultivos devido à crescente demanda por produção de alimentos, além das limitações de ampliação das fronteiras agrícolas, tornando-se o uso mais racional da água fundamental para garantir a segurança alimentar e ambiental do globo (ORTIZ-BOBEA et al., 2021).

Com isto, a melhor expressão da EUA de genótipos mais promissores, como exposto por Ezui et al. (2017) que trabalharam com mandioca sob condições de sequeiro é obtido - além do bom manejo e adubação da cultura - a partir de melhoramento genético, como observado por Ewa et al., (2021), que levantaram características genéticas de produtividade mais e menos promissoras para diferentes materiais genéticos em ambiente de estresse hídrico.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUELEZZ, K.F.M.; WANG, S.; XIA, W.G.; CHEN, W.; ELOKIL, A.A.; ZHANG, Y.N.; WANG, S.L.; LI, K.C.; HUANG, X.B.; ZHENG, C.T. Effects of dietary inclusion of cassava starch-extraction-residue meal on egg production, egg quality, oxidative status, and yolk fatty acid profile in laying ducks. **Poultry Science**, v. 101, n. 9, 2022.

ALMEIDA, E. L.; TEIXEIRA, A. S.; ROCHA NETO, O. C.; LEÃO, R. A. O.; CANAFÍSTULA, F. J. F. Use of capacitive sensors with the instantaneous profile method to determine hydraulic conductivity. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 353–362, 2018.

ARYALEKSHMI, B.N.; BIRADAR, R. C.; CHANDRASEKAR, K.; AHAMED, J. M. Analysis of Various Surface Energy Balance Models for Evapotranspiration Estimation Using Satellite Data. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**. v. 24, p. 1119-1126, 2021.

BARRETO, H. B. F.; BATISTA, R. O.; FREIRE, F. G. C.; SANTOS, W. O.; COSTA, F. G. B. Análises de indicadores de retenção e armazenamento de água no solo do perímetro irrigado Gortuba, em Janaúba, MG. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 5, p. 189-192, 2011.

CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. Q. L.; BARROS, I.; MARTINS, C. R.; SOARES FILHO, W. S.; GIRARDI, E. A.; PASSOS, O. S. "New Scion-rootstock Combinations for Diversification of Sweet Orange Orchards in Tropical Hardsetting Soils." **Scientia Horticulturae**. v. 243, p. 169-176, 2019.

CARVALHO, H. W. L.; CARVALHO, L. M.; TEODORO, A. V.; BARROS, I.; GIRARDI, E. A.; SOARES FILHO, W. S.; PASSOS, O. S. Yield, Fruit Quality, and Survival of 'Pêra' Sweet Orange on Eight Rootstocks in Tropical Cohesive Soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 56, p. 1-9, 2021.

CARVALHO, H. W. L.; CARVALHO, L. M.; BARROS, I.; TEODORO, A. V.; GIRARDI, E. A.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. S. Productive Performance of 'Pera' Sweet Orange Grafted onto 37 Rootstocks in Tropical Cohesive Soils under Rainfed Condition. **Scientia Horticulturae**. v. 303, p. 1-11, n. 111229, 2022.

CINTRA, F. L. D. Manejo de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: TOFANELLI, M. B. D., SILVA, T. O. (Eds). **Manejo ecológico e conservação dos solos e da água no Estado de Sergipe**. 1. ed. São Cristóvão: UFS. cap. 5, p. 205-226, 2011.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento e estimativa de safra – safra 2020/2021**. Brasília. Disponível em: encurtador.com.br/ICGS6. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

COSTA, A. G.; SOUZA, L. S.; XAVIER, F. A. S.; COVA, A. M. W.; SILVA, E. F.; BONFIM, M. R. Characterization of Soils Cultivated with Cassava under Different Managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. São Paulo. v. 25, n. 11, p. 764-771, 2021.

EWA, F.; ASIWE, J. N. A.; OKOGBENIN, E.; OGBONNA, A. C.; EGESI, C. KASPar SNP Genetic Map of Cassava for QTL Discovery of Productivity Traits in Moderate Drought Stress Environment in Africa. **Scientific Reports**. v. 11, p. 1-15, n.11268, 2021.

EZUI, K.S.; FRANKE, A.C.; LEFFELAAR, P.A.; MANDO, A.; VAN HEERWAARDEN, J.; SANABRIA, J.; SOGBEDJI, J.; GILLER, K. E. "Water and Radiation Use Efficiencies Explain the Effect of Potassium on the Productivity of Cassava. **European Journal of Agronomy**. v. 83, p. 28-39. 2017.

EZUI, K.S.; LEFFELAAR, P.A.; FRANKE, A.C.; MANDO, A.; GILLER, K.E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. **Field Crops Research**, v. 219, p. 256–272, 2018.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops and livestock products. 2020**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

GUBIANI, P. I. & MENTGES, L. R. Using Root Water Uptake Estimated by a Hydrological Model to Evaluate the Least Limiting Water Range. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 44, p. 1-12, 2020.

HILLEL, D. A.; KRENTOS, V. K.; STILIANOV, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, v.114, p.395-400, 1972.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola. 2020**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

KOPITTKE, P. M. Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, v. 132, p. 105078, 2019.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; SILVA, M. R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.11, 2011.

LANSCHÉ, J.; AWISZUS, S.; LATIF, S.; AND MÜLLER, J. Potential of Biogas Production from Processing Residues to Reduce Environmental Impacts from Cassava Starch and Crisp Production—A Case Study from Malaysia. **Applied Sciences**. v. 10, n. 2975, p. 1-12, 2020.

LATIF, S., & MÜLLER, J. Potential of Cassava Leaves in Human Nutrition: A Review. **Trends in Food Science & Technology**. v. 44, p. 147-58, 2015.

LI, C.; DONG, G.; BIAN, M.; LIU, X.; GONG, J.; HAO, J.; WANG, W.; LI, K.; OU, W.; XIA, W. Brewing rich 2-phenylethanol beer from cassava and its producing metabolisms in yeast. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 10, p. 4050–4058, 2021.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, EDUSP, 2018. 329p

LOBO, I. D.; JÚNIOR, C. F. S.; NUNES, A. Importância socioeconômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a comunidade de Jaçapetuba, município de Cametá/PA. **Multitemas**, v. 23, n. 55, p. 195–211, 2018.

MATHOBO, R.; MARAIS, D.; STEYN, J. M. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 118-125. 2017.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 6, p. 1-10, 2007.

NGUEFACK, J.; ONGUENE, D.; LEKAGNE, J. B. D.; DABOY, C. D.; MANGOUMOU, G. N.; GALANI, Y. J. H. Effect of aqueous extract of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.) and soil amendment with cassava peels compost on nutrients, pesticide residues, yield and antioxidant properties of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 295, n. 110872, p. 1-15, 2022.

OKWUONU, I. C. Opportunities and challenges for biofortification of cassava to address iron and zinc deficiency in Nigeria. **Global Food Security**, v. 28, n. 100478, p. 1-9, 2021.

OLIVEIRA, L. A. Compostos cianogênicos presentes na mandioca – processamento como forma de eliminação. SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 13., Feira de Santana, 2016. **Anais...** Feira de Santana, UEFS, 2016.

ORTIZ, A.; AULT, T. R.; CARRILLO, C. M.; CHAMBERS, R. G.; LOBELL, D. B. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. **Nature Climate Change**, v. 11, p. 306–312, 2021.

PALTINEANU, I. C; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.1576-1585, 1997.

PEIXOTO, C.P. Mandioca. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. Piracicaba: Nobel, p.109-126, 2009.

PRACHUMCHAI, R.; CHERDTHONG, A.; WANAPAT, M.; S. S.; POLYORACH, S. FRESH. cassava root replacing cassava chip could enhance milk production of lactating dairy cows fed diets based on high sulfur-containing pellet. **Scientific Reports**. v. 12, n. 1, p. 1–9, 2022.

PUTPEERAWIT, P.; SOJIKUL, P.; THITAMADEE, S.; NARANGAJAVANA, J. Genome-wide analysis of aquaporin gene family and their responses to water-deficit stress conditions in cassava. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 121, p. 118-127, 2017.

QUEIROZ, A. S. **Umidade como fator à inferência do caráter coeso em solos dos tabuleiros costeiros**. 2021. 50. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Barueri: Manole, p. 188, 1990.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, T. E. D.; AMARAL, A. J. Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. **Agrarian**, v. 13, n. 50, p. 478–492, 2020.

SILVA, C. B. R. **Calibração de sensor de capacitância para medida da umidade em solos do semiárido**. 122p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2014.

SILVEIRA, F. G. F.; SOUZA JÚNIOR, J. O.; SOUZA, L. S.; BRITO, A. S.; PAIVA, A. Q.; PEREIRA, B. L. S.; SANTOS, E. B.; SILVA, E. F.; LIMA, J. C. Fruit quality and nutritional analysis in 'Pêra' orange as affected by soil available water and different rootstocks. **International Journal of Environmental Science and Technology**. v. 19, p. 7387–7398, 2021.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B.; VARALL, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013.

SOUZA, E. D. & LIMA-PRIMO, H. E. **BRS Formosa, BRS Kiriris e BRS Mulatinha: Novas Cultivares de Mandioca de Indústria para Cultivo em Roraima**. Boa Vista\RR: Embrapa Roraima, 2019. 5p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 85).

SOUZA, L. da S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju: Embrapa-CPATC; Embrapa-CNPMP; EAUFB/IGUFBA, p. 36-75, 1996.

TANAN, W.; PANICHPAKDEE, J.; SUWANAKOOD, P.; SAENGSUWAN, S. Biodegradable hydrogels of cassava starch-g-polyacrylic acid/natural rubber/polyvinyl alcohol as environmentally friendly and highly efficient coating material for slow-release urea fertilizers. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 101, p. 237–252, 2021.

TAVARES, T. G. A.; PEITER, F. S.; CHAVES, T. C.; GOIS, G. N. S. B; AMORIM, E. L. C. Effect of Thermophilic Temperatures on Hydrogen and Ethanol Production in Anaerobic Fluidized Bed Reactor from Cassava Wastewater. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1007/s43153-022-00222-w>

ZHANG, J.; WANG, Y.; GOU, Q.; ZHOU, W.; LIU, Y.; XU, J.; LIU, Y.; ZHOU, W.; GONG, Z. Consolidated bioprocessing of cassava starch into microbial lipid for biodiesel production by the amylolytic yeast *Lipomyces starkeyi*. **Industrial Crops and Products**, v. 177, n. 114534, p. 1-9, 2022.

ZHANG, L.; MA, Q.; ZHAO, Y.; WU, X.; AND YU, W. Determining the influence of irrigation efficiency improvement on water use and consumption by conceptually considering hydrological pathways. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 674–681, 2019.

ZHU, Y.; LUO, X.; NAWAZ, G.; YIN, J.; YANG, J. Physiological and Biochemical Responses of Four Cassava Cultivars to Drought Stress. **Scientific Reports**. n. 6968, v. 10, p. 1-12, 2020.

CAPÍTULO I

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO ESTRATIFICADO

HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN STRATIFIED SOIL

RESUMO

A condutividade hidráulica do solo (K) é um atributo que expressa a facilidade com que a água se movimenta no solo, sendo de grande relevância para o manejo da água e do solo, para a produção das culturas e economia do recurso hídrico. A obtenção da condutividade hidráulica pode ser feita por variados métodos de laboratório e de campo, este último com menor grau de perturbação no solo. Dentre os métodos de campo, destaca-se o do perfil instantâneo, em que se obtém teoricamente uma relação entre o conteúdo (θ) e o tempo de redistribuição da água no solo. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar a condutividade hidráulica saturada, K_0 , e não saturada, $K_{(\theta)}$, por profundidades do perfil de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, utilizando o método do perfil instantâneo. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Município de Cruz das Almas, BA. Foram instalados 10 tensiômetros com coluna de mercúrio; posicionados nas profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m. Os maiores valores de condutividade hidráulica foram observados a 0,20 e 0,90 m e as menores entre nas profundidades de 0,30 a 0,80 m, faixa coesa do solo, indicando limitação do fluxo de água pelo adensamento do solo. Verificou-se que a coesão desses solos é um forte indicativo da limitação da penetração das raízes das plantas e que o perfil instantâneo é uma importante ferramenta de verificação das diferenças da condutividade hidráulica em perfil de solo estratificado.

Palavras-chave: Coesão do solo, água, fluxo, perfil instantâneo.

ABSTRACT

Soil hydraulic conductivity (K) is an attribute that expresses the ease with which water moves in the soil, being of great relevance for water and soil management, crop production and water resource savings. Obtaining hydraulic conductivity can be done by various laboratory and field methods, the latter with a lower degree of soil disturbance. Among the field methods, the instantaneous profile stands out, in which a relationship between the content (θ) and the time of redistribution of water in the soil is theoretically obtained. Thus, this work aimed to determine the saturated, K_0 , and unsaturated, $K(\theta)$ hydraulic conductivity by profile depths of an Oxisol Yellow Dystrocohesive, using the instantaneous profile method. The experiment was conducted at the Federal University of Recôncavo da Bahia, in the municipality of Cruz das Almas, BA. 10 tensiometers with a mercury column were installed; positioned at depths from 0.10 to 1.00 m, at intervals of 0.10 m. The highest values of hydraulic conductivity were observed at 0.20 and 0.90 m and the lowest between depths from 0.30 to 0.80 m, cohesive soil strip, indicating limitation of water flow due to soil consolidation. It was found that the cohesion of these soils is a strong indication of the limitation of plant root penetration and that the instantaneous profile is an important tool for verifying the differences in hydraulic conductivity in a stratified soil profile.

Keywords: Soil cohesion, water, flow, instantaneous profile.

INTRODUÇÃO

A compreensão das propriedades hidráulicas do solo sob condição saturada e não saturada é fundamental para prever o movimento da água neste ambiente edáfico. Uma das avaliações mais relevante nesta temática é a determinação do movimento da água no perfil, mediante às equações de fluxo da água no solo, as quais são definidas para duas particularidades: a de constante saturação - regime estacionário - e, a outra, quando a umidade varia da saturação até a não saturação do solo - regime transiente - (LIBARDI, 2018).

Henry Darcy, em 1856, foi pioneiro em elaborar uma função – a qual ficou conhecida como equação de Darcy – para quantificar o movimento da água no solo saturado. Ele trabalhou com colunas de areia saturada e estabeleceu que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área por um meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio, gerando uma constante de proporcionalidade, denominada por Darcy de condutividade hidráulica, hoje conhecida como condutividade hidráulica do solo saturado (K_0).

Em 1907, Buckingham, em conformidade com a teoria dos fluxos de calor e elétrico, teorizou uma equação, semelhante à de Darcy, para expressar o fluxo da água em meios porosos não saturados, hoje denominada equação de Darcy-Buckingham. Já Richards (1931) combinando a equação da continuidade com a de Darcy-Buckingham, desenvolveu uma equação diferencial geral de determinação da condutividade hidráulica não saturada.

Hillel (1971) ressaltou que a condutividade hidráulica é a diferença mais relevante do escoamento em meio saturado para o não saturado. Esse autor salientou que, na condição de saturação do solo, todos os poros estão preenchidos e conduzindo água, atingindo, nessa condição, a máxima condutividade hidráulica; mas, à medida que vai perdendo umidade, poros antes preenchidos por água, são ocupados por ar e a condutividade hidráulica decresce substancialmente.

A condutividade hidráulica demonstra a capacidade de transporte de água no solo, sendo um atributo essencial da caracterização físico-hídrica dos solos, o que é fundamental para projetos relacionados à drenagem agrícola, irrigação e práticas conservacionistas e uso da água do solo pelas plantas cultivadas (TIAN et al., 2019; LIBARDI, 2018). Ela pode ser determinada em condições de solo não saturado, $K_{(\theta)}$, e saturado, K_0 , essa diretamente dependente, dentre outros atributos, da macroporosidade e continuidade dos poros, enquanto a não saturada relaciona-se ao conteúdo volumétrico de água no solo (θ) ou potencial total (φ_t) com o qual a água está retida no solo (BAGARELLO et al., 2017; LIBARDI, 2018).

Dos variados métodos utilizados em campo para determinação da condutividade hidráulica saturada e não saturada, em função da variação do conteúdo de água do solo, encontra-se o perfil instantâneo, o qual permite o cálculo da função $K(\theta)$ no campo, conforme a redistribuição temporal da umidade

do solo, num processo de drenagem interna no qual o fluxo na superfície do solo é zero; (HILLEL et al., 1972).

Dentre as vantagens desse método, está a obtenção de medidas de condutividade hidráulica *in loco*, apresentando – quando comparado com os métodos de laboratório – dados mais realísticos, sobretudo quando no solo em análise existe a especificidade da coesão de camadas subsuperficiais.

Assim, objetivou-se neste estudo, por meio do método do perfil instantâneo, obter a condutividade hidráulica sob condição saturada e não saturada de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, em Cruz das Almas, BA.

2.1. MATERIAL E MÉTODOS

2.1.1. Área experimental

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia em Cruz das Almas, BA, 12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude a oeste de Greenwich e altitude de 220 metros.

O clima da região, conforme Köppen, é do tipo Aw e Am, tropical quente e úmido. As médias anuais de precipitação, umidade relativa e temperatura do ar são, nessa ordem, 1.200 mm, 82 % e 24,5 °C. O trimestre mais chuvoso é o de maio a julho e os meses mais quentes e secos são de outubro a fevereiro. A amplitude térmica média é pequena, em torno de 4,3 °C (D'ANGIOLELLA et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2017).

2.1.2. Caracterização morfológica do solo

Para esta finalidade foi aberto um perfil de solo com 1,00 por 1,00 m de largura e comprimento e 1,30 m de profundidade, no qual fez-se, com auxílio da fita métrica, faca, manual de classificação de cores de solo e a partir de observações visuais e com o tato de amostras solo secas e úmidas, a caracterização morfológica do perfil, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização morfológica de Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro, Cruz das Almas - BA.

Horizonte	faixa (m)	coesão	cor (seco - úmido)	consistência (seco/ úmido/ muito úmido)
A	0,00 - 0,15	não coeso	10yr4/3 - 10yr4/2	ligeiramente dura / friável a muito friável / ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa
AB	0,15 – 0,28	ligeiramente coeso	2,5y5/3 - 2,5y4/2	ligeiramente dura a dura / friável / ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa
BA	0,28 – 0,59	coeso	2,5y5/3 - 2,5y5/4	dura / friável a firme / plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa
BW1	0,59 – 0,98	coeso:0,59–0,80m não coeso: 0,80+m	2,5y5/4 - 2,5y5/4	dura a ligeiramente dura / friável a firme / plástica a pegajosa
BW2	0,98 – 1,30+	não coeso	2,5y5/4 - 2,5y5/3	macia a ligeiramente dura / muito friável / plástica a ligeiramente pegajosa

2.1.3. Caracterização físico-hídrica do solo

Coletaram-se amostras com estruturas deformada e indeformada nas profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, em conformidade com os pontos de monitoramento do potencial mátrico e da umidade do solo mediante tensiômetros com manômetro de mercúrio e a sonda FDR PR2/6.

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física do Solo e do Núcleo de Engenharia Agrícola de Água e Solo, ambos localizados no Campus da UFRB de Cruz das Almas, BA e no Laboratório de Solos do Instituto Federal Baiano – Campus Guanambi, em Guanambi-BA.

As avaliações granulométricas foram obtidas conforme Teixeira et al., (2017).

A densidade do solo (D_s) foi determinada com amostras indeformadas pelo método do cilindro volumétrico, utilizando um extrator tipo Uhland para a coleta no campo, com estrutura natural preservada, em cilindros metálicos com volume aproximado de 310 cm³, que foram levados à estufa a uma temperatura de 105 °C por 24 horas (TEIXEIRA et al., 2017).

A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico, usando álcool etílico como líquido penetrante (TEIXEIRA et al., 2017).

A porosidade total (PT) foi calculada com base nos valores de densidade

do solo (D_s) e das partículas (D_p), conforme equação 1:

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (1)$$

Em que PT é a porosidade total, em $m^3 m^{-3}$; D_s é a densidade do solo, em $kg dm^{-3}$ e D_p é densidade de partículas, em $kg dm^{-3}$.

A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão com altura de sucção das amostras de 60 cca, conforme Oliveira (1968):

$$M_i = \frac{(M_{60cca} - M_{105^\circ C}) D_s}{V_a} \quad (2)$$

Em que M_i é a microporosidade, em $m^3 m^{-3}$; M_{60cca} é a massa, em g da amostra a 60 cm de coluna de água de tensão; $M_{105^\circ C}$ é a massa da amostra seca a $105^\circ C$ por 24 horas; D_s é a densidade do solo e V_a é o Volume da amostra, em m^3 .

A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade:

$$M_a = PT - M_i \quad (3)$$

Em que M_a é a macroporosidade, em $m^3 m^{-3}$.

2.1.4. Curva de retenção da água no solo

Para a construção das curvas de retenção da água no solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada, representativas das profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m. Utilizou-se o extrator tipo Uhland e cilindros volumétricos com diâmetro e altura equivalente a 0,05 m.

No laboratório, retirou-se o excesso de solo dos cilindros volumétricos, nivelando a parte inferior e superior, deixando apenas o equivalente ao seu volume interno. Na base inferior do cilindro foi fixado, mediante liga de borracha, um tecido poroso para evitar perda de solo. Para a saturação, colocaram-se as amostras de solo dentro de um reservatório, no qual foi adicionado água gradativamente até próximo da extremidade superior do cilindro volumétrico, permanecendo assim por 24 horas.

Para determinação da umidade correspondentes às tensões de 1; 2; 4; e 6 kPa utilizou-se o funil de Haines, e para as tensões de 10 e 100 kPa a câmara de Richards.

A determinação da curva de retenção de água foi obtida de acordo com a equação (4) de ajuste proposta por Van Genuchten (1980).

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\varphi_m|)^n]^m} \quad (4)$$

Em que φ_m é o potencial mátrico, em kPa; θ_a é a umidade atual, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_r é a umidade residual do solo, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_s é a umidade de saturação do solo, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e α , m e n são parâmetros empíricos da equação.

A umidade de saturação foi obtida em conformidade com a equação (1), considerando-se o volume de saturação do solo como a porosidade total. Os parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980) para descrição das curvas de retenção de água no solo foram obtidos com uso do programa computacional Soil Water Retention Curve 3.0 (SWRC) (DOURADO NETO et al., 2001), empregando o método iterativo de Newton-Raphson para estimar os parâmetros θ_r , θ_s , α , m e n . Foi também utilizada ferramenta do Excel para construção das curvas.

2.1.5. Resistência do solo à penetração

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi obtida a partir das mesmas amostras indeformadas, utilizadas para caracterização da curva de retenção de água no solo, mediante a submissão - assim que retiradas do funil de Haines e da câmara de Richards e pesadas - a um penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA 933. Os valores obtidos em kgf cm^{-2} foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa (BEUTLER et al., 2001; SILVA; GIAROLA, 2001).

2.1.6. Condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado

O perfil instantâneo, conforme Libardi et al. (1980), foi o método utilizado para a obtenção da condutividade hidráulica saturada e não saturada; contudo, para a condição saturada, utilizou-se também, para efeitos comparativos, o

método do permeâmetro de carga constante, conforme Teixeira et al., (2017), utilizando cilindros volumétricos com 312 cm³ com amostras coletadas nas proximidades do perfil instantâneo e nas profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m. Durante a avaliação manteve-se, para cada amostra, carga hidráulica constante de dois centímetros. O volume de água percolado era coletado e medido com proveta, em intervalos de tempo de uma hora, durante oito horas. A condutividade hidráulica foi calculada a partir da equação:

$$K_o = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad (5)$$

Em que Q é o volume percolado, em mL; L é a altura do bloco de solo, em cm; H é a altura do bloco de solo e da coluna de água, em cm; A é a área do cilindro, em cm²; t é o tempo de percolação, em h, e K_o é a condutividade hidráulica saturada, em cm h⁻¹.

No caso do método do perfil instantâneo, delimitou-se em campo o perímetro de uma coluna circular de solo com 3,00 m de diâmetro e 0,80 m de profundidade, preservando ao máximo a estrutura da coluna de solo, na qual, em seguida, houve a introdução de chapa galvanizada de diâmetro equivalente ao da coluna de solo e altura de 1,00 m, ficando, portanto, 0,20 m da chapa acima do nível do solo, visando à obtenção de uma lâmina de água acima do solo de 0,15 a 0,20 m, durante o processo de saturação (Figura 1a).

Um ano após a introdução da chapa galvanizada foram instalados – de 0,15 em 0,15 m de distância horizontal, alinhados ao centro da coluna de solo – tensiômetros de mercúrio nas profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, constituindo uma bateria de 10 tensiômetros (Figura 1c e Figura 2), para monitoramento do potencial mátrico e, posteriormente, estimar a umidade no solo por meio das curvas de retenção ajustadas para as mesmas profundidades. Também foram colocados, próximo ao centro da coluna, três tubos de acesso de 32 mm de diâmetro e 1,15 m de comprimento, para verificação da umidade por meio da sonda FDR PR2/6, nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60 e 1,00 m. Os tubos de acesso foram previamente fechados na parte inferior para evitar a entrada de água. Como se verá mais adiante, a coluna de solo foi coberta

com duas lâminas de plástico, para evitar perdas de água na superfície, por evaporação (Figura 1b).

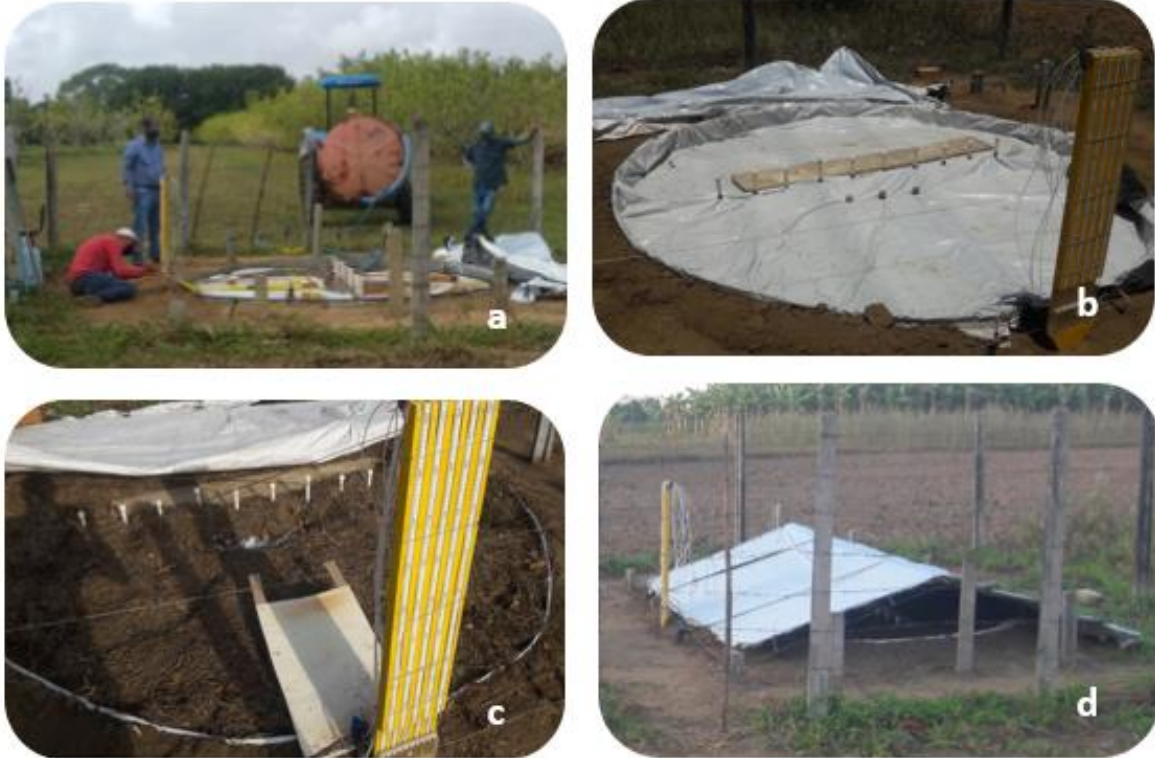


Figura 1. Início das avaliações da umidade do solo no perfil Instantâneo em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA: (a) momento da saturação; (b) lona para impedimento da evaporação; (c) cobertura morta para controlar a variação de temperatura e (d) cobertura externa com lona para evitar entrada de água da chuva, Cruz das Almas, BA.

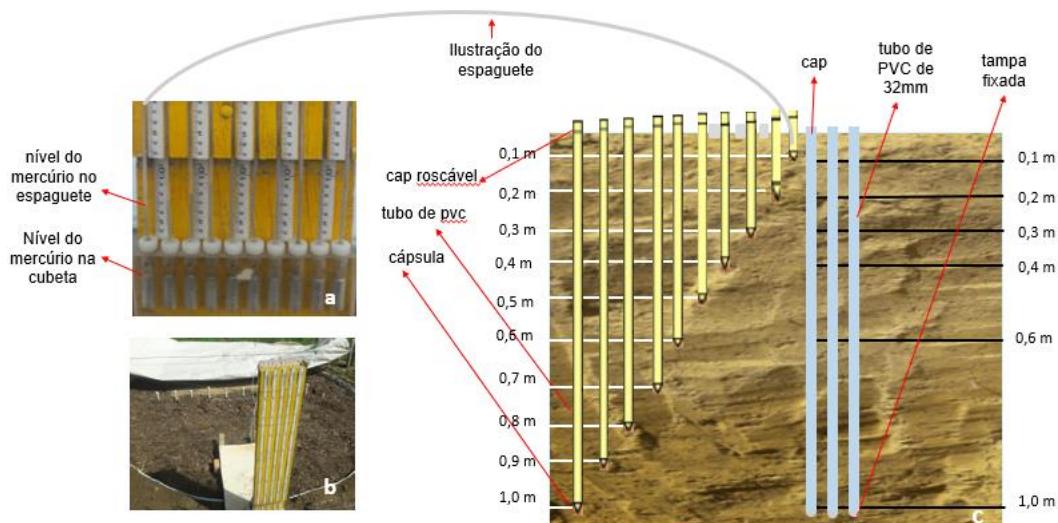


Figura 2. Ilustração das colunas e cubetas de mercúrio (a e b) e da distribuição dos tensiômetros e tubos de acesso da sonda FDR PR2/6 (c) no perfil Instantâneo em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro, Cruz das Almas - BA.

As cápsulas porosas dos tensiômetros foram saturadas previamente à instalação. A introdução dos conjuntos tubo / cápsula porosa foi realizada após abertura de furo, utilizando-se trado de diâmetro equivalente ao da cápsula porosa e nas profundidades correspondentes a cada tensiômetro, para, assim, permitir o melhor contato dos conjuntos com o solo. Para reduzir ainda mais a possibilidade de um fluxo preferencial no limite de contato do tubo com o solo, foi colocado, no entorno dos tensiômetros, na superfície do solo, uma borracha circular de câmara, com 5 cm de raio.

Após a instalação dos tensiômetros e dos tubos de acesso da sonda FDR PR2/6, procedeu-se à inundação da coluna de solo, até a obtenção de uma lâmina de água sobre a superfície da mesma. Essa lâmina de água foi mantida até o momento em que a leitura da altura de mercúrio dos tensiômetros instalados nas maiores profundidades diminuiu até atingir o valor calculado para o potencial mátrico igual a zero (Equação 6), indicando que o solo estava saturado até aquela profundidade e encontrando-se o valor a altura de coluna de mercúrio correspondente para cada profundidade (Equação 7).

$$\varphi_m = -12,6h_{Hg} + h_1 + h_2 = 0 \quad (6)$$

$$h_{Hg} = \frac{h_1 + h_2}{12,6} \quad (7)$$

Em que φ_m é o potencial mátrico, em m; h_{Hg} é a altura da coluna de mercúrio que indica a condição de solo saturado, em m; h_1 é a distância entre o nível das cubetas com mercúrio e a superfície do solo, em m e h_2 é a profundidade de instalação do tensiômetro, em m.

Com a condição de saturação da coluna alcançada, o fornecimento de água foi interrompido e colocou-se uma lona recortada com diâmetro próximo ao da chapa galvanizada, como primeira medida adotada para evitar a evaporação da água do solo. Durante o processo de saturação observou-se as colunas de mercúrio e assim que foi constatado que o potencial matricial havia sido anulado, aguardou-se a finalização da infiltração da água acima do solo e fez-se o primeiro monitoramento da umidade do solo, com leituras simultâneas nos tubos de acesso, com a sonda FDR PR2/6, e nas colunas de mercúrio, considerando-se aí o marco zero.

Como segunda medida para o impedimento da evaporação da água do solo e da entrada de água da chuva, cobriu-se o perfil com outra lona, fixando-a no entorno da chapa galvanizada com extensor elástico. Foram feitos furos na lona para a passagem nos tensiômetros e tubos de acesso da sonda FDR, tendo-se o cuidado de vedar com fita isolante os recortes feitos.

Para reduzir a oscilação de temperatura na coluna de solo, sobre a lona que recobria a chapa, foi adicionada uma palhada seca de *Brachiaria decumbens*. Foi previamente construída uma estrutura com duas águas, como forma adicional de evitar a entrada de água da chuva.

Após a proteção, foi iniciado o monitoramento do processo de redistribuição da água no perfil do solo, com as leituras dos tensiômetros em função do tempo.

No início do processo de redistribuição da água no solo foram feitas quatro leituras em todos os tensiômetros e tubos de acesso da sonda FDR PR2/6 a cada 25 minutos, durante duas horas; em seguida, até o término do dia, de hora em hora; nos três dias seguintes foram realizadas três leituras diárias, às 06:00, 12:00 e 18:00; nos 19 dias posteriores uma leitura por dia, às 07:40, e, a partir daí, duas leituras por semana (às segundas e quintas-feiras às 07:40).

Para o cálculo da condutividade hidráulica do solo não saturado foi utilizado o método proposto por Hillel et al. (1972) e descrito por Libardi (2012). A equação diferencial geral (equação 8) que descreve o fluxo vertical de água no perfil do solo é conhecida como equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial \varphi_t}{\partial z} \right] \quad (8)$$

Integrando a equação (8), tem-se a equação (9), em conformidade com o proposto por Hillel et al. (1972), para o cálculo da condutividade hidráulica $K(\theta)$ do perfil instantâneo:

$$K(\theta)|_z = \frac{-\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz}{\frac{\partial \varphi_t}{\partial z}|_z} \quad (9)$$

A condutividade hidráulica $K(\theta)|_z$ ficou definida, portanto, como o quociente da densidade de fluxo na profundidade Z (o numerador da fração) pelo gradiente de potencial total da água no solo (o denominador).

Da equação 9 encontra-se a 10;

$$-\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = K(\theta) \frac{\partial \varphi_t}{\partial z}|_z \quad (10)$$

Da equação (10), combinada com equação (11) abaixo, da densidade de fluxo de Darcy-Buckingham para meios porosos saturados e não saturado, encontra-se, na sequência, a equação 12;

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta \varphi_t}{\Delta z} \quad (11)$$

Em que q é a densidade de fluxo da solução, em $m \text{ s}^{-1}$; $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica não saturada em função da umidade, em $m \text{ s}^{-1}$; $\Delta \varphi_t$ é a variação do potencial total da água no solo, em mca e Δz é a variação de profundidade, em m.

Tem-se:

$$q = \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \quad (12)$$

O procedimento de Hillel et al. (1972) consistiu na elaboração de uma tabela para determinação da densidade de fluxo de água no solo, nas diversas profundidades estudadas e para diversos tempos (equação 12) e outra tabela para o cálculo da condutividade hidráulica em cada profundidade e para os diversos tempos de redistribuição da água no perfil do solo, dividindo as densidades de fluxo pelos gradientes de potencial total da água no solo (equação 9).

Com os dados de conteúdo volumétrico de água no solo (θ , $m^3 m^{-3}$) e potencial mátrico (kPa) em função do tempo de redistribuição foi possível escrever a equação de condutividade hidráulica não saturada (Equação 13) para cada profundidade do perfil do solo, até 1,00 m de profundidade, conforme Libardi et al. (1980):

$$K(\theta) = -K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (13)$$

O K_0 e θ_0 são a condutividade hidráulica e o conteúdo de água do solo saturado no tempo = 0, respectivamente. O θ é o conteúdo de água determinado diariamente pelos tensiômetros instalados. O γ é o coeficiente angular da regressão linear entre o logaritmo da condutividade hidráulica do solo em função do conteúdo de água, e K_0 é obtida a partir da resolução dessa equação de regressão para o maior conteúdo de água alcançado (tempo zero) (Equação 14):

$$K_0 = e^{((a \times \theta_0) - b)} \quad (14)$$

Em que a e b são os coeficientes angular e linear, respectivamente, para cada profundidade.

2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.1. Caracterização físico-hídrica

2.2.1.1. Distribuição granulométrica e classificação textural

A distribuição granulométrica (Tabela 2) evidenciou o predomínio de areia

total (AT) sobre a argila e desta sobre a fração silte em todas as profundidades. Observou-se também redução da AT e elevação da concentração da argila conforme aumenta-se a profundidade do perfil do solo, o que pode ser explicado, conforme Corrêa et al., (2008) que constataram que em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros há processos de eluviação e iluviação de argila - comumente caulinitas (GOMES et al. 2017) - que ocorre em profundidade no perfil do solo, tornando as camadas superficiais, mais arenosas e as subsuperficiais, mais densa e menos porosa pela deposição de argilas, o que pode comprometer o fluxo de água e desenvolvimento radicular em profundidade.

Constatou-se ainda que o teor de silte pouco variou nas diferentes profundidades analisadas. O fracionamento da areia evidenciou a prevalência de areia grossa (AG), média (AM) e fina (AF), particularmente AM, em relação às concentrações de areia muito grossa (AMG) e muito fina (AMF), porém observou-se tendência de redução dos teores das frações de areia em profundidade no perfil, exceto para a fração AMF cujos valores aumentam consideravelmente em profundidade.

A textura nas três primeiras profundidades (0,10; 0,20 e 0,30 m) foi franco-arenosa e franco-argiloarenosa para as demais (**Tabela 2**), o que corrobora com os dados obtidos por FERREIRA (2019) para o mesmo tipo de solo.

Tabela 2. Distribuição granulométrica em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

Prof. m	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	Silte	Argila	Classe textural
	g kg ⁻¹								
0,10	72	220	311	158	6	767	92	141	Franco-arenosa
0,20	69	217	319	152	14	771	88	141	Franco-arenosa
0,30	58	180	300	162	32	732	77	191	Franco-arenosa
0,40	52	168	272	158	60	710	47	242	Franco-argiloarenosa
0,50	61	148	232	133	62	636	71	293	Franco-argiloarenosa
0,60	50	145	238	134	64	631	61	308	Franco-argiloarenosa
0,70	55	140	216	129	65	605	77	318	Franco-argiloarenosa

0,80	59	145	219	131	59	613	95	293	Franco-argiloarenosa
0,90	63	146	200	117	80	606	86	308	Franco-argiloarenosa
1,00	51	160	202	117	67	597	79	323	Franco-argiloarenosa

AMG = areia muito grossa (1,00 - 2,00 mm); AG = areia grossa (0,50 - 1,00 mm); AM = areia média (0,25 - 0,50 mm); AF = areia fina (0,106 - 0,25 mm); AMF = areia muito fina (0,053 - 0,106 mm) e AT = areia total.

2.2.1.2. Porosidade e densidade

Na **Tabela 3** são apresentados os dados de distribuição de poros e a densidade do solo e de partículas, em que se observa a prevalência de macroporos nas três primeiras profundidades, especialmente, 0,10 e 0,20 m, onde foram constatados os maiores e menores teores, respectivamente, de AT e argila (**Tabela 2**). Contudo, de 0,40 m até 1,00 m de profundidade houve predomínio de microporos, que coincide com os maiores conteúdos de argila do perfil.

Embora os valores de macroporos encontrados em todo perfil sejam superiores a 0,10 (10 %) que é o mínimo necessário para as trocas líquidas e gasosas para o bom desenvolvimento radicular da maioria das culturas (REICHERT et al., 2007; CUNHA et al., 2011), percebe-se que houve decréscimo da macroporosidade e aumento da microporosidade média e da densidade do solo nas na faixa subsuperficial do solo, resultados que corroboram aos encontrados por Vasconcelos et al. (2014) e Santos et al. (2019) que estudaram, respectivamente, Latossolo e Argissolo Amarelos Distrocoesos dos Tabuleiros Costeiros e também constataram uma redução da macroporosidade e elevação da densidade do solo nas faixas subsuperficiais desses solos.

Considerando que o fluxo de água no solo está diretamente relacionado com o volume de macroporos, evidencia-se, portanto, uma limitação ao fluxo vertical de água no solo, proporcionado pela faixa coesa, característico dos solos dos Tabuleiros Costeiros.

Os valores médios de densidade do solo ($1,60 \text{ kg dm}^{-3}$) e porosidade total ($0,405 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) encontrados nesse trabalho corroboram aos observados por Pessoa & Libardi, (2022) em estudo de caracterização do mesmo solo, obtendo os valores de $1,68 \text{ kg dm}^{-3}$ e $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para densidade e porosidade total, respectivamente.

Segundo Ferreira (2010), a porosidade total deve variar entre 0,30 e 0,70

$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, faixa na qual se encontra a maior parte dos solos brasileiros. Os valores observados nas camadas do solo avaliadas enquadram-se nesse intervalo (**Tabela 3**); no entanto estão mais próximos do limite inferior ($0,30 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$), o que indica uma restrição física existente nos solos de Tabuleiros Costeiros, tais como redução da profundidade efetiva do solo, retratada pelo baixo aprofundamento do sistema radicular das culturas impactando negativamente a produtividade agrícola, em consequência da redução da movimentação da água no perfil do solo o que é corroborado por GOMES et al. (2017) que estudaram solos coesos em Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil e por TIAN et al. (2019) que avaliaram a influência do adensamento do solo na condutividade hidráulica.

A densidade de partículas (D_p) pouco variou, situando-se entre 2,56 e 2,78 kg dm^{-3} , com média de 2,68 kg dm^{-3} , próximo aos 2,65 kg dm^{-3} , considerado valor padrão para solos minerais.

Tabela 3. Distribuição de poros e densidade do solo e de partículas, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas – BA.

Profundidades (m)	Pt	Ma	Mi	Ds	Dp
	----- $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ -----			----- kg dm^{-3} -----	
0,10	0,404	0,243	0,161	1,569	2,632
0,20	0,407	0,255	0,152	1,581	2,667
0,30	0,395	0,209	0,186	1,681	2,778
0,40	0,367	0,153	0,213	1,624	2,564
0,50	0,411	0,183	0,228	1,636	2,778
0,60	0,410	0,188	0,222	1,633	2,597
0,70	0,403	0,165	0,238	1,635	2,740
0,80	0,424	0,181	0,244	1,600	2,778
0,90	0,388	0,152	0,236	1,590	2,597
1,00	0,440	0,191	0,248	1,514	2,703

¹⁾Pt = porosidade total; Ma = macroporos; Mi = microporos; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas.

2.2.1.3. Curva de retenção de água no solo (CRA)

As curvas de retenção da água no solo (Figura 3) ajustadas pela equação de van Genuchten (1980) apresentaram coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 0,98 (Tabela 4), indicando bons ajustes do modelo aos dados experimentais. O parâmetro m foi, em média, 30 % menor na faixa coesa do solo (de 0,30 a 0,80 m) quando comparado as profundidades não coesas, o que conforme Maia et al. (2011), este parâmetro da curva de retenção é um bom indicativo da condutividade da água no solo, com valores baixos tendentes à limitação da movimentação da água no solo.

As variações nas densidades do solo estão correlacionadas às variações das CRAs (PESSOA; LIBARDI, 2022) e também aos parâmetros da condutividade hidráulica do modelo Mualem-van Genuchten (TIAN et al., 2019).

Esses valores que corroboram aos encontrados por Vasconcelos et al. (2014) e Santos et al. (2019) que estudaram solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, evidenciando uma significativa armazenagem da água em profundidades subsuperficiais no perfil destes solos, contudo essa armazenagem de água torna-se pouco disponível às plantas seja pela resistência a penetração das raízes nestas profundidades coesas, reduzindo-se o volume de solo explorado, seja conforme o observado por GUBIANI & MENTGES (2020) que constataram que o adensamento subsuperficial do solo limita a ascensão capilar para as camadas superficiais o que compõem informações relevantes para se ressaltar que a baixa oferta hídrica às culturas nestes solos não estão na limitação da armazenagem, mas, principalmente, no baixo acesso do sistema radicular às camadas subsuperficiais bem como o baixo fluxo vertical ascendente da faixa coesa para as profundidades superficiais.

Tabela 4. Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980), em Latossolo Amarelo Distrocoeso, em Cruz das Almas, BA.

Parâmetros	Profundidades (m)									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
θ_s	0,404	0,407	0,395	0,367	0,411	0,410	0,403	0,424	0,388	0,440
θ_r	0,084	0,084	0,111	0,016	0,080	0,031	0,093	0,107	0,007	0,117
α	2,645	3,002	3,707	2,108	23,354	5,847	7,535	3,999	4,827	1,719
m	0,073	0,084	0,084	0,030	0,060	0,081	0,055	0,051	0,034	0,205
n	5,061	4,692	5,587	5,139	2,536	2,034	3,334	4,778	3,988	2,065
R^2	0,989	0,985	0,987	0,980	0,992	0,994	0,996	0,998	0,986	0,988

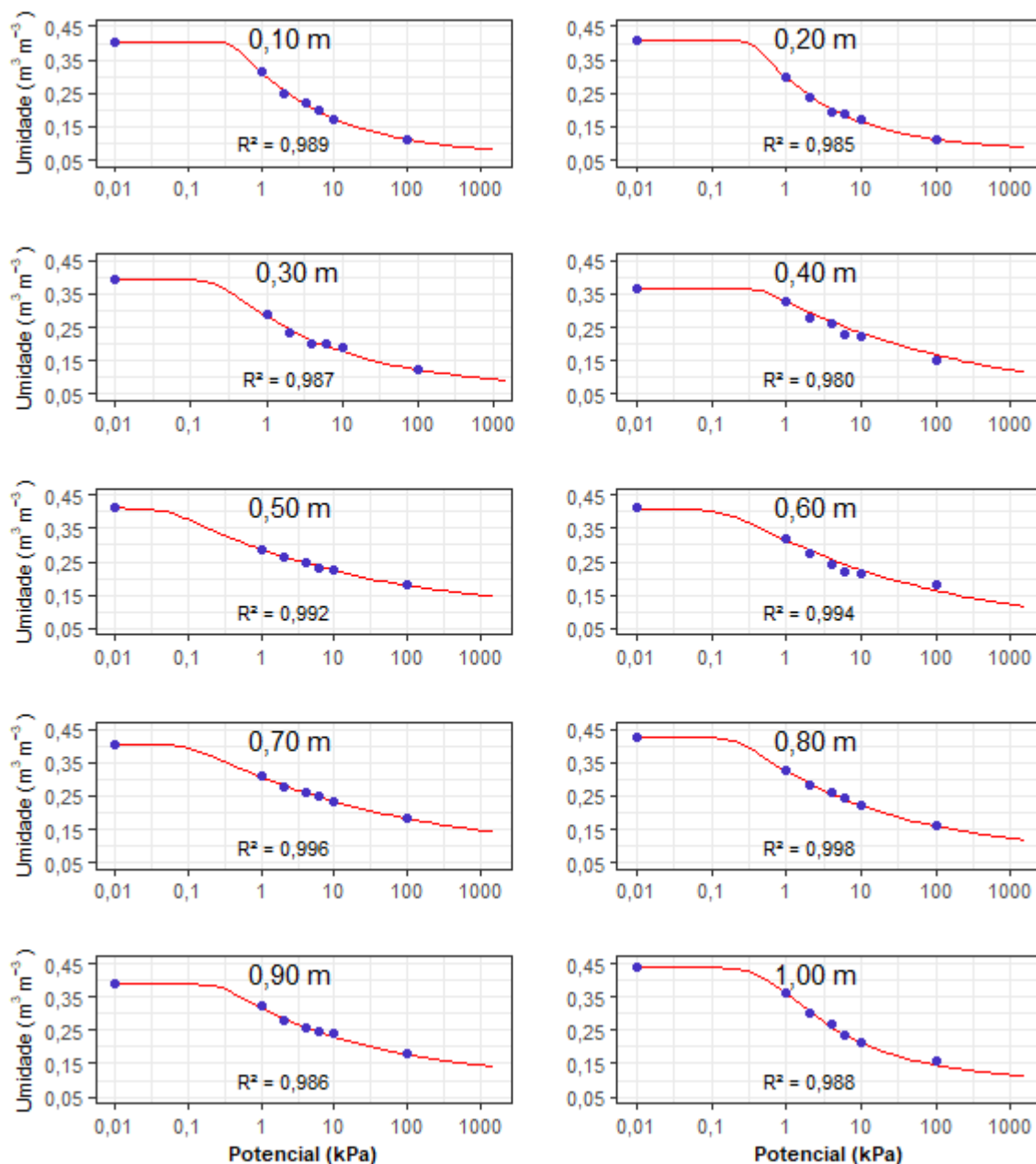


Figura 3. Curvas de retenção de umidade do solo ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980), a partir de amostras indeformadas, para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

2.2.1.4. Resistência à penetração

Observando-se a **Tabela 5** constata-se que há uma elevação dos valores médios de resistência a penetração (RP), conforme a tensão da umidade do solo aumenta. Analisando os valores de resistência dentro de cada tensão, observa-se uma elevação da RP na faixa coesa (0,30 até 0,80 m) em relação as faixas não coesas (0,10; 0,20; 0,90 e 1,00 m). O adensamento subsuperficial do solo

influencia na condutividade hidráulica do solo com redução do fluxo, além da possibilidade de potencialização da perda de água por evaporação das profundidades superficiais (ROMERO-RUIZ et al., 2022). Para a tensão de 6 kPa, contudo, a RP foi maior para a faixa não coesa superficial, onde se encontra uma maior concentração de AT, o que pode ter proporcionado tal diferença, pois o maior teor de areia, comumente, reduz possibilidades de valores extremos de resistência a penetração; não resultando em valores muito baixos quando o solo se encontra próximo à saturação nem RP muito alta quando o solo se encontra com baixa disponibilidade hídrica.

Tabela 5. Estatística descritiva da resistência à penetração mecânica (MPa) por profundidade com umidades nas tensões de 6; 10 e 100 kPa, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

Prof. (m)	Tensão (kPa)	Média	Máximo	Mínimo	Amplitude	Desvio padrão	C.V. (%)
0,10	6	0,427	0,920	0,180	0,740	0,235	54,9
0,20	6	0,637	0,800	0,430	0,370	0,095	14,9
0,30	6	0,599	0,980	0,310	0,670	0,197	32,9
0,40	6	0,422	0,550	0,310	0,240	0,047	11,1
0,50	6	0,588	0,800	0,120	0,680	0,195	33,1
0,60	6	0,378	0,470	0,240	0,230	0,078	20,5
0,70	6	0,474	0,670	0,310	0,360	0,082	17,3
0,80	6	0,537	0,740	0,370	0,370	0,099	18,4
0,90	6	0,532	0,800	0,370	0,430	0,119	22,4
1,00	6	0,284	0,310	0,180	0,130	0,038	13,3
0,10	10	0,731	1,230	0,120	1,110	0,315	43,1
0,20	10	0,789	1,040	0,490	0,550	0,136	17,3
0,30	10	0,761	0,980	0,490	0,490	0,122	16,1
0,40	10	1,192	1,350	0,920	0,430	0,123	10,3
0,50	10	0,690	1,040	0,310	0,730	0,216	31,3
0,60	10	1,050	1,230	0,670	0,560	0,173	16,5
0,70	10	0,528	0,800	0,250	0,550	0,189	35,8
0,80	10	0,605	0,800	0,370	0,430	0,110	18,3
0,90	10	0,463	0,490	0,310	0,180	0,045	9,8
1,00	10	0,376	0,550	0,180	0,370	0,109	29,0
0,10	100	1,225	2,140	0,740	1,400	0,380	31,0
0,20	100	1,731	2,450	0,920	1,530	0,432	24,9
0,30	100	1,841	2,270	1,530	0,740	0,208	11,3
0,40	100	2,864	3,490	2,330	1,160	0,348	12,1
0,50	100	4,902	5,450	4,110	1,340	0,434	8,8
0,60	100	3,936	4,600	3,550	1,050	0,306	7,8
0,70	100	4,684	5,150	4,110	1,040	0,320	6,8
0,80	100	3,512	4,720	2,330	2,390	0,747	21,3
0,90	100	2,494	3,000	1,780	1,220	0,372	14,9
1,00	100	2,545	2,820	2,020	0,800	0,215	8,4

2.2.1.5 Potenciais mátrico e total da água no solo

A **Figura 4** evidencia o potencial total de retenção da umidade do solo durante o período da redistribuição da água, em fluxo descendente da água no solo no período de 148 dias (3.550,2 horas).

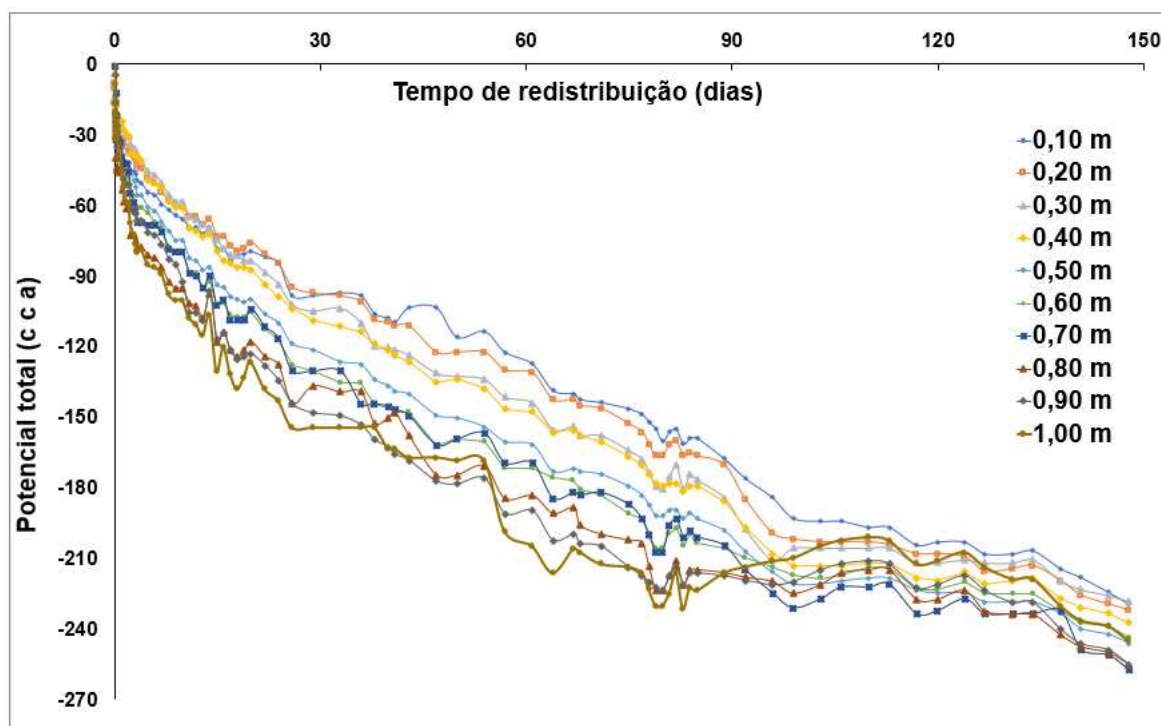


Figura 4. Potencial total em função tempo redistribuição da água no solo para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, do perfil no Latossolo Amarelo Distrocóeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas - BA.

A umidade volumétrica para cada profundidade, em todos os tempos da parcela experimental é apresentada na **Tabela 6**, por meio da qual foram obtidos os gráficos representativos da variação da umidade no solo em função do tempo de redistribuição para cada profundidade. Durante as quatro primeiras horas, pode-se observar, pelos valores de umidade, que houve acúmulo de água no perfil do solo a partir dos 0,30 m, exatamente no limite superior da camada coesa. Exceto pela profundidade de 0,90 m, o conteúdo de água permaneceu superior ou próximo a umidade na capacidade de campo até os 148 dias de avaliação, como não havia ascensão e perda de água por evaporação após a redução do conteúdo de água no solo a condutividade hidráulica não saturada tende a diminuir e o fluxo

de água no solo ocorre lentamente no sentido vertical.

Observa-se que houve baixas variações do conteúdo de água no solo, em percentagem, ao longo do tempo de redistribuição principalmente na profundidade entre 0,4 e 0,9 m, onde a variação foi inferior a 40 %. As maiores variações na umidade foram observadas nas camadas mais superficiais de 0,10, 0,20 e 0,30 m nas 3550 h de redistribuição, com valores, respectivamente, de 46,2, 47,5 e 43,6 %.

Tabela 6. Valores do conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função do tempo de redistribuição de água no perfil instantâneo em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

tempo (h)	Profundidade (m)									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0 m
	Conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)									
1,0	0,39	0,40	0,39	0,37	0,33	0,41	0,35	0,40	0,30	0,43
1,3	0,31	0,37	0,39	0,37	0,33	0,41	0,35	0,40	0,30	0,43
1,7	0,29	0,31	0,39	0,37	0,33	0,41	0,35	0,40	0,30	0,43
2,0	0,29	0,31	0,39	0,37	0,33	0,41	0,35	0,40	0,30	0,43
3,0	0,29	0,29	0,32	0,36	0,33	0,41	0,35	0,40	0,30	0,43
4,0	0,28	0,28	0,29	0,32	0,25	0,34	0,27	0,30	0,23	0,35
5,0	0,27	0,28	0,29	0,31	0,25	0,32	0,31	0,29	0,22	0,32
6,0	0,27	0,28	0,29	0,31	0,25	0,32	0,27	0,28	0,21	0,32
7,0	0,27	0,28	0,28	0,31	0,25	0,32	0,26	0,28	0,21	0,32
8,0	0,27	0,28	0,28	0,30	0,25	0,31	0,26	0,28	0,21	0,32
9,0	0,27	0,28	0,28	0,30	0,25	0,31	0,26	0,28	0,21	0,31
10,0	0,27	0,28	0,28	0,30	0,24	0,31	0,26	0,28	0,21	0,31
11,0	0,27	0,27	0,28	0,30	0,24	0,31	0,26	0,28	0,21	0,31
12,0	0,27	0,27	0,28	0,30	0,24	0,31	0,26	0,28	0,21	0,31
20,9	0,27	0,27	0,28	0,30	0,24	0,31	0,25	0,28	0,21	0,30
26,6	0,26	0,27	0,28	0,30	0,24	0,30	0,25	0,27	0,20	0,30
32,8	0,26	0,27	0,28	0,30	0,24	0,30	0,25	0,27	0,20	0,29
45,0	0,26	0,27	0,28	0,30	0,24	0,30	0,25	0,27	0,20	0,29
50,8	0,26	0,27	0,28	0,29	0,24	0,30	0,25	0,27	0,20	0,29
56,6	0,26	0,27	0,27	0,29	0,24	0,29	0,25	0,27	0,20	0,28
68,8	0,26	0,27	0,27	0,29	0,24	0,29	0,25	0,27	0,20	0,28
74,6	0,26	0,27	0,27	0,29	0,24	0,29	0,25	0,27	0,20	0,28
80,7	0,26	0,26	0,27	0,29	0,24	0,29	0,24	0,26	0,20	0,28
94,3	0,26	0,26	0,27	0,29	0,24	0,29	0,24	0,26	0,20	0,28
118,3	0,26	0,26	0,27	0,28	0,24	0,29	0,24	0,26	0,20	0,27
142,3	0,26	0,26	0,27	0,28	0,24	0,29	0,24	0,26	0,20	0,27
166,3	0,25	0,26	0,26	0,28	0,23	0,28	0,24	0,26	0,20	0,27
190,3	0,25	0,26	0,26	0,28	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27

214,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27
238,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27
262,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27
286,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27
310,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,26
334,3	0,25	0,25	0,26	0,27	0,23	0,28	0,24	0,26	0,19	0,27
358,3	0,25	0,25	0,25	0,27	0,23	0,27	0,24	0,26	0,19	0,26
382,3	0,25	0,25	0,25	0,27	0,23	0,27	0,24	0,26	0,19	0,26
406,3	0,24	0,25	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,26	0,19	0,26
430,3	0,24	0,25	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,26
454,3	0,24	0,25	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,26	0,19	0,26
478,3	0,24	0,25	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,26	0,19	0,26
526,3	0,24	0,24	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,26
574,3	0,24	0,24	0,25	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,26
622,3	0,24	0,24	0,24	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,25
694,3	0,24	0,24	0,24	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,25
790,3	0,24	0,24	0,24	0,26	0,23	0,27	0,23	0,25	0,19	0,26
862,3	0,24	0,24	0,24	0,26	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,26
910,3	0,24	0,24	0,24	0,25	0,23	0,26	0,23	0,25	0,19	0,26
958,3	0,24	0,24	0,24	0,25	0,23	0,27	0,24	0,25	0,19	0,26
982,3	0,24	0,23	0,24	0,25	0,23	0,26	0,23	0,25	0,19	0,25
1030,3	0,24	0,23	0,24	0,25	0,23	0,26	0,23	0,25	0,19	0,25
1126,3	0,24	0,23	0,24	0,25	0,23	0,26	0,23	0,25	0,19	0,25
1198,3	0,23	0,23	0,24	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,18	0,25
1294,3	0,23	0,23	0,24	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,19	0,25
1366,3	0,23	0,23	0,24	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,18	0,25
1462,3	0,23	0,23	0,24	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,18	0,25
1534,3	0,23	0,23	0,23	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,18	0,24
1606,3	0,23	0,23	0,23	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25	0,18	0,25
1630,3	0,23	0,23	0,23	0,25	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,25
1702,3	0,23	0,23	0,23	0,25	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,24
1798,3	0,23	0,22	0,23	0,24	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,24
1846,3	0,23	0,22	0,23	0,24	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,24
1870,3	0,23	0,23	0,23	0,24	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,25
1894,3	0,23	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
1918,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
1942,3	0,23	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
1966,3	0,23	0,22	0,23	0,24	0,22	0,26	0,23	0,24	0,18	0,24
1990,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2014,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2038,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2134,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2206,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,25	0,18	0,25
2302,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2374,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2470,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,25

2542,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,25
2638,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,25
2710,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,25
2806,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2878,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
2974,3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,25
3046,3	0,22	0,21	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3142,3	0,22	0,21	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3214,3	0,22	0,21	0,23	0,24	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3310,3	0,22	0,21	0,22	0,23	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3382,3	0,22	0,21	0,22	0,23	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3478,3	0,21	0,21	0,22	0,23	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24
3550,3	0,21	0,21	0,22	0,23	0,22	0,25	0,23	0,24	0,18	0,24

A função potência (**Figura 5**) foi a que melhor representou a variação da umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em relação ao tempo (h), obtendo-se valores elevados de R^2 e confiabilidade na derivada da umidade com o tempo ($\partial\theta/\partial t$), obtidos com base nessas equações (JONG van LIER e LIBARDI, 1999). Nesta figura, observa-se que houve - a partir dos 0,40 m de profundidade - uma pequena variação do conteúdo de água ao tempo de redistribuição, isto se deve, possivelmente, ao maior teor de argila e a redução da macroporosidade a partir desta profundidade (Tabelas 2 e 3) e elevação da densidade do solo na faixa coesa do perfil.

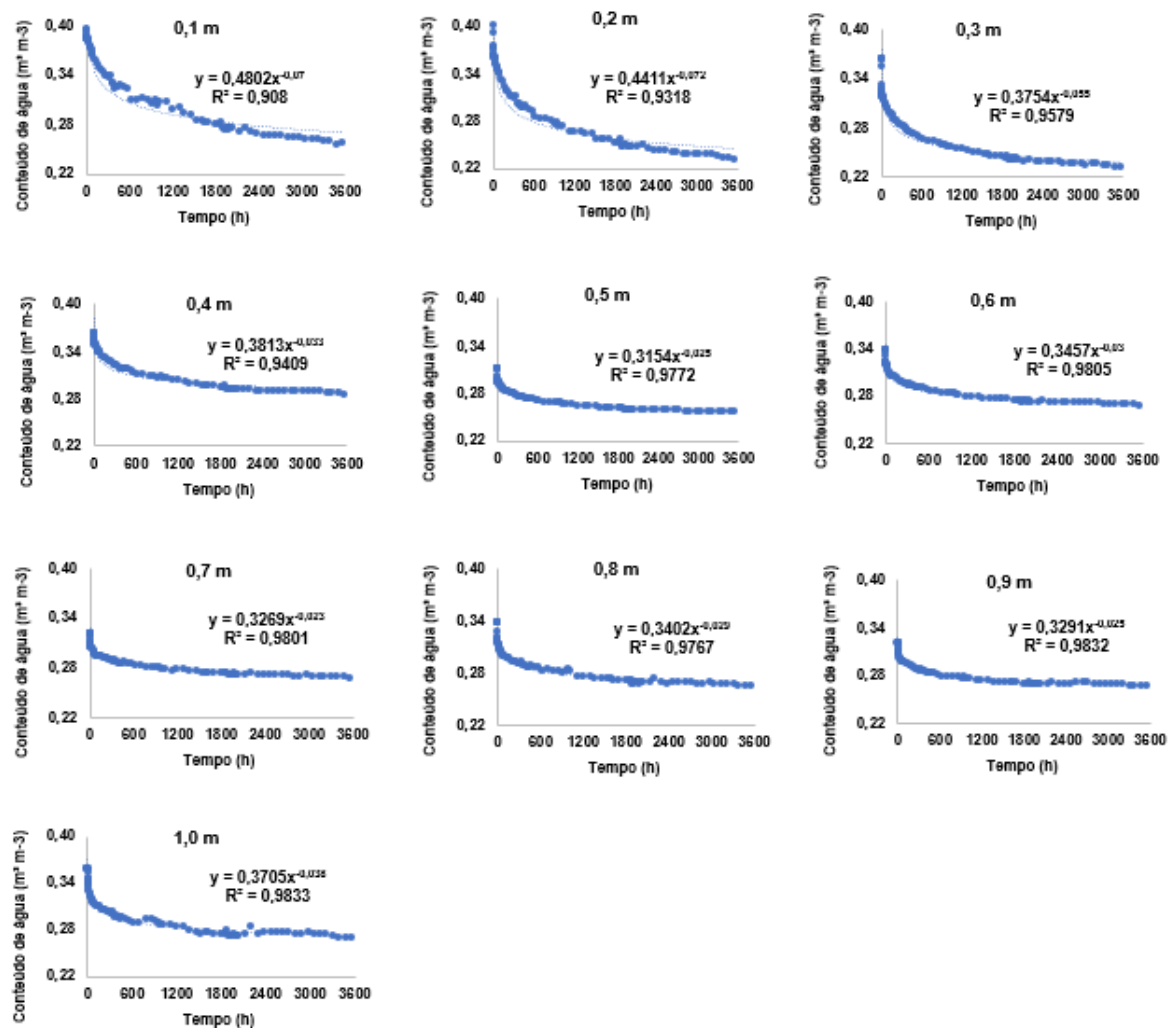


Figura 5. Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função do tempo de redistribuição para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

A **figura 6** demonstra o comportamento do logaritmo natural da condutividade hidráulica ($\ln K$) em relação ao conteúdo de água no solo, onde observa-se que na faixa coesa deste solo (0,30 a 0,80 m de profundidade) a inclinação média das retas foi maior que as profundidades superficiais, constatando-se na figura que a variação da condutividade hidráulica na faixa coesa foi resultado de pequena variação de umidade do solo. O comportamento da curva a 0,90 m a inclinação foi diferente das demais profundidades não coesas (Figura 6).

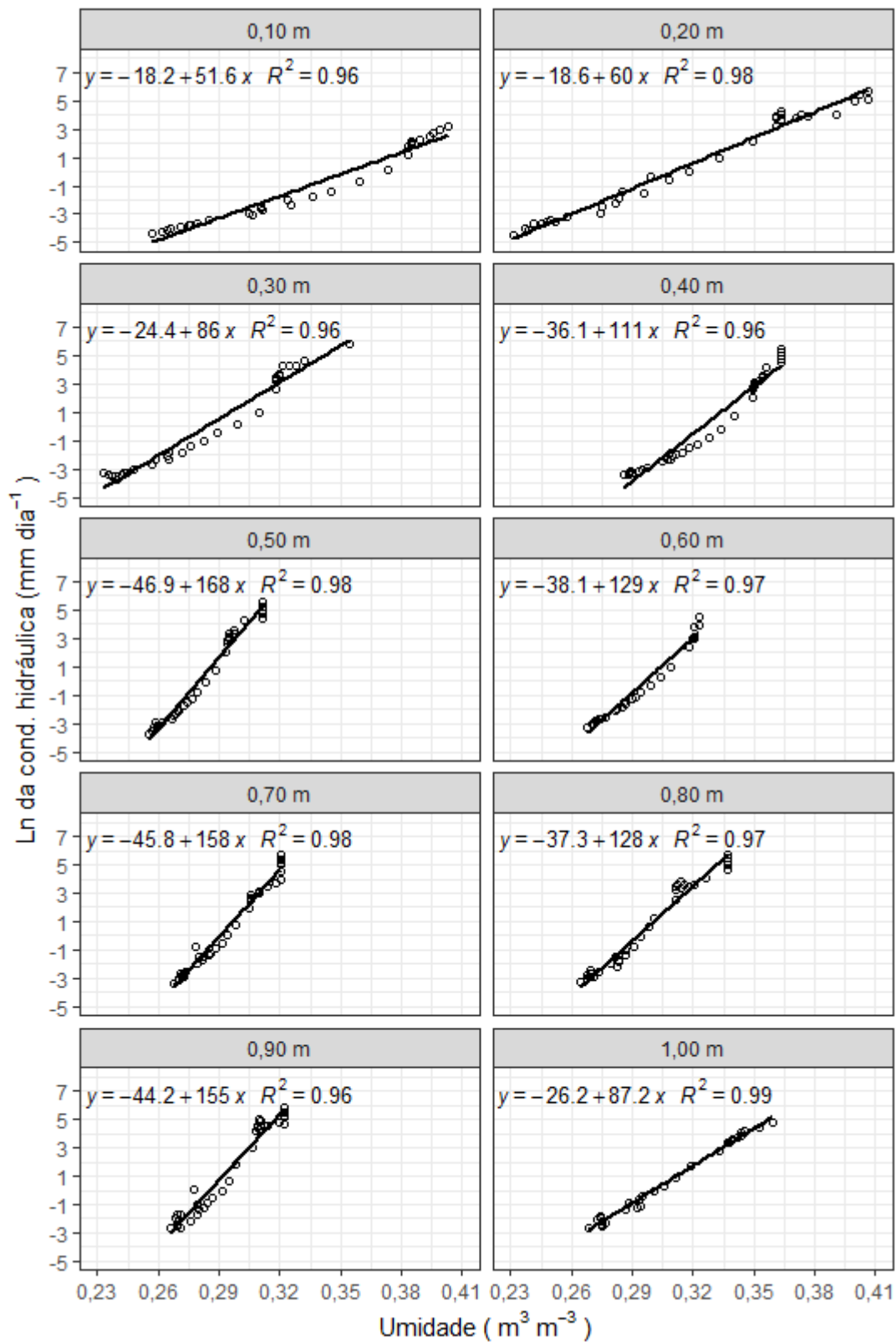


Figura 6. Ln da Condutividade hidráulica em função da umidade do solo para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m em um Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiros Costeiros em Cruz das Almas, BA.

Regressões lineares foram realizadas para explicar a relação da umidade média com o $\ln(t),h$. Todos os coeficientes de determinação (R^2) foram iguais ou superiores a 0,97, evidenciando, portanto, adequada descrição do fenômeno (Figura 7). Observa-se que até 0,40 m de profundidade houve maior variação do conteúdo de água quando comparados às profundidades mais elevadas, isto é explicado porque há grande influência do maior conteúdo de areia e maior macroporosidade das camadas superficiais resultando em maior variação do conteúdo médio de água até os 0,40 m de profundidade. Ressalta-se que a partir dos coeficientes angulares destas equações foram obtidos os valores gama (γ), parâmetro fundamental para a obtenção da condutividade hidráulica não saturada, conforme Libardi et al. (1980), Equação 13.

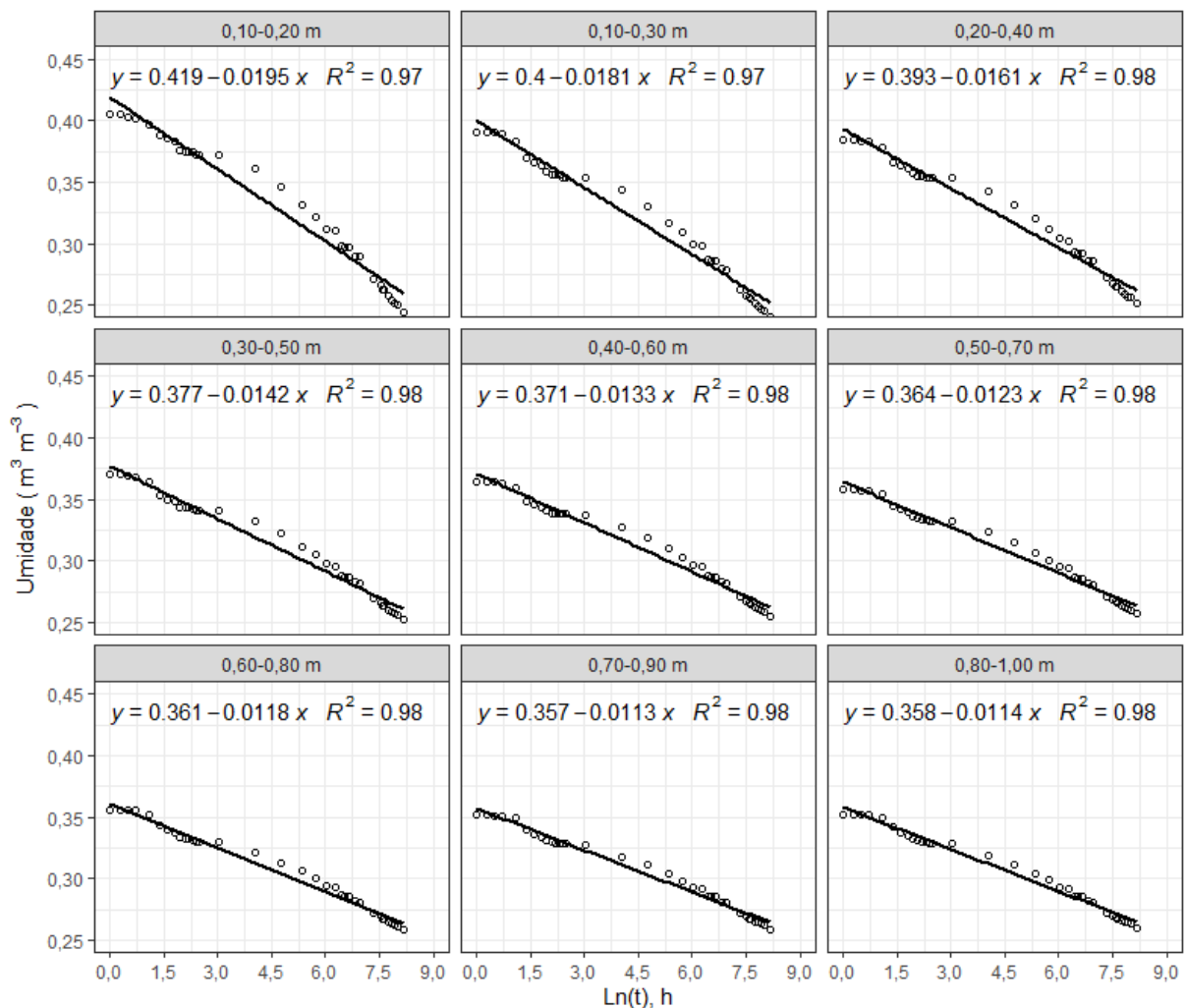


Figura 7. Umidade média do solo em função do Ln tempo para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas, BA.

2.2.1.6. Condutividade hidráulica

Com base na análise descritiva dos dados de condutividade hidráulica não saturada do Latossolo Amarelo Distrocoeso, apresentada na **Tabela 7**, observa-se que os valores de coeficiente de variação ficaram entre 173,34 e 215,21 %. A classe do coeficiente de variação da condutividade hidráulica para todas as profundidades, em função do tempo, é considerada como alta com $CV > 62\%$ (WARRICK & NIELSEN, 1980). Os menores valores de média, máximo e amplitude foram encontrados nas profundidades de 0,30 e 0,80 m, que indica que o fluxo de água no perfil deste solo é limitado dentro da faixa coesa.

Tabela 7. Estatística descritiva da condutividade hidráulica (mm dia^{-1}) em função do tempo por profundidade, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro em Cruz das Almas - BA.

Prof. (m)	Média	Máximo	Mínimo	Amplitude	Desvio padrão	C.V. (%)
0,20	30,73	259,70	0,01	259,69	60,21	195,9
0,30	11,67	73,54	0,02	73,52	22,37	191,7
0,40	8,46	72,28	0,03	72,25	16,96	200,4
0,50	5,60	36,85	0,02	36,83	10,17	181,6
0,60	5,93	51,74	0,04	51,70	12,76	215,2
0,70	5,78	41,31	0,03	41,28	11,22	194,0
0,80	8,54	45,99	0,04	45,95	14,81	173,3
0,90	21,42	152,46	0,07	152,39	42,55	198,7

As curvas da condutividade hidráulica não saturada determinadas pelo método do perfil instantâneo apresentaram comportamento exponencial e os menores valores da condutividade foram encontrados na faixa coesa (0,30 a 0,80 m de profundidade) deste solo (**Tabela 8**).

Tabela 8. Estimativa da condutividade hidráulica média não saturada (mm dia⁻¹) do solo, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Profundidade (m)	Equação
0,2	$K(\theta) = 259,7e^{51,02(\theta-0,404)}$
0,3	$K(\theta) = 63,37e^{55,25(\theta-0,332)}$
0,4	$K(\theta) = 72,28e^{62,11(\theta-0,363)}$
0,5	$K(\theta) = 19,00e^{70,42(\theta-0,297)}$
0,6	$K(\theta) = 29,83e^{75,19(\theta-0,323)}$
0,7	$K(\theta) = 40,81e^{81,30(\theta-0,315)}$
0,8	$K(\theta) = 34,34e^{84,03(\theta-0,320)}$
0,9	$K(\theta) = 87,37e^{87,72(\theta-0,314)}$

Os resultados de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), obtida pelo método do permeâmetro de carga constante, estão apresentados na **Figura 8**. A condutividade foi maior pelo método do permeâmetro uma vez que não havia camadas subjacentes de solo o que é corroborado por Amirataee & Besharat, (2008) que também trabalharam com método de campo e com permeâmetro de carga constante e de campo. Conforme Hunt e Gee, (2003) o aumento da condutividade hidráulica saturada está mais relacionada à elevação macroporosidade, o que está em consonância com o presente estudo que foram obtidos maiores valores de condutividade hidráulica saturada nas duas profundidades mais superficiais que apresentaram maiores macroporosidades.

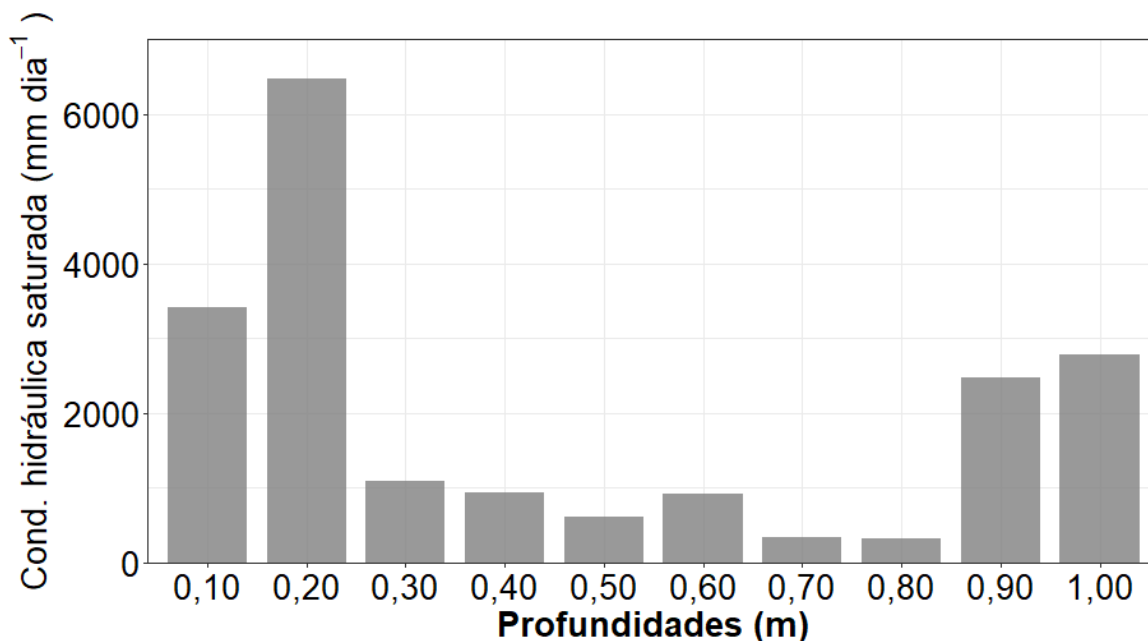


Figura 8. Condutividade hidráulica saturada pelo método do permeâmetro de carga constante, para as profundidades de 0,10 a 1,00 m, em intervalo de 0,10 m, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro, em Cruz das Almas, BA.

Contudo os valores de condutividade hidráulica saturada, obtidos a partir do permeâmetro de carga constante, demonstra uma significativa redução da condutividade hidráulica saturada entre 0,30 ao 0,80 m de profundidade, faixa que coincide com zona coesa do solo em análise, que pode estar relacionado com menor macroporosidade e teor de areia e maior densidade e microporosidade do solo da faixa coesa.

2.3. CONCLUSÕES

A redução da macroporosidade nas profundidades de 0,30 a 0,80 m, associadas ao aumento da densidade do solo e a elevação da resistência mecânica a penetração à medida que o solo reduz a umidade, caracteriza a esta faixa como zona coesa desse solo, implicando em baixo desenvolvimento das plantas.

A coesão desses solos é um forte indicativo da limitação do desenvolvimento do sistema radicular dos cultivos, com restrição do volume de solo explorado e elevação do déficit hídrico das culturas agrícolas.

Os menores valores de condutividade hidráulica saturada e não saturada

foram observados na faixa coesa entre 0,30 a 0,80 m, indicando a limitação do fluxo de água pelo adensamento do solo.

A baixa disponibilidade hídrica às culturas nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros pode estar atrelada tanto a elevação da resistência das raízes nas camadas subsuperficiais coesas como o baixo fluxo vertical ascendente da faixa coesa para as profundidades superficiais.

2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRATAEE, B. & BESHARAT, S. Comparing Hydraulic conductivity through both inverted Auger Hole and constant head methods. **The Canadian Society for Bioengineering**. Written for presentation at the CSBE/SCGAB. Annual Conference Vancouver, British Columbia. July 13 - 16, 2008.

BAGARELLO, V.; DI PRIMA, S.; IOVINO, M. Estimating saturated soil hydraulic conductivity by the near steady-state phase of a Beerkan infiltration test. **Geoderma**, v. 303, p. 70–77, 2017.

BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Washington: USDA Bureau of soils. p. 61, 1907.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG. v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. **Caracterização climática dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano**. p. 1-5, 2011.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo**. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta), Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 2001.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. V. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-27, 2010.

FERREIRA, L. G. **Balanço hídrico do solo sob pastagem e espécies arbóreas**, com uso da técnica de FDR. 59f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA, 2019.

GOMES, J. B. V. et al. Cemented Horizons and Hardpans in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, p. 1-19, 2017.

GUBIANI, P. I. & MENTGES, L. R. "Using Root Water Uptake Estimated by a Hydrological Model to Evaluate the Least Limiting Water Range." **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 44, p. 1-12, 2020.

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.

HILLEL, D. Soil water: **Physical principles and processes**. New York, Academic Press, 288 p., 1971.

HUNT, A. G. & GEE, G. W. Wet-End Deviations from Scaling of the Water Retention Characteristics of Fractal Porous Media. **Vadose Zone Journal**. v. 2, p. 759-765, 2003.

MAIA, C.E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n.6, p.1959-1965, 2011.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, EDUSP, 329p., 2018.

PESSOA, T. N.; LIBARDI, P. L. Physical-hydric properties of Oxisols as influenced by soil structure and clay mineralogy. **CATENA**, v. 211, n. 106009, p. 1-13, 2022.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. Tópicos em ciência do solo. 5.ed. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 49-134, 2007.

RICHARDS, L. A. **Capillary conduction of liquids through porous mediums**. *Physics*, v.1, p.318-333, 1931.

SANTOS, M. M. M.; PEREIRA, F. A. C.; SOUZA, L. S.; SANTOS, E B; SILVEIRA, F. G. F. Hidrodinâmica em solos típicos dos Tabuleiros Costeiros no Recôncavo da Bahia. **IRRIGA**, v. 24, n. 4, p. 770-780, 2019.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 9. ed. Washington: United States Department of Agriculture. p. 332, 2003.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ROMERO-RUIZ, A.; LINDE, N.; BARON, L; BREITENSTEIN, D.; KELLER, T.; OR, D. Lasting Effects of Soil Compaction on Soil Water Regime Confirmed by Geoelectrical Monitoring. **Water Resources Research**. p. 1-25, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W, G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed, rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573p., 2017.

TIAN, Z.; KOOL, D.; REN, T.; HORTON, R.; JOSHUA, L. Approaches for estimating unsaturated soil hydraulic conductivities at various bulk densities with the extended Mualem-van Genuchten model. **Journal of Hydrology**, v. 572, p. 719–731, 2019.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.

VASCONCELOS, R. F. B; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade. Physical quality of Yellow Oxisol of a coastal plain under different management systems in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.18, n.4, p.381-386, 2014.

CAPÍTULO II

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MANDIOCA TOLERANTE À SECA

SELECTION OF DROUGHT TOLERANT CASSAVA GENOTYPE

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta de grande relevância socioeconômica para o Brasil e diversos outros países do mundo. Suas raízes são utilizadas em múltiplas finalidades, servindo tanto para alimentação humana quanto para nutrição animal; dela se aproveita quase tudo, desde suas raízes de reserva até a parte aérea. A procura por genótipos de mandioca adaptados às condições de déficit hídrico é um grande desafio para produção sustentável e rentabilidade dos mandiocultores. A análise das entradas e saídas de água no solo ao longo do tempo de cultivo da mandioca permite reunir informações para um melhor entendimento das necessidades hídricas da cultura e escolha de genótipos e/ou variedades mais adaptados às condições de baixa umidade do solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas, BA. Objetivou-se com o presente estudo caracterizar a eficiência do uso da água de 10 genótipos e 2 variedades de mandioca. Foram instaladas 12 baterias de tubos de acesso, com três repetições cada, para quantificar a umidade do solo por meio da utilização da técnica de FDR, utilizando-se a sonda PR2/6, previamente calibrada para o solo em estudo, para monitoramento da umidade nas profundidades 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,60 m. A evapotranspiração foi obtida por meio do balanço de água no solo e a densidade de fluxo, a partir da condutividade hidráulica não saturada obtida pelo perfil instantâneo. As variedades Kiriris e Formosa e os genótipos BR 140632 e BR 140124 tiveram índices mais elevados da relação produção de raiz e da parte aérea e a maior eficiência do uso da água foi obtida pela variedade BRS Formosa.

PALAVRAS-CHAVES: balanço de água, EUA, escassez hídrica.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a plant of great socioeconomic relevance for Brazil and several other countries in the world. Its roots are used for multiple purposes, serving both human food and animal nutrition; almost everything is used from it, from its reserve roots to the aerial part. The search for cassava genotypes adapted to water deficit conditions is a major challenge for sustainable production and profitability of cassava growers. The analysis of water inputs and outputs in the soil over the time of cassava cultivation allows gathering information for a better understanding of the crop's water needs and choice of genotypes and/or varieties more adapted to low soil moisture conditions. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Federal University of Recôncavo da Bahia, in Cruz das Almas, BA. The objective of this study was to characterize the water use efficiency of 10 genotypes and 2 varieties of cassava. Twelve batteries of access tubes were installed, with three replications each, to quantify soil moisture through the use of the FDR technique, using the PR2/6 probe, previously calibrated for the soil under study, for monitoring moisture at depths 0.10; 0.20; 0.30; 0.40 and 0.60 m. Evapotranspiration was obtained through soil water balance and flux density, from the unsaturated hydraulic conductivity obtained by the instantaneous profile. The Kiriris and Formosa varieties and the BR 140632 and BR 140124 genotypes had higher indices of root and shoot production ratio and the highest water use efficiency was obtained by the BRS Formosa variety.

KEYWORDS: water balance, WUE, water scarcity.

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), da família das Euphorbiaceae, é uma planta perene, todavia conduzida como cultura anual ou bianual, o que oportuniza aos produtores uma maior flexibilidade na colheita (BIZABANI et al., 2021; ENESI et al., 2022).

À luz das necessidades alimentares elevadas com projeção de uma população mundial em crescimento, o adequado gerenciamento do uso da água no solo, atrelado à escolha de genótipos de mandioca mais apropriados ao uso eficiente da água, representam fatores fundamentais para a sustentabilidade da produção, pois a água atua em todos os processos fisiológicos da cultura (EWA et al., 2021).

Embora seja uma cultura tida como tolerante à seca, podendo se desenvolver e produzir em áreas com baixos índices pluviométricos, o impacto do déficit hídrico reduz, substancialmente, o crescimento e o rendimento das raízes de reserva (MANIGLIA et al., 2020), estando entre os fatores mais relevantes para a baixa produtividade mundial que é de cerca 11 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2021), ficando aquém do potencial da espécie que pode ultrapassar 80 t ha⁻¹, quando conduzida em condições ótimas (FAO, 2018).

Assim o balanço da água no solo caracteriza-se como uma relevante ferramenta para avaliar a intensidade das entradas e saídas de água em um volume de solo de interesse, resultando na definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, relacionando-se não só ao conhecimento dos principais fatores que o compõe (variação da armazenagem de água no solo, precipitação, evapotranspiração, drenagem interna e ascensão capilar), bem como à medida temporal da umidade do solo (LIBARDI, 2018) utilizando-se variadas metodologias para esta finalidade.

Dentre os métodos indiretos para quantificar a umidade do solo, os mais utilizados são os da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), ambos embasados na constante dielétrica do solo, K_a , (SOUZA et al., 2016). Conforme estes mesmos autores essas técnicas têm sido bastante requeridas nas avaliações e pesquisas, devido à facilidade e precisão, possibilidade de acoplamento a um sistema de coleta de dados, além da rapidez e segurança para o operador. A sonda de capacitância

Profile Probe PR2/6, utilizada neste trabalho, é um exemplo do método indireto de medida de umidade do tipo FDR.

A evapotranspiração real da cultura, posicionada como a incógnita do balanço de água no solo, cuja sua determinação é obtida mediante a variação de armazenagem de água no perfil do solo (BRITO et al., 2009), compõe o principal parâmetro de interesse do balanço para o levantamento de genótipos melhores produtivos em biomassa em relação a quantidade de água perdida para a atmosfera, ou seja: a eficiência do uso da água do solo; Ortiz-Bohea et al., (2021).

Portanto, objetivou-se com o presente estudo caracterizar a eficiência do uso da água de 10 genótipos e 2 variedades de mandioca por meio do balanço de água no solo, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas-BA.

3.1. MATERIAL E MÉTODOS

3.1.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, localizada em Cruz das Almas, BA (coordenadas geográficas: 12°40'39" de latitude Sul e 39°06'26 de longitude Oeste, altitude de 220 m); em uma área que se encontra em cessão à Embrapa Mandioca e Fruticultura, Empresa Pública, também sediada em Cruz das Almas, BA, e que conduz no espaço o Banco Ativo de Germoplasma (BAG), e o projeto de melhoramento genético de mandioca voltado para diferentes biomas brasileiros, em variados ensaios de avaliação e seleção genotípica, entre eles o ensaio avançado, no qual foi inserido este estudo.

3.1.2. Genótipos avaliados e manejo da cultura

Foram avaliados dez genótipos (BR 170662, BR 171216, BR142542, BR 171219, BR 140124, BR 172010, BR 171259, BR 140632, BR 17S13071 e BR171305) e duas variedades (BRS-Formosa e BRS-Kiriris) de mandioca, em um delineamento experimental inteiramente casualidade, com três repetições. A área foi preparada com antecedência de 60 dias do plantio para a incorporação de calcário dolomítico (2 t ha^{-1}) – mediante arado e grade aradora – visando à

correção da acidez do solo, conforme recomendação da análise do solo, a qual também foi utilizada nos cálculos das adubações.

Às vésperas do plantio, a área foi nivelada e nela abertos sulcos para adubação fosfatada e plantio das manivas com 15 cm de comprimento. Realizou-se o plantio no dia 05 de agosto de 2020, um dia após a aplicação de herbicida pré-emergente. As adubações nitrogenada e potássica foram aplicadas 45 dias pós-plantio. Os dados de chuva foram coletados por pluviômetro instalado no centro da área experimental.

3.1.3. Monitoramento da água no solo

Foram instaladas, no espaço experimental, 12 baterias de tubos de acesso, cada uma com três tubos, para quantificar a umidade do solo por meio da técnica de FDR, utilizando a sonda multisensores PR2/6, a qual foi previamente calibrada, a partir dos dados de potencial do perfil instantâneo, convertidos em umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e equiparando-as aos dados (Volts) obtidos simultaneamente pela sonda PR2/6 nas mesmas profundidades (0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,60 m).

Cada uma dessas baterias de tubo de acesso foi locada em parcela de cultivo de 6 por 6 m (36m^2) dos respectivos genótipos e variedades, que possuíam espaçamento de plantio de 0,80 m entre plantas e 0,90 m entre fileiras, totalizando 60 plantas cada.

Os tubos de cada conjunto foram distribuídos aleatoriamente, excluindo-se as bordaduras, e localizando-os no ponto médio entre plantas. A inserção dos tubos no solo foi realizada após abertura de furo no solo com 1,12 m de profundidade, com auxílio de trado de diâmetro equivalente aos tubos.

Foram introduzidos três tubos de acesso de PVC, com 32 mm de diâmetro e 1,15 m de comprimento, permanecendo 0,03 m acima do solo. Previamente à introdução dos tubos, a extremidade inferior de cada um deles foi vedada colando-se uma peça circular de material e diâmetro semelhantes ao do tubo; na abertura superior foi acoplado um cap, de modo a impedir a entrada de água – via chuva ou ascensão capilar – nos tubos de acesso; contudo havia constantes verificações e secagens eventuais concentrações de vapor d'água na parte superior do tubo.

3.1.4. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (E_{to}), foi obtida conforme método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al. 1998), com base nos dados diários da estação meteorológica, instalada no Campus da UFRB de Cruz das Almas-BA, distando cerca de 3 km do local do experimento. A E_{to} , juntamente com os dados de precipitação e da capacidade de água disponível do solo (CAD), compõe informações essenciais para a determinação do balanço hídrico climatológico, o qual também foi também objeto deste estudo, sendo de fundamental importância para o levantamento do déficit hídrico para a cultura da mandioca no período experimental.

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que E_{to} é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); R_n é saldo de radiação à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G é a densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T é a temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade de vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a é a pressão parcial de vapor (kPa); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.2.1. Caracterização do tempo no período experimental de campo

Na Figura 1 estão apresentados os valores médios mensais da umidade relativa do ar e das temperaturas médias, durante o período experimental.

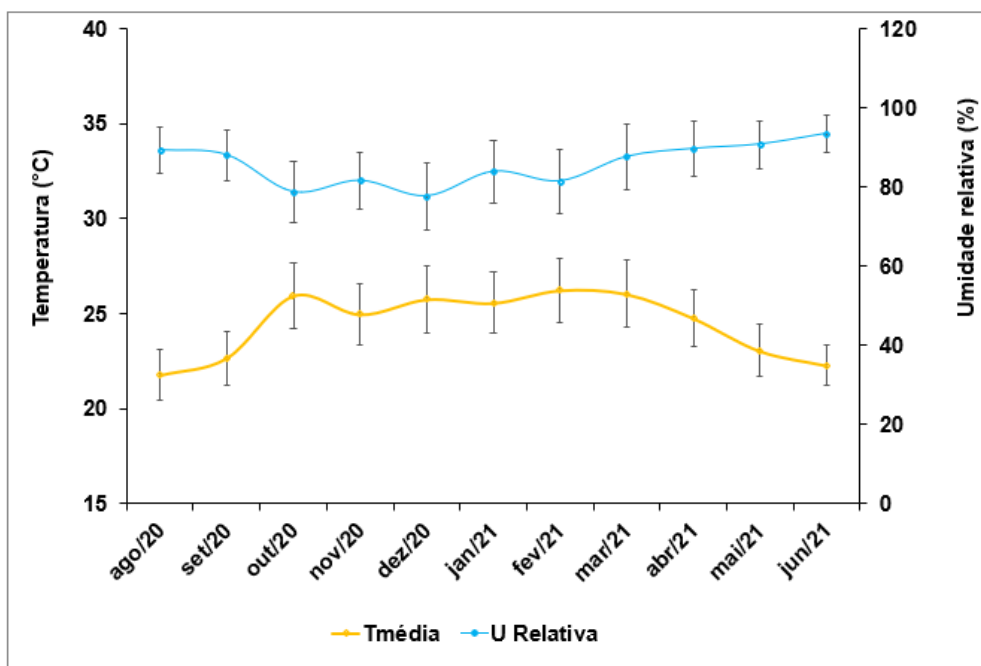


Figura 1. Valores médios mensais de temperatura (mínima, média e máxima) e umidade relativa durante o período de cultivo dos genótipos, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

Na Figura 2 estão apresentados o Déficit de pressão de Vapor (DPV), lâminas mensais de precipitação e Evapotranspiração de Referência (ETo) durante o período experimental.

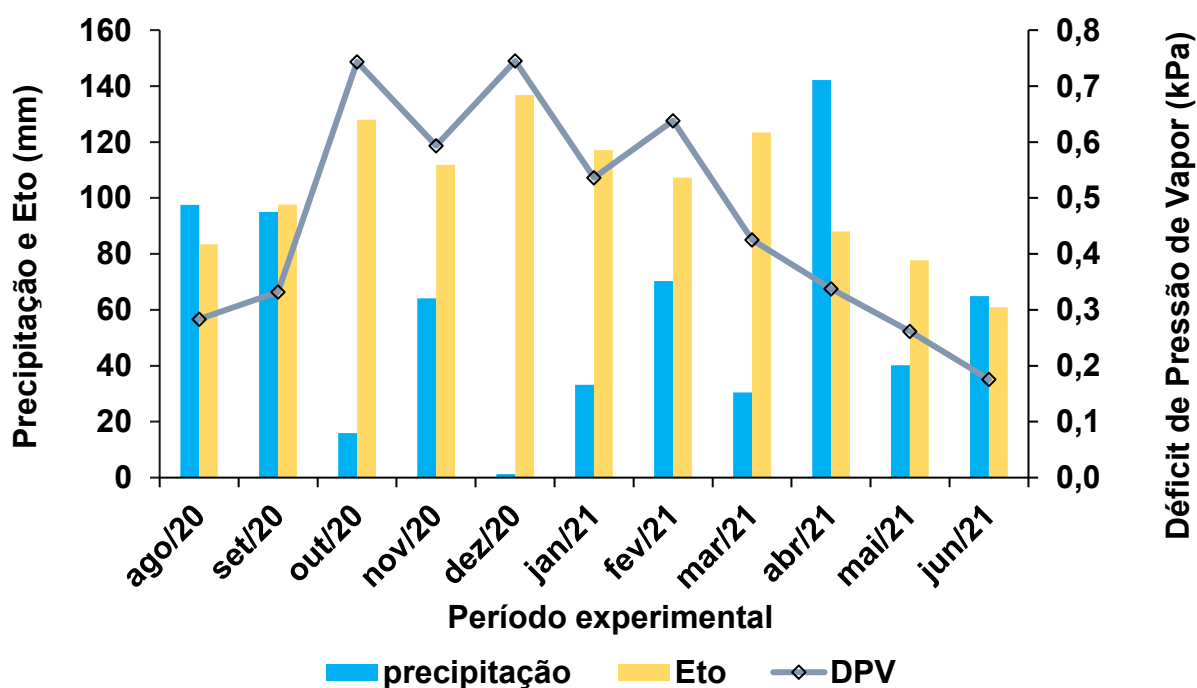


Figura 2. Déficit de pressão de Vapor (DPV), lâminas mensais de precipitação e Evapotranspiração de Referência (ETo) durante o período de cultivo dos genótipos

de mandioca em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

3.2.2. Balanço hídrico climatológico

Foi determinado o Balanço hídrico climatológico decendial para o período experimental, onde, por meio da capacidade de água disponível do solo (CAD), dos dados de precipitação na área experimental, da Evapotranspiração de referência, obtida conforme método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al. 1998) e do coeficiente de cultura (Kc) para o ciclo de cultivo da mandioca conforme Coelho Filho (2020), pode-se determinar, mediante planilha eletrônica do excel, tanto a Evapotranspiração potencial da cultura (Etc) da mandioca quanto informações de déficit hídrico para as condições reais de campo.

3.1.5. Balanço de água no solo

O balanço de água no solo foi obtido por meio do monitoramento diário da umidade do solo no período das chuvas frequentes e duas vezes por semana no período seco; contudo mesmo nesta época, em caso de ocorrência de chuva, fazia-se monitoramento extra da umidade do solo. O período de avaliação da umidade do solo foi do dia 05 outubro de 2020 a 09 de junho de 2021, totalizando 8 meses e 4 dias de monitoramento e dez meses do plantio.

As leituras de umidade do solo, em período seco, foram realizadas sempre às segundas e quintas-feiras e, extraordinariamente, no dia seguinte após advento de chuva e, em período de chuvas frequentes, as leituras foram diárias. Eram realizadas três leituras por tubo de acesso (Figura 3a), girando-se a sonda 120° entre leitura (Figuras 3b e 3c), totalizando: 9 leituras por bateria e 108 no experimento, por dia de monitoramento visando a utilizar a média das três leituras das possíveis variações de medida da umidade do solo, conforme descrito no manual SM 150T Soil Moisture Sensor versão 4.2.

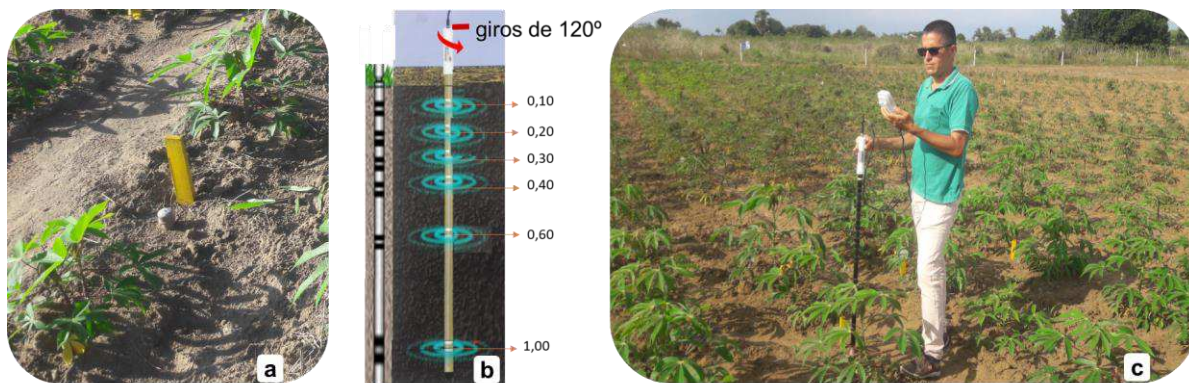


Figura 3. a - Tubo de acesso; b – ilustrações das profundidades e raio de ação e c – da utilização da sonda FDR, PR2/6.

A contabilização do balanço de água foi realizada conforme a equação (2) a seguir:

$$\Delta h = P + I + AC - DI - ET_R \pm R_S \pm R_{Sb} \quad (2)$$

Em que Δh é a variação da armazenagem de água no solo; P é a precipitação, em mm; I é a irrigação, em mm; AC é a ascensão capilar, em mm; DI é a drenagem interna, em mm; ET_r é a evapotranspiração real da cultura, em mm e R_s e R_{sb} são, respectivamente, o deflúvio superficial e subsuperficial, em mm.

A profundidade de controle considerado foi de 0,00 à 0,50 m, correspondente à profundidade efetiva da mandiocultura a partir dos 60 DAP, conforme Coelho Filho (2020). Todas as unidades dos componentes do balanço foram convertidas em milímetro (mm).

Desses processos, não foram computados a irrigação (I), haja vista o cultivo ter sido conduzido em sequeiro, nem o deflúvio superficial (R_s) nem o subsuperficial (R_{sb}), pois a área é plana, assim, resultando na equação.

$$ET_r = P + AC - DI \mp \Delta h \quad (3)$$

A partir desta equação (3), determinou-se a evapotranspiração real dos genótipos ET_r , procedendo-se da maneira a seguir descrita:

A precipitação foi determinada com leituras em pluviômetro, instalado na área experimental;

A ascensão capilar (AC) e a drenagem interna (DI), analisada para a profundidade de 0,50 m, serão obtidas mediante os cálculos da densidade de fluxo, em conformidade à equação de Buckingham-Darcy, descrita de maneira

simplificada por REICHARDT (1985), como segue:

$$q_z = -K(\theta)_{0,5} \frac{\Delta\varphi_t}{\Delta Z} \quad (4)$$

Em que q_z é a densidade fluxo de água; $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo não-saturado na profundidade Z e $\frac{\Delta\varphi_t}{\Delta Z}$ é gradiente de potencial total da água no solo, na profundidade Z , resultando na seguinte equação:

$$q_z = K(\theta)_{0,5} \left[\frac{\varphi_{t0,40} - \varphi_{t0,60}}{0,20} \right]_{0,5} \quad (5)$$

Em que $K(\theta)_{0,5}$ é a condutividade hidráulica do solo não-saturado em função da umidade média do solo, determinada pela equação (6), na profundidade de 0,50 m, obtida por meio do perfil instantâneo.

$$K(\theta)_{0,5} = 19,00 e^{70,42(\theta-0,297)} \quad (6)$$

$\varphi_{t0,4}$ - potencial da água no solo na profundidade de 0,40 m;

$\varphi_{t0,6}$ - potencial da água no solo na profundidade de 0,60 m.

A variação de armazenagem será considerada até a profundidade de 0,50 m por meio dos valores médios de umidade, obtidos pela sonda FDR PR2/6. foi utilizada a regra do trapézio, Equação (7); considerando que a leitura de cada sensor da sonda representa um raio médio de ação de 0,05 m, conforme manual da sonda PDR, PR2/6; SM 150T Soil Moisture Sensor. Utilizou-se, para obtenção do armazenamento, os dados do monitoramento de umidade das profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, determinando-se os cálculos de armazenagem pela regra do trapézio (LIBARDI, 2018) para a profundidade total de 0,00 a 0,50 m.

$$h_z = (1,5\theta_{0,10m} + \theta_{0,20m} + \theta_{0,30m} + 1,5\theta_{0,40m}) \quad (7)$$

As leituras realizadas pelos sensores no corpo da FDR, nos tubos de acessos e profundidades definidas eram registradas por um data logger em milivolts (mV), sendo convertidas para umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$), por meio das curvas de calibração da sonda, calibrada para cada profundidade em estudo, mediante equiparação dos dados de umidade do solo ($m^3 m^{-3}$), obtidos por VAN GENUCHTEN (1980) por meio dos dados de tensão dos manômetros de mercúrio ao longo do tempo de redistribuição da água no perfil instantâneo coberto e descoberto, associando-se às leituras realizadas simultaneamente pela sonda FDR PR2/6, convertidas de milivolts para volts (Figura 4).

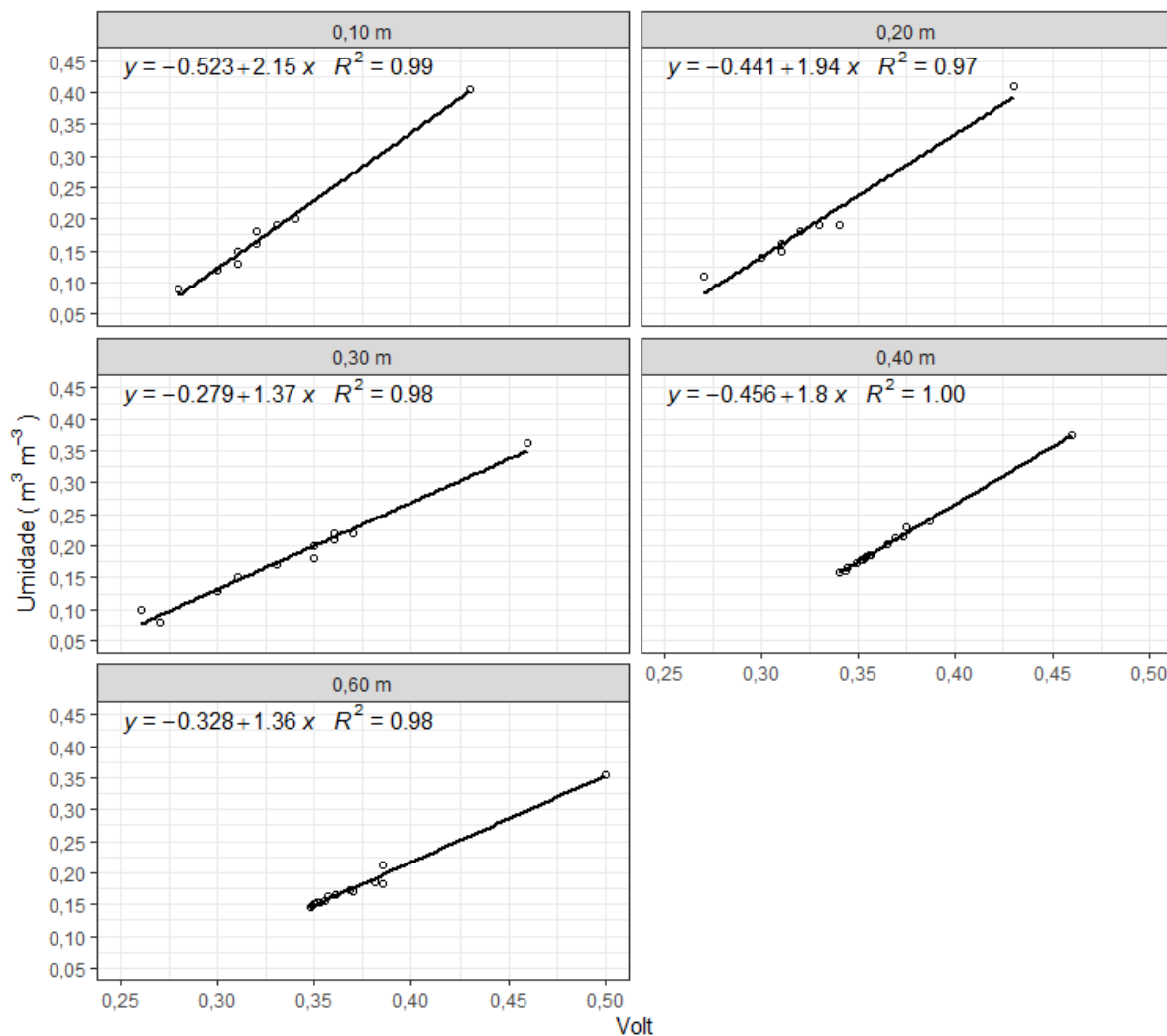


Figura 4. Curvas de calibração sonda FDR PR2/6 para as profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,60 m, com conversão dos dados em Volts para umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

3.1.5.1. Evapotranspiração real (Etr) dos genótipos

De posse dos dados de precipitação, densidade de fluxo (drenagem interna e ascensão capilar) e variação de armazenagem da água no solo foi isolada e determinada a componente evapotranspiração real para cada genótipo e variedade, conforme Equação 3.

3.1.5.2. Eficiência do uso da água

Foi obtida a eficiência do uso da água – EUA – com o quociente da relação da produtividade de raiz de reserva com a evapotranspiração real de cada genótipo, conforme Loomis (1983); Ortiz-Bohea et al. (2021).

$$EUA = \frac{Prod}{Etr} \quad (8)$$

Em que EUA é a eficiência de uso da água ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$); Prod é a produtividade de raízes tuberosas de cada tratamento (kg ha^{-1}) e Etr é a evapotranspiração real de cada genótipo (mm/ha).

3.1.6. Levantamento de dados biométricos

Os dados biométricos foram obtidos a partir das duas plantas adjacentes aos tubos de acesso da sonda FDR, portanto duas por repetição, totalizando 6 plantas para cada genótipo e variedade. Foram realizados em quatro períodos, com a obtenção dos seguintes dados de planta: número e diâmetro (mm) da haste; área foliar total (m^2) e produtividade (kg ha^{-1}), esta última realizada apenas aos dez meses pós plantio. O diâmetro da haste foi obtido com paquímetro digital a 0,10 m de altura do nível do solo; O índice de retenção foliar, determinado a partir do quociente das folhas retidas em relação ao somatório do número de folhas produzidas (retidas e abscisão) e a produtividade foi determinada pela pesagem das raízes de reserva de 6 plantas por tratamento.

A área foliar total das plantas foi estimada por método não destrutivo, por meio de medidas biométricas da largura e comprimento médios do lóbulo central e, a partir desses dados, os genótipos foram classificados em quatro grupos (ovoide, obovada, lanceolada e reta ou linear) em conformidade à relação do comprimento e largura do lóbulo central da folha, escolhendo-se o melhor modelo por modelagem matemática, conforme Guimarães et al., (2019). A área foliar foi obtida conforme metodologia aplicadas em equações proposta por Guimarães et al. (2019) e o IAF foi calculado como a razão entre a área foliar do dossel e a área do solo, (PHONCHAROEN et al., 2019).

No dia 09 de junho também foram levantados dados biométricos de 6 plantas por parcela experimental, incluindo-se aí dados de produção com a colheita das plantas adjacentes aos tubos de acesso.

3.1.7. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância por meio do teste F e quando significativo, as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), pelo software R Core Team (2021) utilizando o pacote Expdes.pt (FERREIRA et al., 2021) e, de forma complementar, para elaboração de gráficos e tabelas, o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016).

3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2.3. Crescimento e produção dos genótipos de mandioca

Pelo teste F da análise de variância (Tabela 1) conclui-se que houve efeito altamente significativo ($p < 0,001$) da fonte de variação genótipo para as variáveis respostas altura de planta (ALT); diâmetro da haste (DH); índice de área foliar (IAF); produção da parte aérea (PPA); produção de raiz de reserva (PRR) dos genótipos estudados, em todas as avaliações efetuadas.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para características de crescimento e produção dos genótipos de mandioca, Cruz das Almas, BA, 2021.

	FV GL	Genótipo (G) 11	Erro 24	CV (%) -
Quadrados médios				
ALT	60 DAP	407,61***	37,23	10,7
	120 DAP	921,28***	58,10	8,6
	180 DAP	2199,18***	82,44	8,5
	300 DAP	5578,6***	185,70	8,5
DH	60 DAP	7,39***	1,53	10,2
	120 DAP	13,34***	1,51	8,4
	180 DAP	17,85***	2,38	9,5
	300 DAP	28,08***	2,97	23,4
IAF	60 DAP	0,11***	0,07	30,7
	120 DAP	1,02***	0,09	56,2
	180 DAP	0,47***	0,09	39,1
	300 DAP	1,87***	0,21	49,9
	PPA	43,32***	7,11	29,9
	PRR	19,21***	4,17	14,6
	EUA	154,04***	21,86	14,3

ALT - altura de planta; DH - diâmetro da haste a 10 cm da superfície do solo; IAF –

índice de área foliar; DAP – dias após o plantio; PPA – Produção da parte aérea e PRR – produção de raízes de reserva; EUA – eficiência de uso da água; CV - coeficiente de variação e *** significativo ($p \leq 0,001$).

3.2.3.1. Dados biométricos

Conforme a **Figura 5** o genótipo BR 170662 se destacou na altura de planta juntamente com os genótipos BR 171219, BR 140124 e BR 17S13071 e com estes e o genótipo BR 171216, sem diferença estatística entre si, respectivamente, aos 60 DAP e 90 DAP. O genótipo BR 170662 apresentou maior altura média de planta aos 180 e 300 DAP com valores de 1,53 e 2,34 m, respectivamente. A variedade BRS Kiriris e os genótipos BR 172010 e BR 140632, seguidos da variedade Formosa foram os tratamentos que apresentaram menores alturas de planta, sendo que os três primeiros não se diferenciaram estatisticamente em nenhuma das avaliações, enquanto a Variedade BRS Formosa apenas os superou na segunda avaliação (90 DAP).

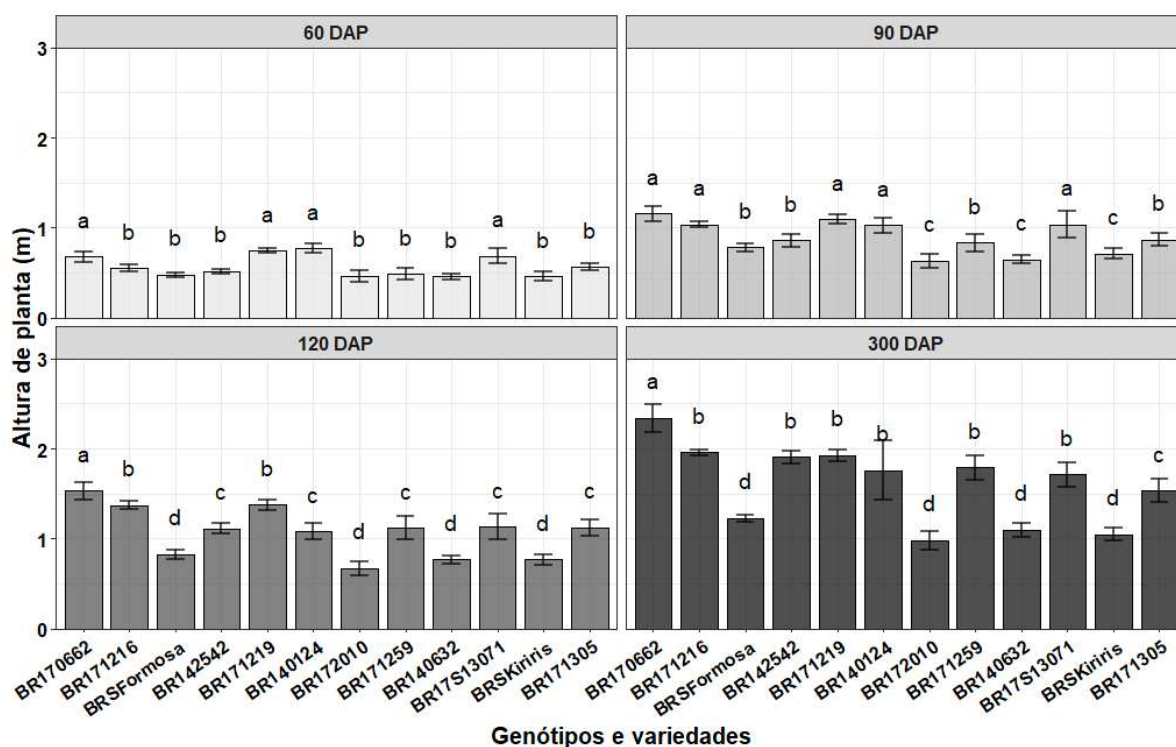


Figura 5. Altura dos genótipos em 4 períodos de avaliação, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA. As médias, de cada período de avaliação, seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A partir da **Figura 6** Observa-se que os genótipos BR 170662; BR 171216; BR 142542 e BR 140124 apresentaram maiores diâmetro de haste, sendo

superiores aos demais genótipos/variedades aos 90 DAP e 120 DAP, seja equiparando-se aos demais que apresentaram maiores diâmetro de haste aos 60 DAP e 300 DAP. A variedade BRS Kiriris seguida da BRS Formosa e dos genótipos BR 172010 e BR 140632 apresentaram menores diâmetro de haste, os quatro não se diferenciando estatisticamente entre si aos 60 DAP, 90 DAP e 120 DAP, sendo a variedade BRS Kiriris foi inferior aos 300 DAP.

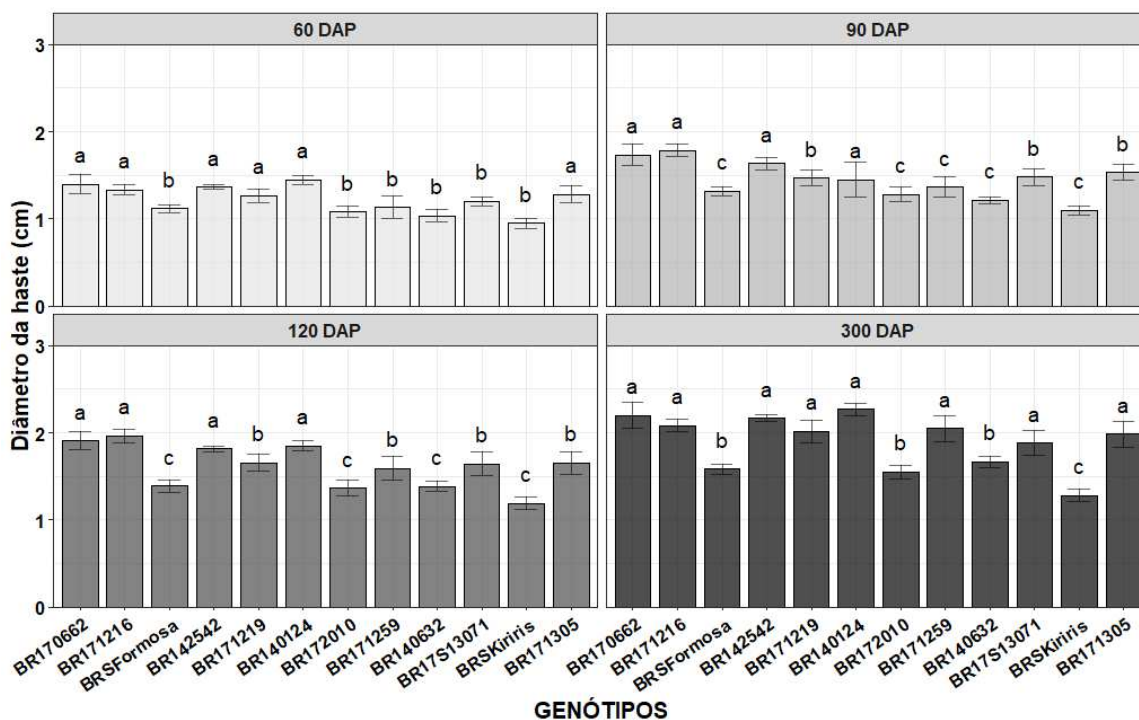


Figura 6. Diâmetro da haste dos genótipos em 4 períodos de avaliação, localizado em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA. As médias, de cada período de avaliação, seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Analisando a **Figura 7**, percebe-se que não houve diferença estatística do índice de área foliar (IAF) entre os genótipos/variedades aos 60 DAP, o que pode ser explicado pelo desenvolvimento inicial da espécie ser dependente da maniva semente, conforme observado por Alves (2002) que realizou estudo de botânica e fisiologia da mandioca, e também por, neste período, o déficit hídrico ter sido pouco relevante, (PHONCHAROEN et al., 2019), não promovendo, portanto, diferenças significativas do IAF entre os genótipos aos 60 DAP.

O contrário foi percebido nas demais avaliações, quando os genótipos passaram por déficits hídricos mais substanciais, havendo maior abscisão foliar e dormência no período seco, o que, aliado as características genéticas de cada

genótipo, resulta em um tempo de resposta de rebrota diferente dos genótipos quando a condição de déficit hídrico é cessada (PHONCHAROEN et al., 2019; EZUI et al., 2018).

Constatou-se que o genótipo BR 170662 teve maior IAF que os demais tratamentos aos 120 DAP e o mesmo, juntamente com os genótipos BR 171216; BR 142542; BR 171219; BR 17S13071 e BR 171305 foram os que apresentaram maior IAF na terceira avaliação (180 DAP).

No entanto aos 300 DAP do IAF, foram os genótipos BR 142542 e BR 17S13071, sem diferença estatística entre si, que superaram todos os demais tratamentos. O BR 171219 e BR 17S13071 foram os genótipos que apresentaram menor IAF aos 120 DAP, sem diferença estatística entre si, com a particularidade que para o BR 17S13071 o IAF foi equivalente a zero. Os genótipos BR 172010 e BR 140632, seguidos dos genótipos BR 140124, BR 171259 e BR 140632 e das variedades BRS Kiriris e BRS Formosa que apresentaram menores resultados de IAF aos 180 DAP e 300 DAP, todos estes sem diferença estatística, aos 300 DAP e os dois primeiros genótipos inferiores aos demais aos 180 DAP.

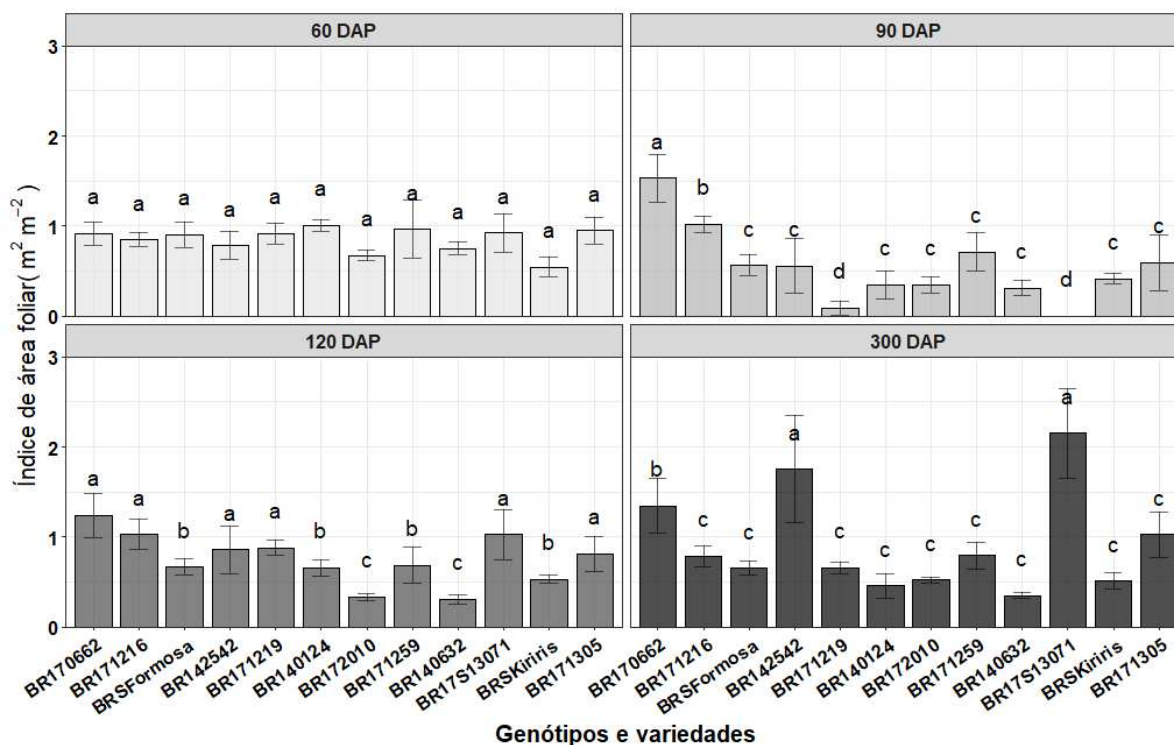


Figura 7. Índice de área foliar (IAF) dos genótipos de mandioca em quatro períodos de avaliação, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA. As médias, de cada período de avaliação, seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

De acordo com a **Figura 8** constata-se que o genótipo com a menor produção de raiz de reserva foi o genótipo BR 142542 com apenas 7,6 t ha⁻¹, seguidos dos genótipos BR 172010, BR 17S13071 e BR 171305, estes sem diferença estatística entre si. Para os demais genótipos e variedades, sem diferença estatística entre si, foram obtidos os maiores rendimentos de raízes de reserva.

Observa-se também que a produtividade total da parte aérea dos tratamentos, depende-se que os genótipos BR 170662, BR 171216, BR 142542, BR 171219, BR 171259, BR 17S13071 e BR 171305 foram os que produziram maior parte aérea, sem diferença estatística entre si, enquanto nos demais tratamentos observou-se as menores produtividades de parte aérea, também sem diferença estatística.

Constata-se que os melhores índices da relação produtividade das raízes de reserva dos tratamentos mais produtivos e produtividade de parte aérea são encontrados nas variedades Kiriris e Formosa com, respectivamente, 292 e 216 %, e nos genótipos BR 140632 e BR 140124 com, respectivamente, 282 e 229 %; indicando que nestes tratamentos há uma maior conversação dos fotoassimilados para produção de raízes de reserva; produto de maior interesse comercial. Entretanto o genótipo BR 142542 foi o que apresentou o menor índice (49 %) nesta relação produtividade de raiz com a produtividade da parte aérea.

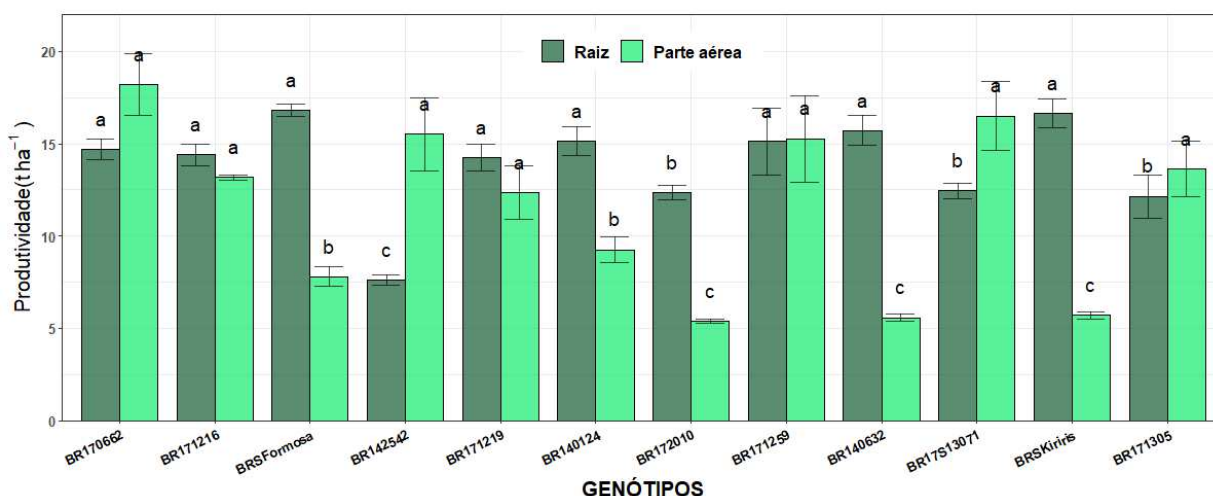


Figura 8. - Produtividade de raízes de reserva e de raízes e parte aérea (t ha⁻¹) total aos 10 meses de cultivo, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

3.2.2. Balanço hídrico climatológico

Conforme **Figura 9**, do balanço hídrico decendial para o período do início de agosto de 2020 a 09 de junho de 2021, onde a letra dos decêndios corresponde a inicial de cada mês e o número que a segue representa cada decêndio do mês. Nesta figura constata-se que a cultura da mandioca esteve submetida a um déficit hídrico que se estendeu do primeiro decêndio de outubro de 2020 até o último decêndio de março de 2021, contudo, neste intervalo, o déficit hídrico mais intenso ocorreu, em valores médios, entre o primeiro decêndio de dezembro de 2020 ao primeiro de fevereiro de 2021. Foram observados em agosto de 2020 e maio de 2021 veranicos que também proporcionaram déficit à cultura, porém pouco relevante.

A fase inicial é caracterizada como de maior sensibilidade ao déficit hídrico, pois são nesses primeiros quatro meses de cultivo, que há formação das raízes de reserva; (EZUI et al., 2018); embora na fase inicial o déficit hídrico tenha sido pouco significativo, não comprometendo a formação das raízes, ressalta-se, contudo, que a escassez hídrica nas demais fases de desenvolvimento podem também comprometer, substancialmente, os rendimentos produtivos da espécie; (EZUI et al., 2018), sendo portanto, fundamental a escolha de genótipos melhores tolerantes às condições deficitárias de umidade do solo. Para região de estudo, o período de outubro a março que coincide com maiores demandas evapotranspirativa e déficit de pressão de vapor, com menores volumes pluviométricos (D'ANGIOLELLA et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2017) o que também pode ser constatado no presente estudo.

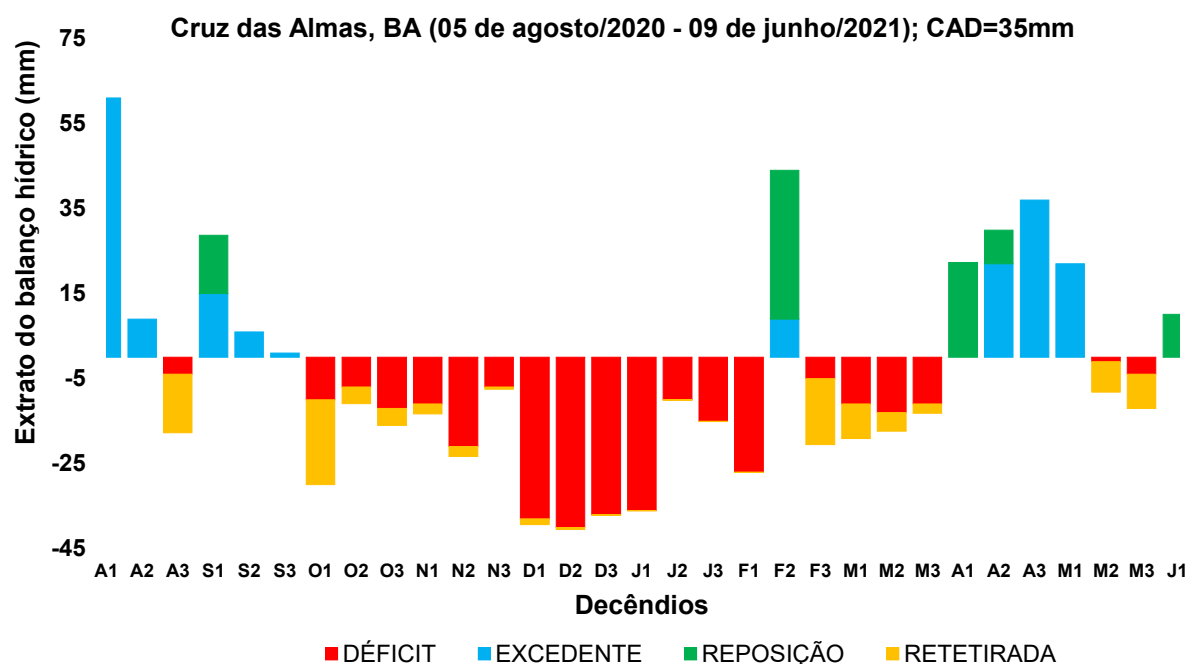


Figura 9. Balanço hídrico decencial da mandioca para o período de cultivo dos genótipos avaliados, em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

3.2.4. Balanço hídrico do solo

Analisando-se a **Tabela 2**, observa-se que os maiores valores de Etr ocorreram no primeiro e terceiro períodos, onde aconteceram, proporcionalmente a cada período, maiores volumes de precipitação pluvial. Estes valores de Etr estão próximos aos encontrados, em períodos semelhantes, por Albuquerque et al., (2018) da evapotranspiração potencial da cultura, indicando que nestes dois períodos o déficit hídrico não foi significativo. Contudo no segundo período os valores encontrados neste trabalho estão bem abaixo ao da evapotranspiração potencial da cultura, com elevados déficit hídrico para os genótipos/variedades estudados. Verifica-se as maiores drenagem interna e menores evapotranspiração real foram obtidas na variedade Formosa e no Genótipo BR 17S13071, indicando uma menor demanda hídrica para esses tratamentos. O somatório da variação do armazenamento dos três períodos, deram valores baixos para todos os tratamentos, em particular para o genótipo BR 140632, com o total de variação de armazenagem equivalente a 1,2 mm. Houve um predomínio da ascensão capilar no último período, quando também foram obtidos os maiores valores de drenagem interna.

Tabela 2. Balanço hídrico no solo para genótipos de mandioca, cultivado nos Tabuleiros Costeiros em Cruz das Almas – BA.

Genótipos	Período		Nº de dias	P	DI	AC	VARM	Etr do período	Etr mm dia ⁻¹	Desvio padrão
				----- mm -----						
BR 170662	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	1,9	16,3	-31,0	145,8	2,18	1,117
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	19,3	11,0	4,8	139,1	1,28	0,899
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	54,0	29,2	40,9	144,7	2,01	1,173
TOTAL			248	465,3	75,3	56,5	14,6	429,6		
BR 171216	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	2,9	3,5	-29,7	132,9	1,98	1,083
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	8,9	4,7	-1,4	149,4	1,37	0,826
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	33,5	11,3	40,2	148,1	2,06	1,243
TOTAL			248	465,3	45,3	19,6	9,0	430,4		
BRS Formosa	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	9,5	4,6	-25,5	123,2	1,84	0,837
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	38,0	7,9	-2,0	124,1	1,14	0,917
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	72,3	23,9	39,0	123,0	1,71	1,15
TOTAL			248	465,3	119,7	36,4	11,5	370,4		
BR 142542	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	1,1	11,8	-15,7	127,8	1,91	1,077
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	12,3	12,7	-10,8	163,4	1,50	1,05
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	28,9	43,8	40,7	184,6	2,56	1,308
TOTAL			248	465,3	42,3	68,3	14,1	475,9		
BR 171219	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	4,6	4,9	-24,1	127,1	1,90	1,037
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	5,7	8,3	-5,9	160,7	1,47	1,08
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	44,9	29,2	39,3	155,4	2,16	0,94
TOTAL			248	465,3	55,2	42,4	9,3	443,2		
BR 140124	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	0,3	6,5	-14,9	123,1	1,84	1,018
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	16,5	7,0	-12,2	154,9	1,42	0,823
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	50,4	27,0	47,9	139,1	1,93	1,081
TOTAL			248	465,3	67,2	40,5	20,9	417,1		
BR 172010	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	13,2	11,3	-24,2	123,0	1,84	0,999
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	10,8	11,1	-11,9	164,4	1,51	0,904
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	50,4	38,8	40,7	158,1	2,20	1,467
TOTAL			248	465,3	74,4	61,3	4,7	445,5		
BR 171259	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	31,2	13,4	-17,9	99,9	1,49	1,04
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	14,5	12,9	-10,3	160,9	1,48	0,843
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	30,5	35,6	41,8	173,7	2,41	1,197
TOTAL			248	465,3	76,1	61,8	13,6	434,5		
BR 140632	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	14,0	8,9	-24,0	121,3	1,81	0,797
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	14,7	6,7	-9,1	153,3	1,41	0,72
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	53,4	20,4	34,3	143,1	1,99	1,06
TOTAL			248	465,3	82,1	36,0	1,2	417,6		
BR17S13071	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	3,2	7,4	-15,4	120,8	1,80	1,028
	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	44,0	11,8	-15,5	135,5	1,24	0,873
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	69,1	28,8	39,4	130,8	1,82	0,875
TOTAL			248	465,3	116,3	48,0	8,5	387,2		
BRS kiris	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	1,7	13,8	-12,4	126,3	1,88	1,013

	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	10,1	12,2	-12,5	166,8	1,53	0,793
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	61,2	55,0	35,2	169,0	2,35	1,088
	TOTAL		248	465,3	72,9	81,0	10,3	462,1		
	05/10/2020	10/12/2020	67	102,7	2,0	27,3	-17,8	143,0	2,14	1,084
BR 171305	10/12/2020	29/03/2021	109	152,2	13,9	18,8	-4,8	161,9	1,49	0,504
	29/03/2021	09/06/2021	72	210,4	47,1	35,8	39,4	159,6	2,22	1,103
	TOTAL		248	465,3	63,0	81,9	16,8	464,6		

3.2.5. Eficiência de uso da água

Analisando-se a **Figura 10** percebe-se que a variedade BRS Formosa foi o tratamento com melhor relação kg de matéria fresca de raiz de reserva produzido por consumo de água (mm), portanto melhor eficiência de uso da água. Ressalta-se que esta variedade foi lançada em 2003, sendo o resultado do melhoramento genético de uma parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, e a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola – EBDA.

Esta variedade, além de ofertar boa produtividade, sua alta concentração de amido proporciona bons rendimentos na fabricação de farinha e fécula; é tolerante a doenças como podridão radicular e da parte aérea como manchas parda e branca e queima das folhas; (OLIVEIRA, 2016; MBARINGONG et al., 2017; MORA et al., 2019) tem hábito de crescimento ereto o que possibilita um maior adensamento e facilita a mecanização compõe algumas das relevantes características do crescente interesse de cultivos nos Tabuleiros Costeiros além da expansão para outras como alguns estados da Amazônia (OLIVEIRA, 2016; SOUZA E LIMA-PRIMO, 2019).

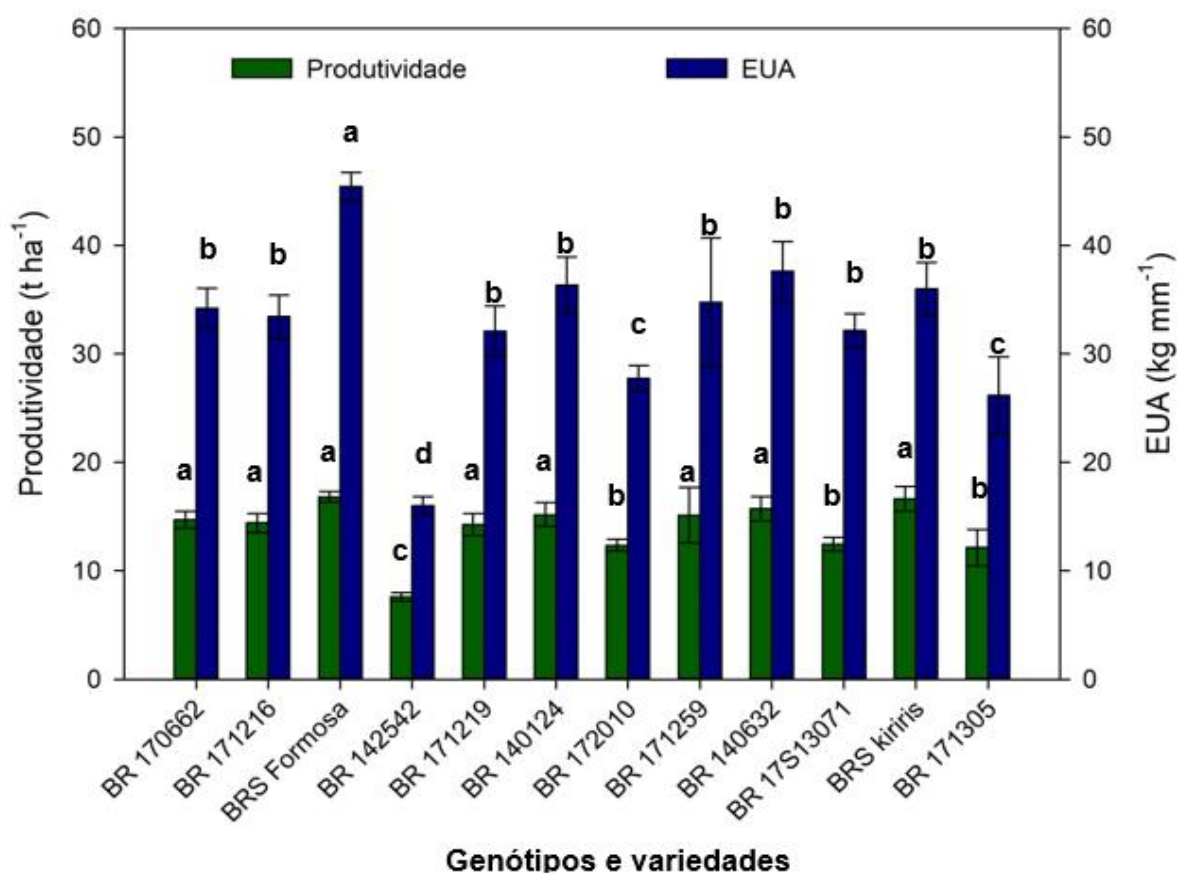


Figura 10. Eficiência de uso da água (kg/mm), em Latossolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas - BA.

3.3. CONCLUSÕES

Os genótipos BR 170662, BR 171216, BR 171219 e BR 171259, além de estarem entre os de maiores produtividade de raiz de reserva, produto de maior interesse comercial, se destacam também na produtividade da parte aérea, produto de grande potencial particularmente para alimentação animal.

As variedades Kiriris e Formosa e os genótipos BR 140632 e BR 140124 tiveram índices mais elevados da relação produção de raiz / produção da parte aérea, demonstraram ser mais eficientes na conversação dos fotoassimilados para produção de raízes de reserva, produto de maior interesse comercial.

A variedade BRS Formosa seguida do genótipo BR 17S13071 se destacaram com menores perdas de água por Evapotranspiração real durante o ciclo de cultivo e a maior eficiência do uso da água foi obtida pela BRS Formosa com 45,43 kg de raiz de reserva produzido por hectare para cada mm de água evapotranspirada.

3.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56. FAO, Rome, 1998.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R. J., et al. Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI: 2002. Cap. 7, p. 139–161.

BIZABANI, C.; ROGANS, S. J.; REY, M. E. C. Differential miRNA profiles in South African cassava mosaic virus-infected cassava landraces reveal clues to susceptibility and tolerance to cassava mosaic disease. **Virus Research**, v. 303, n. 198400, p. 1-14, 2021.

BRITO, A. S., LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Water balance components in soils cropped to sugarcane, with and without nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.295-303, 2009.

COELHO FILHO, M. A. Irrigação da cultura da mandioca. Cruz das Almas, Bahia: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020. 11p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado Técnico, 172).

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. BRS Formosa. Cruz das Almas, 2016. Folder.

ENESI, R. O.; HAUSER, S.; PYPERS, P.; KREYE, C.; TARIKU, M.; SIX, J. Understanding changes in cassava root dry matter yield by different planting dates, crop ages at harvest, fertilizer application and varieties. **European Journal of Agronomy**, v. 133, n. 126448, p. 1-9, 2022.

EWA, F.; ASIWE, J. N. A.; OKOGBENIN, E.; OGBONNA, A. C.; EGESI, C. KASPar SNP genetic map of cassava for QTL discovery of productivity traits in moderate drought stress environment in Africa. **Scientific Reports**. v. 11, n. 1, p. 1–15, 2021.

EZUI, K.S.; LEFFELAAR, P.A.; FRANKE, A.C.; MANDO, A.; GILLER, K.E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. **Field Crops Research**, v. 219, p. 256–272, 2018.

FAOSTAT. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO Roma, Itália. **Crops and livestock products. 2020** Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

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.

GUIMARÃES, M. J. M.; COELHO FILHO, M. A.; JUNIOR, F. D. A. G.; SILVA, M. A. M.; ALVES, C. V. O.; LOPES, I. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. v. 62, p. 1-5, 2019.

H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

LOOMIS, R. S. Crop manipulations for efficient use of water: An overview. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R.; SINCLAIR, T. R. **Limitations to efficient water use in crop production**. (ed). American Society of Agronomy, Crop Society of America, and Soil Science Society of America, Madison WI. p.345- 374, 1983.

MANIGLIA, B. C.; LIMA, D. C.; MATTA JUNIOR, M. D.; BAIL, P. L.; BAIL, A. L.; AUGUSTO, P. E. D. Preparation of cassava starch hydrogels for application in 3D printing using dry heating treatment (DHT): A prospective study on the effects of DHT and gelatinization conditions. **Food Research International**, v. 128, n. 108803, p. 1-11, 2020.

MBARINGONG, G.; NYABOGA, E.; WANG, V.; KANDUMA, E. Evaluation of Selected Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Cultivars Grown in Kenya for Resistance to Bacterial Blight Disease. **World Journal of Agricultural Research**. v. 5, n. 2, p. 94–101, 2017.

MORA, R.; RODRIGUEZ, M.; GAYOSSO, L.; LÓPEZ, C. Using in vitro plants to study the cassava response to *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis* infection (2019). **Tropical Plant Pathology**. v.44, p. 423-429, 2019.

ORTIZ, A.; AULT, T. R.; CARRILLO, C. M.; CHAMBERS, R. G.; LOBELL, D. B. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. **Nature Climate Change**. v. 11, p. 306–312, 2021.

PEIXOTO, C. P. Mandioca. In:CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. Piracicaba: Nobel, p.109-126, 2009.

PHONCHAROEN, P.; BANTERNG, P.; VORASOOT, N.; JOGLOY, S.; THEERAKULPISUT, P.; HOOGENBOOM, G. The Impact of Seasonal Environments in a Tropical Savanna Climate on Forking, Leaf Area Index, and

Biomass of Cassava Genotypes. **Agronomy**. v. 9, n. 1, p. 1-19, 2019.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.

SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; 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. v. 1, n.1, p. 26-42, 2016.

SOUZA, E. D. & LIMA-PRIMO, H. E. **BRS Formosa, BRS Kiriris e BRS Mulatinha: Novas Cultivares de Mandioca de Indústria para Cultivo em Roraima**. Boa Vista\RR: Embrapa Roraima, 2019. 5p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 85).

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.