

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE-IEAA
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA-CVRM
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ENERGIA INTEGRAL E CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE SOLOS SOB
CULTIVO DE AÇAÍ EM DIFERENTES POSIÇÕES DA PAISAGEM NO SUL DO
AMAZONAS**

MARCOS SALATIEL VALENTE MACEDO

HUMAITÁ-AM
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE-IEAA
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA-CVRM
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ENERGIA INTEGRAL E CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE SOLOS SOB
CULTIVO DE AÇAÍ EM DIFERENTES POSIÇÕES DA PAISAGEM NO SUL DO
AMAZONAS**

MARCOS SALATIEL VALENTE MACEDO

Monografia apresentada à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como parte das exigências do Curso de Agronomia para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Campos Mantovanelli

HUMAITÁ-AM
2023

Ficha Catalográfica

M141e Macedo, Marcos Salatiel Valente
Energia integral e caracterização hidráulica de solos sob cultivo de açaí em diferentes posições da paisagem no sul do Amazonas / Marcos Salatiel Valente Macedo . 2023
34 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Bruno Campos Mantovanelli
TCC de Graduação (Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Solos. 2. Energia Integral. 3. Retenção de água. 4. Açaizais. I. Mantovanelli, Bruno Campos. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

MARCOS SALATIEL VALENTE MACEDO

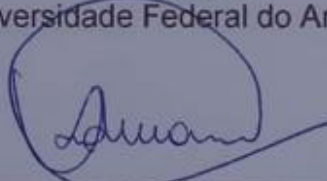
**ENERGIA INTEGRAL E CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE SOLOS
SOB CULTIVO DE AÇAÍ EM DIFERENTES POSIÇÕES DA PAISAGEM
NO SUL DO AMAZONAS**

Monografia apresentada à
Universidade Federal do Amazonas
(UFAM), como parte das exigências
do Curso de Agronomia para
obtenção do título de Bacharel.

Trabalho de conclusão de curso apresentado e aprovado em 29/06/2023
Com banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO CAMPOS MANTOVANELLI
Data: 07/07/2023 12:55:32-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Bruno Campos Mantovanelli
Orientador
Universidade Federal do Amazonas



Váirton Radmann
Membro Examinador
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
gov.br RENATO FRANCISCO DA SILVA SOUZA
Data: 07/07/2023 10:07:15-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Renato Francisco da Silva Souza
Membro Examinador
Universidade Federal do Amazonas

HUMAITÁ-AM
2023

DEDICATÓRIA

À Deus pela bênção da vida, à minha mãe Maria Ivete Soares, pelo carinho, paciência e por todo amor, ensinamentos e apoio, aos meus tios Keith Soares Valente e Amazonino Lemos de Castro por seu suporte nessa jornada em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que me deu suporte e um caminho a seguir, sendo um segundo lar e meu objeto de crescimento profissional.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Bruno Campos Mantovanelli, pela confiança, orientação e paciência ao lidar comigo durante essa fase final da vida acadêmica.

Leia Beatriz Vieira Bentolila, nos momentos de dificuldade cuidou de mim física e emocionalmente, agradeço pelo carinho amor que me deu incondicionalmente nos últimos anos.

Aos meus amigos que me ajudaram a crescer como aluno e como pessoa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	4
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo geral.....	4
3.2. Objetivos específicos	4
4. REFERENCIAL TEÓRICO	5
4.1. A cultura do açaí no Amazonas e os recursos hídricos oriundos da irrigação	5
4.2. Interação solo-planta-atmosfera.....	6
4.3. Dinâmica de água no solo.....	8
4.4. Caracterização e importância da Energia integral e Índice S nos estudos hidráulicos de solos	9
4.5. Limitações físicas e estruturais dos solos Amazônicos que afetam a dinâmica de água no solo	10
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
5.1 Caracterização do meio físico e amostragem de solos.....	11
5.2 Análises físico-hídricas	13
5.3 Energia Integral e Índice S de qualidade do solo	14
5.4 Procedimentos estatísticos	15
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
6.1 Atributos físico-hídricos.....	16
6.2 Curva de água no solo	24
6.3 Energia integral e índice S	26
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
8. REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de Caracterização da área amostral e pontos de coleta.....	13
Figura 02 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no topo alto da área experimental.....	25
Figura 03 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no ponto de meia encosta da área experimental.....	25
Figura 04 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no ponto de baixa encosta da área experimental.....	26
Figura 05 – Variação de Energia Integral em -10 e -30 kPa e Índice S no topo alto da área experimental.....	28
Figura 06 – Variação de Energia Integral em -10 e -30 kPa e Índice S no ponto de meia encosta da área experimental.....	29
Figura 07 – Variação de Energia Integral em -10 e -30 kPa e Índice S no ponto de baixa encosta da área experimental.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral Topo alto de 0m a 0,2m.....	19
Tabela 02 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral Topo alto de 0,2m a 0,4m.....	19
Tabela 03 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de Meia encosta de 0m a 0,2m.....	20
Tabela 04 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de Meia encosta alto de 0,2m a 0,4m.....	20
Tabela 05 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de baixa encosta 0m a 0,2m.....	21
Tabela 06 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de baixa encosta de 0,2m a 0,4m.	21
Tabela 07 – Coeficiente de correlação de Pearson de da área experimental 0m a 0,2m.....	22
Tabela 08 – Coeficiente de correlação de Pearson de da área experimental 0,2m a 0,4m.....	23

LISTA DE SIGLAS

CC - Capacidade de Campo

CAD – Capacidade de água disponível

CRAS - Curva de retenção de água no solo

D_p - Densidade de partículas

D_s - Densidade de partículas

D_s - Densidade do solo

EI- Energia Integral

kPa- Quilopascal

Mg m³ - Mega gramas

PMP – Ponto de murcha permanente

RESUMO

Pesquisas envolvendo a dinâmica físico hídrica e qualidade de solos que melhor se adequem ao crescimento da cultura do açaí, ainda são limitados e precisam ser externados a comunidade produtora, de modo que se consiga expor as principais limitações físicas que impactam no crescimento e desenvolvimento desta cultura em função de diferentes manejos. Objetiva-se com este estudo: quantificar a energia integral de água no solo e caracterização hidráulica de solo sob cultivo de açaí no Sul do Amazonas. A área experimental de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) está localizada na Agropecuária Rossato, BR 230 km 05, município de Humaitá-AM. A área que totaliza 18ha, estudos vêm sendo desenvolvidos com a cultivar BRS-Pará, que ao final do mês de junho/2023, as plantas completaram 3 anos e 4 meses de idade. Mini trincheiras de aproximadamente 50 cm de comprimento, 50 cm de largura e 75 cm de profundidade foram abertas para a amostragem de solos. Os perfis dos solos foram divididos em duas camadas: 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m, os pontos de coleta foram distribuídos em três diferentes condições presentes na área amostral, sendo elas uma área de baixa encosta, meia encosta e uma área de topo alto. Foram realizadas análises físico-hídricas (Porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e análise textural. Também foram realizadas análises quanto aos índices físicos de energia integral de água no Solo, Curva de retenção de águas no solo e Índice S de qualidade do solo. Foram realizadas análises de estatística descritiva com o intuito de obter as distribuições de média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e as amplitudes máximas e mínimas da distribuição quanto aos resultados obtidos. Foi elaborada a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis. Ao quantificar a energia integral de água e índice S do solo, possibilitou a compreensão do comportamento hidráulico sob cultivo de açaí e como suas limitações físicas podem afetar a disponibilidade hídrica para a cultura.

Palavras chave: Solos; Energia Integral; Retenção de água; Açaizais

ABSTRACT

Research involving the physical water dynamics and soil quality that are best suited to the growth of the açai crop are still limited and need to be externalized to the producing community, so that the main physical limitations that impact the growth and development of this culture can be exposed according to different managements. The objective of this study is: to quantify the integral energy of water in the soil and hydraulic characterization of the soil under açai cultivation in southern Amazonas. The açai (*Euterpe oleracea* Mart.) experimental area is located at Agropecuária Rossato, BR 230 km 05, municipality of Humaitá-AM. In the area that totals 18ha, studies have been developed with the cultivar BRS-Pará, which at the end of June/2023, the plants completed 3 years and 4 months of age. Mini trenches approximately 50 cm long, 50 cm wide and 75 cm deep were opened for soil sampling. The soil profiles were divided into two layers: 0.0-0.2 m and 0.2-0.4 m, the collection points were distributed in three different conditions present in the sample area, which are a low slope area, half slope and a high top area. Physical-hydric analyzes were carried out (total porosity, macroporosity, microporosity, soil density and textural analysis. Analyzes were also carried out regarding the physical indices of integral water energy in the soil, water retention curve in the soil and S index of soil quality. Descriptive statistics analyzes were carried out in order to obtain the distributions of mean, median, variance, standard deviation, coefficient of variation and the maximum and minimum amplitudes of the distribution regarding the results obtained. Pearson's correlation matrix between. By quantifying the integral energy of water and the S index of the soil, it enabled the understanding of the hydraulic behavior under açai cultivation and how its physical limitations can affect the water availability for the culture.

Keywords: Soils; Integral Energy; Water retention; Açai

1. INTRODUÇÃO

A agricultura acompanha a humanidade a muito tempo e a partir dela proveu-se alimentos para o sustento da vida humana, fonte de energia e produtos para atividades diárias, teve-se o início da relação do homem com o solo (MADKE et al., 2022). O solo foi percebido como fator indispensável para manutenção de nossas vidas, através de técnicas de manejo se tem adotado uma agricultura mais controlada no uso dos recursos naturais, praticas foram aplicadas e novas são criadas com o objetivo de uso consciente.

O Brasil é um pivô mundial no agro e um país de grande extensão territorial com regiões que possuem sua individualidade com características únicas para o cultivo agrícola (MADKE et al., 2022). No contexto amazônico, as práticas de manejo avançam com passadas lentas para serem adotadas, as atividades relacionadas ao preparo do solo, mais especificamente ao plantio direto e práticas de manejo de irrigação são pouco aplicadas a esta finalidade de intuito em aumentar a produtividade das culturas.

Neste sentido, uma das principais culturas de interesse agrícola neste contexto, e que vem recebendo destaque na sua produção, é a cultura do açaí. Desde a década de 1990 têm sido realizadas ações de manejo de açais nativos e de cultivos sustentáveis, tanto em várzea quanto em terra firme. Assim, do desenvolvimento de pesquisas, originou-se a cultivar BRS-Pará, desenvolvida pela Embrapa Amazônia Ocidental para plantios em condições de terra firme, ou seja, sem alagamento (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004).

Contudo, as pesquisas envolvendo a dinâmica físico hídrica e qualidade de solos que melhor se adequem ao crescimento desta cultura, ainda são limitados e precisam ser externados a comunidade produtora, de modo que se consiga expor as principais limitações físicas que impactam no crescimento e desenvolvimento desta cultura em função de diferentes manejos.

Sendo assim, atividades de manejo influenciam diretamente nos aspectos de melhoria da qualidade física de solos. A qualidade física de solos é definida como a capacidade de um determinado solo em atender às

exigências da planta, favorecer condições de aeração, apresentar resistência a processos antrópicos e se recuperar dos processos que possam diminuir essa capacidade (MCKENZIE et al., 2014).

Dessa forma, a qualidade física do solo é fortemente afetada pelo manejo do solo, incluindo o monocultivo, adubação e tráfego de máquinas agrícolas (VALIPOUR, 2014). Alguns dos indicadores mais importantes da qualidade física do solo são a capacidade de campo, capacidade de água disponível às plantas, porosidade de aeração, macroporosidade, densidade do solo e índice de estabilidade de agregados, pois quantificam (direta ou indiretamente) a capacidade do solo em armazenar ou fornecer água, ar e nutrientes necessários para as culturas (REYNOLDS et al., 2009).

As limitações quanto à qualidade física de solos podem ser evidenciadas de diferentes maneiras. Por exemplo, pela infiltração incipiente da água, escoamento superficial, encrostamento da superfície, aeração deficiente, pouco enraizamento. Enquanto que um solo em boa condição física apresenta o inverso das condições listadas acima (DEXTER, 2004).

Diante dessas condições, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o propósito de quantificar os efeitos das práticas de manejo adotadas e a sua influência nas propriedades físico-hídricas dos solos em nível nacional e mundial, com o critério de correlacionar propriedades físicas do solo com índices de qualidade, mas nem sempre os métodos aplicados correspondem às expectativas de se medir a real condição estrutural dos solos (LIMA et al., 2020; ERKTAN et al., 2020). Deve-se então, mensurar de forma representativa as condições físicas do solo com os resultados refletidos nos indicadores, vários desses indicadores para detectar a degradação física do solo foram identificados, testados e aplicados em todo o mundo (PAIVA et al., 2020).

As propriedades do solo relacionadas com o fluxo de água (armazenamento de água, condutividade hidráulica e infiltração), arejamento do solo (porosidade), compactação (densidade do solo e resistência à penetração) e a estrutura do solo (agregação) são os indicadores frequentemente abordados nas avaliações da qualidade física do solo

(ZORNOZA et al., 2015). São fatores que refletem diretamente na resposta de desenvolvimento e crescimento de variadas culturas de interesse.

Outro importante mecanismo que influencia na melhoria estrutural do solo, são os manejos de correção, a qual apresenta benefícios no incremento da retenção de cátions trocáveis, principalmente Ca e Mg, a uma maior profundidade ao longo do perfil do solo, capaz de propiciar melhorias na estrutura do solo para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, além da redução do teor de alumínio trocável e da formação de cargas eletrostáticas de superfície (ALVA et al.,1990), caracterizando um efeito condicionador do solo (ROSA JÚNIOR et al., 2006).

Com o favorecimento do desenvolvimento das raízes em profundidade, estimuladas pela absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo. Essa condição também confere maior tolerância às plantas, em ocasiões de déficit hídrico no solo, o que seria benéfico para a cultura em questão durante a ocorrência dos veranicos no Amazonas, quando há redução dos índices pluviométricos, com menor disponibilidade de água no solo (BRASIL et al.,2020)

A área cultivada com açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) cultivar BRS-Pará em terra firme, aumentou significativamente na última década no município de Humaitá, impulsionada pelo elevado preço do fruto e a grande demanda pela polpa da fruta no mercado nacional e internacional. Nesses cultivos, uma menor parcela da área está sendo irrigada por alguns Produtores, que buscam aumentar a produtividade e manter uma produção regular o ano todo, principalmente na entressafra, quando o valor do fruto aumenta.

No entanto, não há estudos locais e regionais, e são escassos a nível nacional, quanto aos impactos que o manejo de solos nestas áreas irrigadas podem sofrer em função do tráfego contínuo de implementos agrícolas, bem como diretamente os efeitos benéficos dos manejos de correção na melhoria da funcionalidade estrutural dos solos nestes cultivos.

2. JUSTIFICATIVA

Sendo uma cultura com uma necessidade considerável de água para uma boa produção, nos períodos de estiagem seu potencial produtivo é reduzido devido à escassez hídrica o que afeta diretamente o produtor, ou mesmo em um cultivo irrigado, com o fornecimento hídrico em quantidade insuficiente para cultura devido uma possível condição textural do solo, pode resultar em peco fisiológico da planta reduzindo ainda mais a produtividade.

Esse estudo busca descrever a dinâmica hídrica e física do solo em uma área de cultivo de açaí, através de processos como a curva de retenção de água no solo CRAS, que permite quantificar o potencial matricial do solo associada com a sua respectiva umidade, ou seja, a capacidade de retenção de água e também do índice “S” proposto por Dexter (2004) para indicar o efeito da qualidade estrutural do solo nesta área de estudo.

Informações como essas, são extremamente eficazes, principalmente considerando as condições de melhoria do ambiente estrutural de solos, bem como compreender as limitações impostas pelo efeito de diferentes partículas de solos na composição estrutural do sistema.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Objetiva-se com este estudo quantificar a energia integral de água no solo e caracterização hidráulica de solo sob cultivo de açaí no Sul do Amazonas

3.2. Objetivos específicos

Construção da curva de retenção de água no solo (CRAS);
Aplicação de índices de qualidade física de solos (Índice S e Energia Integral);

Quantificação de atributos físico-hídricos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e análise textural).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. A cultura do açaí no Amazonas e os recursos hídricos oriundos da irrigação

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é nativo da Amazônia brasileira, uma espécie de clima tropical quente e úmido com necessidade de temperatura média anual acima de 26°C, umidade relativa do ar entre 71% e 91%, possui a demanda de precipitação acima de 1.600 mm por ano (GAMA, 2005). Destaca-se na produção de matéria prima de palmito e por seu fruto nutritivo, dos frutos é extraído a polpa para a produção do “vinho” de açaí destinado ao consumo que constantemente vem conquistando novos mercados, dentro e fora do país, sua produção gera renda e emprego para milhares de trabalhadores (NOGUEIRA et al., 2005). Sua demanda é constante e o mercado continua se expandindo, elevando ainda mais a importância dessa cultura.

Como efeito da valorização dessa cultura, incentivou-se o desenvolvimento de açazais manejados, refletindo positivamente na produtividade e aumento de implantação de cultivos (CARVALHO, 2018). Na cultura plantada em várzea onde ocorre a com contínua exportação de nutrientes, a reposição desses nutrientes acontece principalmente pelos sedimentos trazidos durante a época de inundações, em terra firme, o manejo voltasse para a reposição e correção do solo da cultura através de adubação mineral e irrigação centrada em suas necessidades, o que possibilita produção mesmo no período de entressafra, caso tenha suporte hídrico (HOMMA, 2006).

No açaí o período entre Floração, até a colheita do fruto maduro, se dá no espaço de tempo de seis meses. O período de lançamento da inflorescência do açaizeiro ocorre na estação chuvosa e a colheita ocorre no

período de seca. Nesse intervalo de estiagem não ocorre a formação e lançamento de novas inflorescências, devido à falta de recursos hídricos suficientes para sustento de mais uma safra, causando no semestre seguinte a entressafra, o que demonstra ser o fator limitante para maior produtividade da cultura é o acesso a água complementar (NETO, 2016).

A disponibilidade de água é primordial para seu adequado crescimento e desenvolvimento da cultura, e sua demanda hídrica continua nos períodos de escassez prolongada, as atividades metabólicas podem ser prejudicadas, o crescimento vegetativo retardado e a produção reduzida, na implantação de um sistema de cultivo de açaí é recomendado um sistema irrigado para suprir essa necessidade da cultura, não se deve produzir açaí em terra firme sem um suporte hídrico adequado (DO NASCIMENTO et al., 2021).

Em açazais em déficit hídrico é comum encontrar no ápice duas ou mais folhas em forma de flecha, a falta de água pode resultar na perda de folhas, redução da transpiração, afeta absorção de CO₂ e conseqüentemente a fotossíntese, produção e translocação de assimilados, podendo levar à morte da planta, isso varia da gravidade do déficit e do período que a planta se encontra nessa condição (DO NASCIMENTO et al., 2021). No Amazônia ocidental que possui um período de estiagem de 3 a 4 meses destaca-se a necessidade de utilização de um fornecimento complementar de água no cultivo de açazeiro, as vantagens apresentam-se na elevação da produção na época e durante a entressafra (VIEIRA; RAMALHO et al., 2018).

4.2. Interação solo-planta-atmosfera

O sistema solo-planta-atmosfera (SSPA) é uma série de processos de interação entre atributos biológicos, físicos, químicos entre o solo, as plantas e atmosfera, através de trocas de elementos como a água, carbono, nitrogênio, oxigênio, entre outros. Para compreensão dessas relações existem várias áreas que se dedicam ao seu estudo como a ciência do solo, hidrologia, climatologia, ecologia, engenharia florestal (BORMA et al., 2015).

O Manejo na agricultura necessita de um bom conhecimento das relações em volta do SSPA e dos processos que englobam seu equilíbrio e movimento. No entendimento das necessidades fisiológicas das plantas e como estas se relacionam de maneira complexa com o solo e a atmosfera, a água é uma das principais essências do ciclo, o fluxo de água ocorre em equilíbrio dinâmico desde o solo até a atmosfera (FILHO et al.,2011).

O Solo representa o papel de reserva, dreno e fonte de nutrientes, gases e água, as cargas positivas e negativas de cátions e ânions, nutrientes ou não do solo ao lado da fotossíntese são os dois fenômenos de extrema importância para a manutenção da experiência da vida na terra, para a absorção desses nutrientes por parte das plantas considera-se propriedades físico-químicas que controlam esse suprimento de recursos (NOVAIS, 2007)

As plantas através de suas atividades fisiológicas conduzem, respectivamente, os potenciais da água do solo, do sistema radicular, dos pontos iniciais até o final do xilema, a captação de gases para a realização da fotossíntese e fixação desses mesmos gases no solo, e para seu crescimento a exportação dos nutrientes presentes no solo (FILHO et al.,2011).

A atmosfera que provém a manutenção de temperatura pelo efeito estufa e contenção dos gases atmosféricos, mantém o suprimento de água doce para o solo, principalmente, por meio do processo de infiltração da água de chuva, seu ciclo hidrológico abrange a constante movimentação de água nos seus vários estados (sólido, líquido e gasoso) entre a superfície terrestre e a atmosfera. A relação solo-planta atmosfera e seus processos são complexos e essenciais para o funcionamento terrestre, compreender seu funcionamento nos fornece o meio de lidar com problemas dependendo da área de interesse, principalmente para exploração de recursos vegetais (BORMA et al., 2015).

4.3. Dinâmica de água no solo

A água que vem da chuva ou irrigação ao escorrer pela superfície e subsuperfície escoar e infiltra no solo, a infiltração diminui com o tempo à medida que o solo se torna mais saturado, ou seja, a capacidade de infiltração é igual ao coeficiente de condutividade hidráulica do solo saturado (BORMA et al., 2015).

É a solução em que as substâncias minerais e orgânicas estão dissolvidas, quando no solo, a água é um dos seus componentes (FILHO et al., 2011). Ao considera-se como um material sólido e poroso, esse material possui partículas minerais e substâncias orgânicas de diferentes formas e tamanhos que compõe sua matriz, os poros podem abrigar no seu interior gases e essa solução aquosa com eletrólitos compondo a solução nutritiva para as plantas, a água é retida nesses poros pelo fenômeno de capilaridade, e nas superfícies dos sólidos como filmes presos a ela chamada de adsorção (LIBARDI, 2005).

Pode-se dizer que esses fatores responsáveis pela retenção são chamados de forças mátricas, que determinam a dinâmica da água na superfície terrestre influenciando na sua capacidade de disponibilidade hídrica. A movimentação da água no solo acontece como resultado das mudanças destes potenciais, o potencial matricial ajuda na determinação do grau de saturação do solo e propriedades físicas (BEZERRA et al., 2012).

Uma vez infiltrada ao solo, a água passará por um processo de redistribuição, movendo-se em diferentes direções, uma fração dessa água se moverá verticalmente em direção a superfície, devido a diferença de potencial com a atmosfera, outra fração percolará devido as forças gravitacionais para as camadas profundas do lençol freático, uma parte retida nos agregados e absorvida pelo sistema radicular, a parcela absorvida pela plantas é metabolizada e através da evapotranspiração voltará para a atmosfera dando continuidade no ciclo hidrológico (FILHO et al., 2011).

O comportamento hídrico no solo pode ser influenciado pela paisagem com relevos e declividades do local, ao mesmo tempo em que atuação do

comportamento hidrológico também modifica sua estrutura física, Burak et al. (2010), descreve que em áreas com presença de relevos devido a geomorfologia do solo condicionada ao fluxo hídrico proporcionam uma variabilidade textural no decorrer de uma área de relevo o que caracteriza diferentes texturas em uma mesma área.

4.4. Caracterização e importância da Energia Integral e Índice S nos estudos hidráulicos de solos

A quantidade de água no solo é a quantificação de massa ou volume presente em uma amostra de solo com massa conhecida, e a partir dessa informação torna-se possível estudar o transporte de nutrientes e o transporte de água no solo para a planta (HURTADO, 2004)

A capacidade de Água Disponível (CAD) é o indicador que representa o teor de água existente em um perfil do solo de acessível absorção pela planta. Acompanhando esse conceito, a Energia Integral (EI) é a energia necessária gasta pela planta para obter uma unidade de massa de água do solo em um teor de água específico, essa energia que é utilizada pela planta determina a sua capacidade de captação do recurso hídrico presente no solo (SHAKOURI; SHABANPOUR, 2022).

Ter conhecimento da energia integral da água é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, como teor de umidade está relacionada com os atributos do solo que controlam a retenção e água (HURTADO, 2004). Minasny e McBratney (2003) descrevem ser possível calcular a Energia Integral a partir da curva de retenção de água de um solo. A energia integral possibilita determinar a quantidade de energia e, portanto, a disponibilidade de água acessível para as plantas. Esse dado está correlacionado com as propriedades físicas básicas do solo, como teor de argila, areia e silte, e tende a se elevar à medida que o teor de argila aumenta, ou seja quanto maior teor de argila mais energia é necessária da planta para ter acesso a uma unidade de água.

O índice S proposto por Dexter (2004) necessita da determinação da curva de retenção de água do solo (CRAS), pois a estrutura física do solo determina sua capacidade de retenção hídrica e associado a isso o índice S como padrão de qualidade física, que através da determinação do ponto de inflexão da curva de retenção que determina o início da capacidade de campo, é possível caracterizar suas condições de qualidade físicas, a densidade do solo (Ds), porosidade total (macroporos e microporos), matéria orgânica (MO) (PEREIRA, 2012). Esses parâmetros podem ser utilizados na caracterização de um solo com excelente condição à um solo pobre em qualidade física, possibilitando correlacionar a sua qualidade física com o comportamento hidráulico do solo.

4.5. Limitações físicas e estruturais dos solos Amazônicos que afetam a dinâmica de água no solo

Os solos originam-se da decomposição das rochas superficiais e constituem o suporte natural das plantas as quais extraem os nutrientes necessários para seu crescimento e desenvolvimento. Os solos, portanto, se desenvolvem a partir da decomposição e acumulação de detritos provenientes da degradação do material rochoso e orgânico (FALESI, 1972).

Os solos predominantes no estado do Amazonas, são os Argissolos representando 45% dos solos do estado, seguido pelos Latossolos com 26% da área de solos, mais predominantes os Latossolos Amarelos. Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos estão presentes na maior parte das áreas de várzea com 9% dos solos do Amazonas, devido sua localidade nas margens dos rios de águas barrentas, (Solimões, Madeira, Purus, Juruá, dentre outros) apresentam boa fertilidade (MANSINI; MARMOS, 2010).

As principais limitações do Argissolos são devido a sua baixa fertilidade, pH ácido, alto teor de alumínio e suscetibilidade a erosão devido à relação textural presente nestes solos, sendo agravado em relevos (ZARONI, 2021). Os latossolos são propícios ao intemperismo, apresentam baixa fertilidade,

caracterizados por sua baixa a média capacidade de troca de cátions. A maioria dos latossolos são distróficos, ou seja, sua saturação por bases é inferior a 50% sendo assim ácidos, apresenta altos teores de areia favorecendo uma percolação hídrica alta e sendo também suscetível a erosão (DE SOUSA, 2021).

Nas regiões dos municípios de Humaitá, Lábrea e Canutama. apresentam Plintossolos, com 3,5%, são os solos predominantes nos campos naturais do sul do Amazonas (MANSINI; MARMOS, 2010). Os Plintossolos são muito ácidos, podem apresentar saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), sendo mais comum a baixa saturação por bases, como fator limitante para a condução da água apresenta problemas de drenagem.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do meio físico e amostragem de solos

A área experimental de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) está localizada na Agropecuária Rossato, BR 230 km 05, município de Humaitá-AM. Uma área que antes passou por ciclos produtivos de outras culturas, já foi área de pastagens e atualmente tem área que totaliza 18ha açaizeiros plantados, estudos vêm sendo desenvolvidos com a cultivar BRS-Pará, que ao final do mês de junho/2023, as plantas completaram 3 anos e 4 meses de idade. A primeira colheita deverá iniciar por volta do mês de setembro de 2023.

A região apresenta relevo aproximado ao do tipo “tabuleiro” sua declividade em torno de 7%, com desníveis muito pequenos e, bordos ligeiramente abaulados. Essas terras mais altas constituem os divisores topográficos de água entre os rios da região. O desnível dessas zonas mais elevadas e os vales dos igarapés, é da ordem de 15 a 29 metros, ocorrendo, entretanto, de maneira súbita (Braun & Ramos, 1959).

Com relação à geologia, as áreas estudadas localizam-se sob área formada a partir de sedimentos aluviais indiferenciados ou antigos, que são

cronologicamente oriundos do Holoceno. A região apresenta uma vegetação de contato entre Campos e Floresta, que se caracteriza por áreas que inclui varia formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa e se alterna com pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (Braun & Ramos, 1959).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90%.

Mini trincheiras de aproximadamente 50 cm de comprimento, 50 cm de largura e 75 cm de profundidade foram abertas para a amostragem de solos. Os perfis dos solos foram divididos em duas camadas: 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m, os pontos de coleta foram distribuídos em três diferentes condições presentes na área amostral, sendo elas a baixa encosta próximo as coordenadas (7°32'31" S 63°03'06" W), uma área de meia encosta (7°32'33" S 63°03'11" W) e uma região de topo alto (7°32'34" S 63°03'14" W), como demonstrado na Figura 1, os quais foram coletadas 3 amostras nos diferentes pontos, totalizando 18 amostras nas diferentes profundidades.

A coleta de amostras com estrutura preservada e realizada com o auxílio de extrator, o qual foi acoplado um cilindro de metal de aproximadamente 4,5 cm de diâmetro e 4.3 cm de altura, resultando no volume médio de 73 cm³. Nos mesmos perfis de solo, amostras de aproximadamente 0,5 Kg de solo úmido foram coletadas, para a quantificação das frações granulométricas. As análises para composição dos dados físicos-hídricos foram realizadas no laboratório de física do solo do sistema irriga® da Universidade Federal de Santa Maria.



Figura 01 – Mapa de Caracterização da área amostral e pontos de coleta. Fonte: Google Earth

5.2 Análises físico-hídricas

Para a análise granulométrica, aplicou-se o método do densímetro (VETTORI, 1969). A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI et al., 2006). A densidade do solo (D_s) foi realizada conforme descrito em Grossman & Reinsch (2002), onde o solo contido em anel volumétrico foi seco em estufa à 105°C, até massa constante. Para a quantificação da porosidade total (PT), aplicou-se a relação entre Densidade do solo (D_s) e Densidade de partículas (D_p) conforme Equação (1).

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

Ao definir macroporos como poros com $\varnothing_{eq} > 300 \mu\text{m}$, a macroporosidade (Macro) foi calculada pela razão entre o volume de macroporos (volume de água drenado entre 0 e -1 kPa) e o volume do solo (cilindro volumétrico usado na amostragem do solo); a microporosidade (Micro, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) foi então determinada, definida como a razão entre o volume

de microporos (Micro) ($\varnothing_{eq} < 50 \varnothing_{eq}$), obtido pelo volume de água drenada de -6 kPa e o volume do solo.

As amostras indeformadas ainda foram transferidas para câmara extratora de Richards (Richard, 1949), no qual aplicou-se tensões de -33 kPa e -100 kPa, por um período mínimo de 96 horas para cada potencial. O conteúdo de água dos solos dos potenciais de -500 kPa e -1500 kPa foram determinados por psicrometria, com a utilização de um WP4 (DECAGON DEVICES, Inc.) A avaliação foi realizada com o processamento de cinco a sete amostras desestruturadas, previamente secas ao ar, borrifadas com água, pesadas e levadas ao WP4, onde se realizou a leitura do potencial em que a amostra se encontrava. Ao final, as amostras foram levadas à estufa para secagem até massa constante. A diferença entre as duas pesagens correspondeu ao conteúdo de água no potencial indicado pelo WP4.

5.3 Energia Integral e Índice S de qualidade do solo

A função para calcular o Índice S (DEXTER, 2004) para avaliar a qualidade física do solo, teve como base os parâmetros obtidos a partir da curva de retenção de água no solo (VAN GENUCHTEN, 1980). O índice S foi determinado com base nos parâmetros obtidos a partir da Curva de Retenção de Água no Solo (CRAS), tangente no ponto de inflexão, segundo a equação proposta por (DEXTER, 2004) (Equação 2).

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (2)$$

em que: θ_{sat} - umidade volumétrica na saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_{res} - umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n e m - são parâmetros de forma da curva de retenção de água no solo; $m = 1 - 1/n$, $0 < m < 1$, de acordo com Van Genuchten (1980).

A quantificação da energia requerida pela planta, para a retira de água no solo (J kg^{-1} de água), foi quantificada a partir da abordagem do “Integral

Water Capacity” (IWC) ou apenas Energia Integral (EI). A teoria está baseada no trabalho de Groenevelt et al. (2001); Groenevelt et al. (2004); Asgarzadeh et al. (2014), utilizando o modelo de van Genuchten-Mualem para a estimativa da curva de retenção de água. Sua determinação foi realizada a partir do software R (R Core Team, 2016), utilizando o pacote “soil physics” (LIMA et al., 2016).

A função de retenção de água no solo a partir da CRAS foi integrada nas correspondentes faixas de água disponíveis para calcular os valores de EI. A EI (J kg^{-1}) para os valores de água disponíveis definidos pela CRAS foram calculadas usando uma equação modificada e generalizada de Minasny & McBratney (2003) (Equação 3).

$$EI = \frac{1}{10W} \int_{h_i}^{h_f} h \left(\prod_{i=1}^m w_i(h) \right) C(h) dh \quad (3)$$

em que: h_i e h_f são potencias matriciais (hPa) estabelecidos (segundo a abordagem utilizada na CRAS); W ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) é a quantidade volumétrica de água disponível no solo calculada pelas diferentes abordagens; $w_i(h)$ são funções de ponderação multiplicativa que representam as várias propriedades físicas limitantes do solo; $C(h)$ é a capacidade de água diferencial absoluta (hPa^{-1}), que é a inclinação da curva de retenção de água no solo (ou seja, $|d\theta/dh|$) de acordo com a equação de Van Genuchten (1980); e d e h significam teor volumétrico de água e potencial matricial, respectivamente. A constante 10 é para converter as unidades de EI de hPa para J kg^{-1} .

5.4 Procedimentos estatísticos

Foram realizadas análises de estatística descritiva com o intuito de obter as distribuições de média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e as amplitudes máximas e mínimas da distribuição quanto aos resultados obtidos. Foi elaborada a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software Statistica versão 7.0 (STASOFT, 2004).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físico-hídricos

Em todas as posições da paisagem, observou-se dominância da fração silte nas camadas avaliadas, fato justificável pela natureza aluvial dos sedimentos que constituem o material de origem (BRASIL, 1978). O ponto considerado como baixa encosta, encontra-se em uma posição topográfica relativamente mais baixa em comparação as demais, fato este que justifica os teores de silte serem mais elevados. Os maiores valores de silte podem ser decorrentes principalmente de depressões topográficas que favorecem a deposição de sedimentos mais finos (ROSOLEN e HERPIN, 2008). Desta forma, o comportamento das propriedades físico hídricas é influenciado resultando numa alta capacidade de retenção de água e dificuldade no processo de drenagem.

Nas posições observadas na paisagem, os maiores valores de densidade do solo, encontram-se na posição de baixa encosta, com valores médios de $1,77 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente as camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Não pode-se considerar que existe uma possibilidade de “compactação”, mas os principais fatores dos elevados níveis, pode ser em função de um adensamento do solo, primeiramente, os elevados teores de silte superior ou proporcional à soma dos teores de areia e argila, promovendo melhor agrupamento das partículas do solo, e a maior exposição do solo as ações desintegradoras da estrutura do solo, como as queimadas periódicas na estação seca do ano, favorecido pela própria cobertura vegetal (REDIN et al., 2011).

Na área de meia encosta as camadas superficiais de 0,0-0,20m os teores de silte são inferiores a área de topo alto na mesma profundidade, as partículas de silte tendem a ser carregadas e depositadas na área mais baixa da encosta devido ao escoamento superficial, como resultado, o ponto com maior teor de silte é na a baixa encosta onde se depositam a maior parte dos

sedimentos, o que caracteriza um diferencial textural entre os pontos da declividade. A capacidade de retenção hídrica na região de meia encosta apresenta valores altos mesmo com o menor índice de partículas de silte e Ds em comparação aos outros pontos, deve-se ao fato dos teores de silte ao somatório com os teores de argila manter sua capacidade de retenção ainda elevada considerando a relação que essas partículas menores tem com o comportamento hidráulico no solo.

Segundo Cooper et al. (2017), em relação os efeitos resultantes de índices maiores de densidade, em solos úmidos o crescimento radicular geralmente torna-se limitado a partir de densidades de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos argilosos e siltosos e com densidades de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com textura de areia franca. No caso dos solos da área de estudo, os valores da densidade estão acima do considerado inibitivo para o crescimento radicular adequado.

A relação que a densidade do solo possui com os poros indica que quanto maior o valor de Ds do solo, menor será o teor de espaço poroso (porosidade total) inversamente, com a densidade menor a porosidade total tende a ser maior, em um solo bem estruturado a quantidade de macroporos é superior à de microporos, com a densidade elevada os macroporos são reduzidos e a quantidade de microporos aumenta, qualquer fator que influencie ou modifique o espaço poroso poderá alterar também a densidade do solo (COOPER et al. 2017). É possível observar esse fenômeno avaliando a tabela de Coeficiente de Correlação de Pearson nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,2-0,40 m (Figura 7 e Figura 8).

Na variância compartilhada entre os coeficientes de densidade e porosidade, nas camadas de 0,0-0,20 m, nota-se que com o aumento da densidade do solo a quantidade de macroporos é inversamente menor, e com a elevação da densidade em relação a quantidade de microporos os valores tendem a ser maiores, o mesmo comportamento de proporções que se correlacionam é observado nas camadas de 0,20-0,40 m, nas condições atuais da área, no ponto de capacidade de campo a -33 kPa ao ponto de murcha permanente em -1500 kPa com os macroporos reduzidos a retenção de água concentra-se nas regiões de microporos demonstram valores hídricos

positivos e para os macroporos índices negativos, esse fenômeno implica na capacidade de absorção hídrica pelas cultura implantada na área.

Considerando as áreas de topo alto e baixa encosta (Tabelas 1; 2 ;5 e 6), a macroporosidade, representa o espaço em que ocorrem processos dinâmicos do ar e da solução do solo, caracterizando-se como um dos indicativos da ocorrência de possíveis limitações físicas ao solo. A variação média da macroporosidade foi inferior ao limite crítico de 10% estabelecido em Silva et al. (1994) e Tormena et al. (1998). Assim, as perdas na porosidade associadas às diferentes posições da paisagem as formas de uso do solo podem ser explicadas tanto pela carga ao qual é exercida sobre o solo, pela quebra de ligações entre as partículas que conferem uma estrutura estável do solo. Por este critério, no novo arranjo de partículas, os antigos espaços intra-agregados (microporos) são preenchidos com partículas sólidas, reduzindo a porosidade e aumentando a densidade.

Tabela 01 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral Topo alto de 0,0-0,20m.

Estatística	Porosidade						Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,378	0,463	0,054	0,410	0,346	0,186	8,663	8,106	51,969	21,662
Máximo	1,428	0,482	0,061	0,421	0,351	0,204	14,273	12,096	59,520	23,710
Média	1,403	0,473	0,057	0,415	0,349	0,195	11,468	10,101	55,745	22,686
Variância	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	15,732	7,961	28,510	2,098
Desvio-padrão	0,035	0,013	0,005	0,008	0,004	0,013	3,966	2,822	5,339	1,448
Coeficiente de variação	0,018	0,020	0,067	0,014	0,008	0,047	0,245	0,198	0,068	4,561

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); $\theta_{33\text{kPa}}$ – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); $\theta_{1500\text{kPa}}$ - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 02 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral Topo alto de 0,20-0,40m.

Estatística	Porosidade						Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,593	0,398	0,013	0,385	0,345	0,196	0,405	12,320	46,358	26,955
Máximo	1,719	0,499	0,067	0,432	0,368	0,210	13,334	13,680	58,959	27,987
Média	1,656	0,448	0,040	0,408	0,357	0,203	6,870	13,000	52,659	27,471
Variância	0,008	0,005	0,001	0,001	0,000	0,000	83,580	0,925	79,387	0,532
Desvio-padrão	0,089	0,071	0,038	0,033	0,017	0,010	9,142	0,962	8,910	0,729
Coeficiente de variação	0,038	0,113	0,675	0,057	0,033	0,034	0,941	0,052	0,120	19,478

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); $\theta_{33\text{kPa}}$ – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); $\theta_{1500\text{kPa}}$ - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 03 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de Meia encosta de 0,0-0,20m.

Estatística	Porosidade				θ		Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ 33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,270	0,418	0,080	0,338	0,291	0,130	22,378	19,700	38,322	17,166
Máximo	1,520	0,513	0,139	0,374	0,310	0,185	23,023	20,196	39,615	19,599
Média	1,395	0,466	0,109	0,356	0,301	0,158	22,700	19,948	38,969	18,383
Variância	0,031	0,005	0,002	0,001	0,000	0,001	0,208	0,123	0,836	2,960
Desvio-padrão	0,176	0,067	0,042	0,025	0,013	0,039	0,456	0,350	0,914	1,721
Coeficiente de variação	0,089	0,102	0,271	0,050	0,031	0,173	0,014	0,012	0,017	6,669

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 33kPa – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 1500kPa - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 04 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de Meia encosta alto de 0,20-0,40m.

Estatística	Porosidade				θ		Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ 33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,453	0,435	0,044	0,377	0,324	0,155	8,813	7,446	44,510	22,287
Máximo	1,471	0,438	0,058	0,394	0,338	0,184	16,500	14,012	61,454	24,978
Média	1,462	0,437	0,051	0,385	0,331	0,170	12,657	10,729	52,982	23,632
Variância	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	29,540	21,558	143,550	3,622
Desvio-padrão	0,013	0,002	0,010	0,012	0,010	0,021	5,435	4,643	11,981	1,903
Coeficiente de variação	0,006	0,003	0,136	0,022	0,022	0,085	0,304	0,306	0,160	5,478

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 33kPa – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 1500kPa - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 05 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de baixa encosta 0,0-0,2m.

Estatística	Porosidade				θ		Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ 33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,736	0,506	0,049	0,457	0,428	0,200	4,233	4,590	49,560	22,478
Máximo	1,810	0,624	0,122	0,502	0,430	0,208	6,784	5,771	64,967	41,617
Média	1,773	0,565	0,085	0,479	0,429	0,204	5,508	5,181	57,263	32,047
Variância	0,003	0,007	0,003	0,001	0,000	0,000	3,253	0,698	118,687	183,150
Desvio-padrão	0,052	0,084	0,052	0,032	0,001	0,006	1,804	0,835	10,894	13,533
Coeficiente de variação	0,021	0,105	0,427	0,047	0,002	0,020	0,232	0,114	0,135	0,299

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 33kPa – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 1500kPa - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 06 – Caracterização físico-hídrica no ponto amostral de baixa encosta de 0,20-0,40m.

Estatística	Porosidade				θ		Areia	Areia	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ 33kPa	1500kPa	Grossa	Fina		
Mínimo	1,430	0,453	0,039	0,391	0,326	0,193	2,386	1,523	58,522	14,361
Máximo	1,699	0,587	0,062	0,548	0,528	0,230	8,976	7,607	59,277	18,496
Média	1,565	0,520	0,051	0,469	0,427	0,212	5,681	4,565	58,900	16,325
Variância	0,036	0,009	0,000	0,012	0,021	0,001	21,715	18,507	0,285	47,365
Desvio-padrão	0,190	0,095	0,016	0,111	0,143	0,027	4,660	4,302	0,534	12,465
Coeficiente de variação	0,086	0,129	0,223	0,167	0,237	0,089	0,580	0,666	0,006	13,874

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 33kPa – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 1500kPa - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 07 – Coeficiente de correlação de Pearson de da área experimental 0,0-0,20m.

Variáveis	Porosidade						Areia			
	Ds	total	Macro	Micro	θ_{33kPa}	$\theta_{1500kPa}$	Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
Ds	1	0,426	-0,243	0,665	0,819	0,663	-0,674	-0,680	0,475	0,578
Porosidade total	0,426	1	0,543	0,837	0,710	0,182	-0,620	-0,593	0,164	0,836
Macro	-0,243	0,543	1	-0,005	-0,161	-0,579	0,301	0,342	-0,670	0,266
Micro	0,665	0,837	-0,005	1	0,950	0,594	-0,934	-0,928	0,631	0,822
θ_{33kPa}	0,819	0,710	-0,161	0,950	1	0,607	-0,907	-0,914	0,710	0,690
1500kPa	0,663	0,182	-0,579	0,594	0,607	1	-0,802	-0,800	0,637	0,594
Areia Grossa	-0,674	-0,620	0,301	-0,934	-0,907	-0,802	1	0,998	-0,804	-0,729
Areia Fina	-0,680	-0,593	0,342	-0,928	-0,914	-0,800	0,998	1	-0,829	-0,698
Silte	0,475	0,164	-0,670	0,631	0,710	0,637	-0,804	-0,829	1	0,179
Argila	0,578	0,836	0,266	0,822	0,690	0,594	-0,729	-0,698	0,179	1

Ds – Densidade do Solo ($Mg\ m^{-3}$); Macro – Macroporosidade ($cm^3\ cm^{-3}$); Micro – Microporosidade ($cm^3\ cm^{-3}$); θ_{33kPa} – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($cm^3\ cm^{-3}$); $\theta_{1500kPa}$ - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($cm^3\ cm^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

Tabela 08 – Coeficiente de correlação de Pearson de da área experimental 0,20-0,40m.

Variáveis	Porosidade				θ		Areia	Areia Fina	Silte	Argila
	Ds	total	Macro	Micro	θ 33kPa	1500ka	Grossa			
Ds	1	0,638	-0,152	0,703	0,685	0,690	-0,292	-0,147	-0,226	0,773
Porosidade total	0,638	1	0,238	0,955	0,905	0,575	-0,130	-0,740	-0,035	0,858
Macro	-0,152	0,238	1	-0,062	-0,191	-0,485	0,666	-0,183	-0,231	-0,281
Micro	0,703	0,955	-0,062	1	0,989	0,740	-0,338	-0,704	0,034	0,968
θ 33kPa	0,685	0,905	-0,191	0,989	1	0,756	-0,438	-0,704	0,110	0,978
1500kPa	0,690	0,575	-0,485	0,740	0,756	1	-0,555	-0,289	0,021	0,863
Areia Grossa	-0,292	-0,130	0,666	-0,338	-0,438	-0,555	1	0,422	-0,769	-0,469
Areia Fina	-0,147	-0,740	-0,183	-0,704	-0,704	-0,289	0,422	1	-0,586	-0,577
Silte	-0,226	-0,035	-0,231	0,034	0,110	0,021	-0,769	-0,586	1	0,037
Argila	0,773	0,858	-0,281	0,968	0,978	0,863	-0,469	-0,577	0,037	1

Ds – Densidade do Solo (Mg m^{-3}); Macro – Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Micro – Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 33kPa – Umidade equilibrada na Capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ 1500kPa - Umidade equilibrada no Ponto de Murcha Permanente; Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Areia; Silte; Argila e Coeficiente de Variação (%).

6.2 Curva de água no solo

A curva de retenção de água mede a quantidade de água presente no solo em um intervalo de potencial, na localidade amostral do topo alto observa-se que ao passar da água drenável do ponto de saturação até a capacidade de campo (CC), com tensão de -33 kPa valor referente a CC de um solo franco siltoso, na profundidade de 0,0-0,20m apresentou a capacidade de água disponível de 30,68 mm e com 0,20-0,40 m de profundidade a CAD é de 30,65 mm, a camada superficial apresenta uma capacidade de retenção ligeiramente maior que as subsuperficiais de 0,20-0,40 m.

Na área de meia encosta o comportamento hídrico apresenta-se diferente do ponto de topo alto, nas profundidades de 0,20-0,40 m a capacidade de retenção é maior, com CAD de 32,26 mm e a camada superficial de 0,0-0,20 m com 28,59 mm que aparenta menor capacidade de retenção. Os fatores responsáveis por essa perda de água superficial podem estar relacionados a condição de declividade e textura no solo do local.

O desempenho hidráulico no ponto amostral de baixa encosta apresenta na camada superficial de 0,0-0,2 m uma CAD de 44,99 mm e na subsuperfície de 0,20-0,40 m uma CAD de 43,42 mm. A densidade do solo superficial é maior, dando indícios limitações físicas em função do adensamento do solo.

Torna-se evidente ao comparar o comportamento das curvas de retenção hídrica dos pontos amostrais, que com a aumento da D_s , redução de macroporos e aumento de microporos no decorrer da declividade do terreno as configurações físicas do solo são modificadas, influenciando em maior capacidade de retenção hídrica num solo franco siltoso.

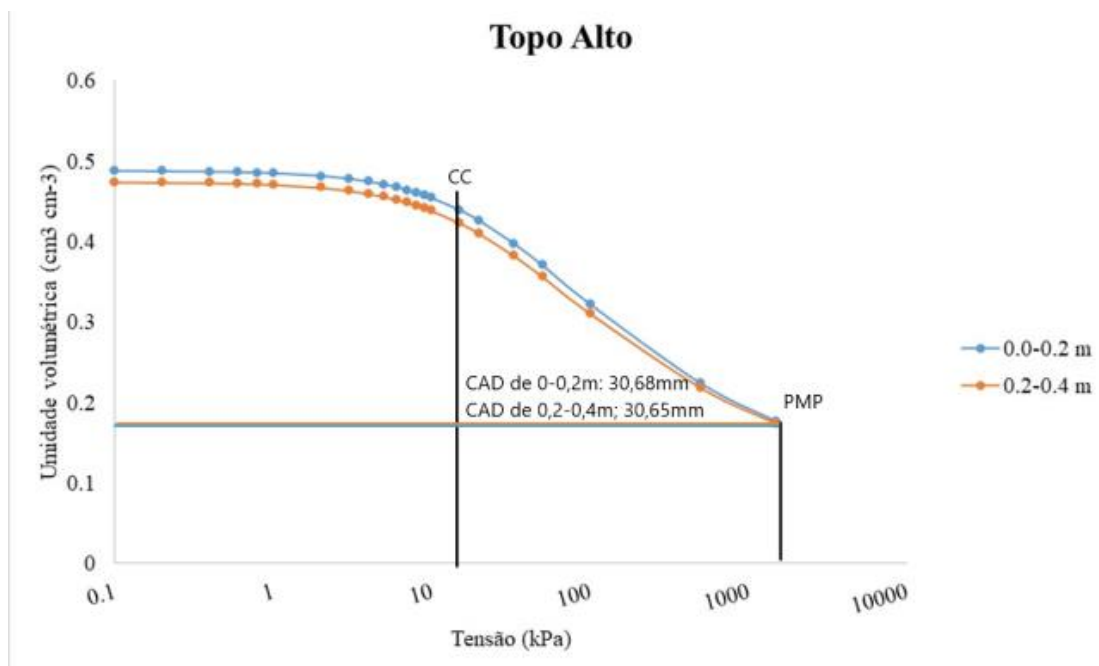


Figura 02 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no topo alto da área experimental.

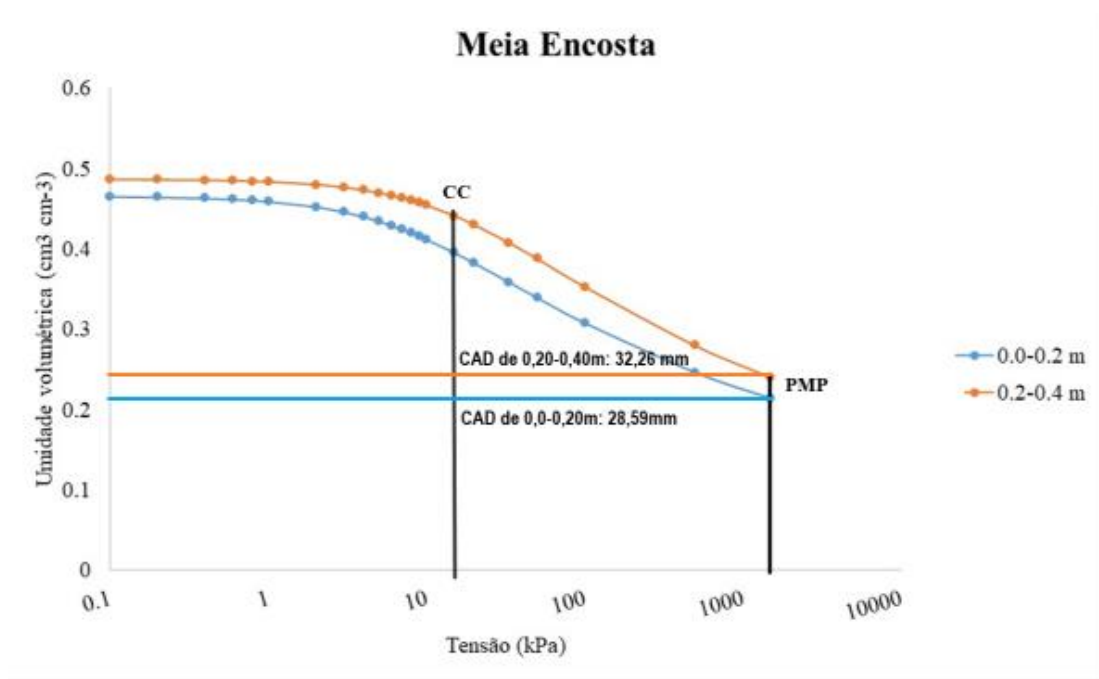


Figura 03 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no ponto de meia encosta da área experimental.

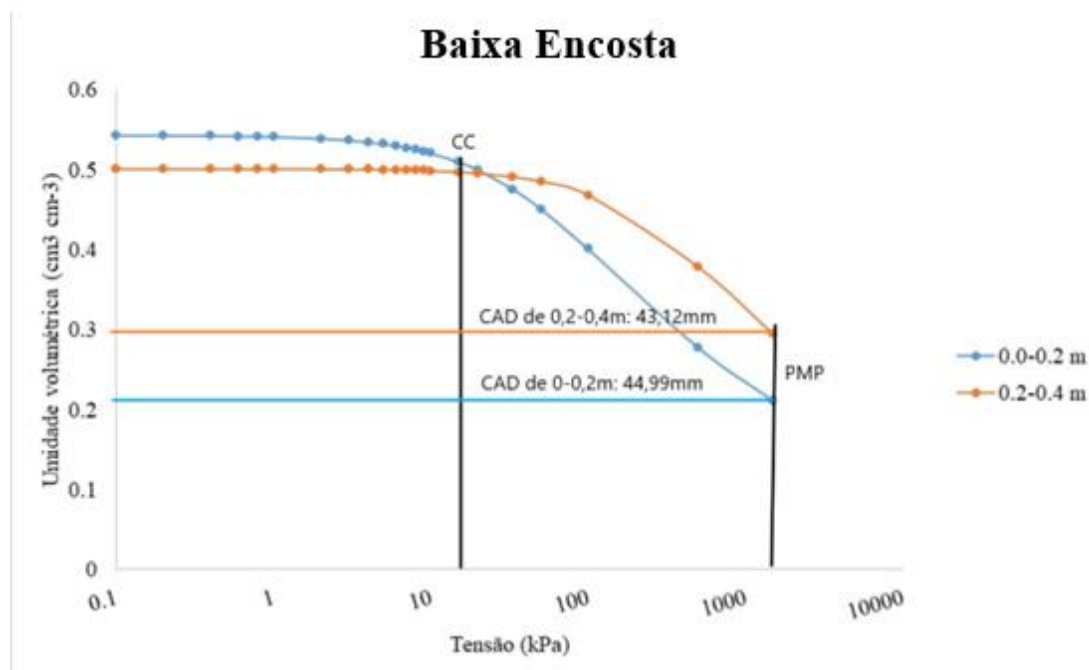


Figura 04 – Gráfico de curva de retenção de água no solo (CRAS) no ponto de baixa encosta da área experimental.

6.3 Energia integral e índice S

Determina-se a dinâmica de distribuição da Energia Integral cujo os valores associados demonstram a energia necessária para as plantas absorverem uma unidade de massa de água (J Kg^{-1}), o comportamento da EI dos pontos amostrais da área experimental são elevados, os níveis de energia na área de topo alto (Figuras 05) em -33 kPa nas profundidades de $0,0-0,2\text{m}$ estão a $337,31 \text{ J Kg}^{-1}$ e nas camadas de $0,20-0,40\text{m}$ $345,79 \text{ J Kg}^{-1}$.

No ponto de meia encosta (Figura 06) a energia integral nas profundidades de $00-0,20 \text{ m}$ em -33 kPa é de a $337,01 \text{ J Kg}^{-1}$ e de $0,20-0,40 \text{ m}$ a energia é de $335,47$. Na área de baixa encosta em -33 kPa (Figura 07) a energia integral nas profundidades de $0,0-0,20\text{m}$ é de a $341,86 \text{ J Kg}^{-1}$ e de $0,20-0,40 \text{ m}$ a energia integral é de $360,67 \text{ J Kg}^{-1}$

A disparidade de EI entre as localidades de coleta amostral é devido as condições da estrutura física descrita anteriormente, com a água mais presente nos microporos e macroporos reduzidos por possível compactação junto a espaços dos macroporos ocupados por silte a energia para captação de água aumenta. O ideal seria necessidade inferiores a 200 a 250 J Kg^{-1} ,

considerando esses valores para o solo franco siltoso, as plantas da cultura do açaizeiro necessitam de um gasto de energia maior para absorver a massa de água mesmo em boa disponibilidade.

Entretanto, o aumento no conteúdo de argila ou diminuição nos teores de areia na EI (-10 kPa e -33 kPa) mostra que uma planta precisa de mais energia para absorver a massa unitária de água em um solo com textura fina do que de um solo com textura grossa. Assim, as relações entre EI e os teores de argila ou areia indicam dependência de EI nas propriedades texturais do solo e não estruturais. Desta forma, os resultados corroboram os de Minasny & McBratney (2003), destacando que a EI aumenta com o aumento do teor de argila, mostrando que mais energia é necessária pelas plantas para absorver unidade de massa de água disponível a partir de um solo de textura fina. Alinhado a esta condição, o silte, grande “vilão” neste caso, em uma condição de possível fracionamento, pode apresentar condições de tamanho de partículas próximos a de uma argila (0,002 mm), fator este que possibilita a sua migração por diferentes faixas de poros no solo e recobrimento em condições no Sul do Amazonas.

O índice S que indica as condições estruturais do solo com limitações físicas, valores próximos ou inferiores a 0,025 no índice S caracteriza um solo pobre com limitações segundo Dexter (2004). Na área de topo alto (Figura 05) nas camadas superficiais de 0,0-0,20m o índice apresenta valor de 0,028, nas camadas mais profundas o valor é ainda menor em 0,020, nos pontos de meia encosta (Figura 6) na primeira camada os valores são de 0,024 menores que nas profundidades de 0,20-0,40m com 0,025.

Esses valores caracterizam o solo como pobre em qualidade física, no ponto de baixa encosta apresenta um diferencial, apesar da sua camada superficial apresentar um valor baixo do índice S, em 0,20-0,40m os valores indicam um solo com melhores condições estruturais com valor de 0,038. O locais com valores baixos podem estar apresentando essas condições por possíveis problemas com compactação em função do tráfego constante em diferentes períodos e faixas de umidade do solo, podendo assim, implicar no

desenvolvimento radicular superficial e conseqüentemente na sua capacidade de absorção.

Conforme observado, a variação no aumento de S ocorre à medida em que a Ds reduz, estando este comportamento em todas as áreas de estudo, destacando assim a sensibilidade do índice S como indicador da mudança estrutural do solo, mesmo sendo em pequena escala de variação. Assim, este comportamento é explicado por Santos et al. (2011) que destacam os efeitos de porosidade e densidade do solo no ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo, e o impacto do diâmetro de poros e seu comportamento em solos compactados e não compactados.

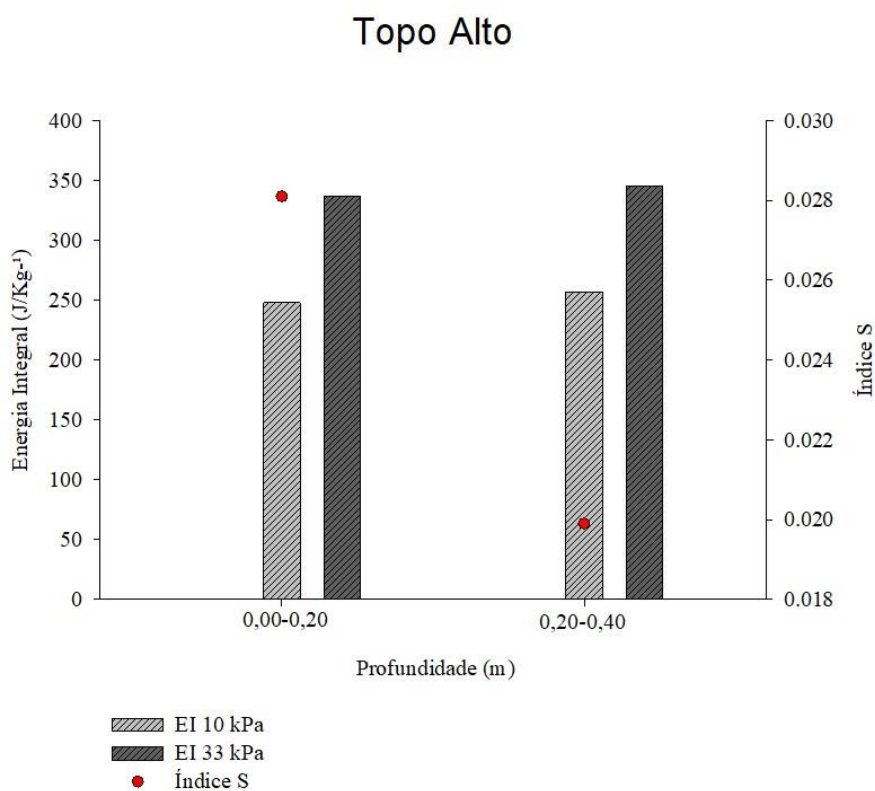


Figura 05 – Variação de Energia Integral em -10 e -30 kPa e Índice S no topo alto da área experimental. Ponto Vermelho indica o Valor de S.

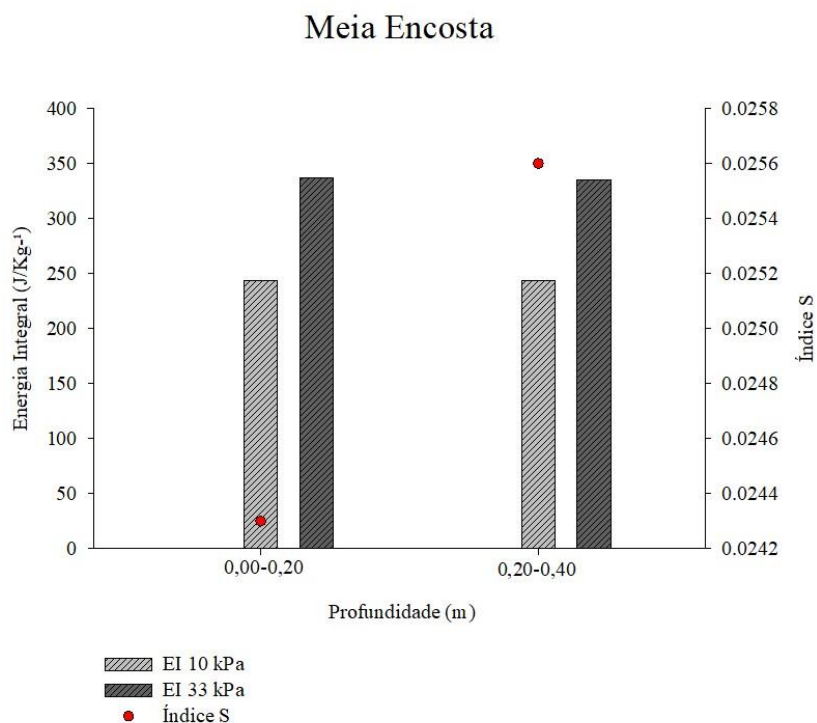


Figura 06 – Variação de Energia Integral em -10 e -33 kPa e Índice S no ponto de meia encosta da área experimental. Ponto Vermelho indica o Valor de S.

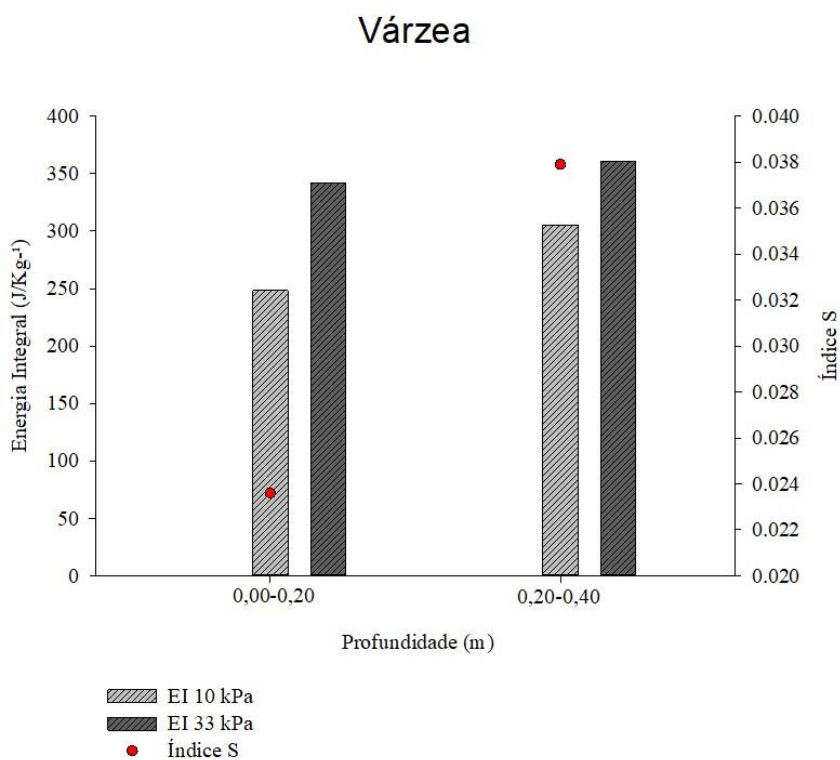


Figura 07 – Variação de Energia Integral em -10 e -30 kPa e Índice S no ponto de baixa encosta da área experimental. Ponto Vermelho indica o Valor de S.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao quantificar a energia integral de água e índice S do solo, possibilitou a compreensão do comportamento hidráulico sob cultivo de açaí e como suas limitações físicas podem afetar a disponibilidade hídrica para a cultura, mesmo com capacidade de retenção de água em níveis satisfatórios não significa que está facilmente acessível, implica na importância do manejo e práticas corretivas que reduzam os efeitos de compactação ocasionados pelo manejo em solos propícios, assim como o uso complementar de irrigação para superar os problemas advindos das propriedades mineralógicas e climáticas naturais da região, de modo favorecer o cultivo da cultura do açaí no Sul do Amazonas;

O ponto com maior energia integral é a região de baixa encosta, o que demonstra a necessidade de um manejo e irrigação diferente em relação aos outros pontos, os teores elevados de silte merecem destaque a esta condição, pois seu efeito pode trazer sérios problemas as atividades agrícolas de manejo, pensando assim em estabelecer estratégias em solos com teores elevados dessa fração textural, neste sentido, a compactação em linhas específicas para transição contínua de maquinário talvez seja uma alternativa visando o melhor manejo;

Pela Curva de Retenção de Água no Solo, é possível identificar o impacto das formas de gravidade e matricial sobre o conteúdo de água no solo, bem como identificar as condições de CAD para possíveis planejamentos de irrigação associados a demanda evapotranspirativa da cultura, a qual apresenta elevado índice diária de evapotranspiração, podendo apresentar escalas de até 8,50 mm/dia⁻¹.

8. REFERÊNCIAS

- ALVA, A. K.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P. **Reactions of gypsum or phosphogypsum in highly weathered acid subsoils**. Soil Science Society of America Journal, v. 54, p. 993-998, 1990. ASGARZADEH, H.;
- ASGARZADEH, H.; MOSADDEGHI, M.R.; NIKBAKHT, A.M. SAWCal: **A user-friendly program for calculating soil available water quantities and physical quality indices**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 109, p. 86-93, 2014.
- BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). *Revista Brasileira de Geografia*, 21: 443-497, 1959.
- BASSOI, Luís Henrique; SOARES, José Monteiro. **Relação solo-água-plantas**. Brasília, DF, 2011.
- BEZERRA, José Fernando Rodrigues; GUERRA, Antônio José Teixeira; RODRIGUES, Silvio Carlos. **Relações entre potencial matricial no solo e cobertura vegetal em uma estação experimental**, Uberlândia-MG. Sociedade & Natureza, v. 24, p. 103-113, 2012.
- BORMA, L.; GITIRANA JR, G.; LUIZ, G. **Interação solo-plantas-atmosfera e o papel dos solos não saturados**. IJ Carvalho, G. d. Junior, SL Machado, MM Mascarenha, & FC (Org.), Solos não saturados no contexto geotécnico, p. 327-360, 2015.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, Purus**. Rio de Janeiro, v. 20, p. 56, 1978.
- BRASIL, Edilson Carvalho; LIMA, E. do V.; CRAVO, M. da S. **Uso de gesso na agricultura**. Embrapa, 2020.
- BURAK, Diego; PASSOS, Renato; SARNAGLIA, Solange. **Utilização de análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo**. Enciclopédia Biosfera, v. 6, n. 09, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2020. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 7 - Safra 2019/20, n. 10, Décimo Levantamento, Brasília. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. (Acesso em 14/07/2022).
- COOPER, Miguel; MAZZA, Jairo A.; DA SILVA, Laura F. S.; OLIVEIRA, Thalita C. **Física do Solo**, USP, 2017
- CARVALHO, Rosileia da Costa. **Recuperação florestal em açais de várzea submetidos ao manejo intensivo no estuário amazônico**. 2018. 105 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto Amazônico de Agriculturas Familiares, Programa de Pós-graduação em Agriculturas Amazônicas, Belém, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10237>>. Acesso em: 15 de jun. 2023.
- DO NASCIMENTO, Walnice M. O.; DE CARVALHO, E. U.; NETO, J. T. de F.; DE OLIVEIRA, **Necessidade de Irrigação**. Embrapa Amazonia Oriental. 2021.
- DE SOUSA, Djalma Martinhão G. **Bioma Cerrado: Latossolos**. Embrapa. 2021.
- DEXTER, A.R. **Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth**. Geoderma, v.120, p.201-214, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212: 2017.

ERKTAN, A.; OR, D.; SCHEU, S. **The physical structure of soil: Determinant and consequence of trophic interactions.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 148, p. 107876, 2020.

FILHO, F. M. A. COELHO.; BASSOI, L. h.; Angelocci, L. R.; COELHO, E. F.; PEREIRA, F.A. de C. **Relação solo-planta-atmosfera.** Embrapa 2011.

FALESI, Italo Cláudio. **O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia**

GUBIANI, P.I.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M. **método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento.** *Ciência Rural*, v. 36, p. 664-668,2006.

GAMA, M. de et al. Açai (Euterpe spp.): **características, formação de mudas e plantio para a produção de frutos.** Porto Velho, RO. Embrapa, p. 1, 2005.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: Dane, J. H. & Topp, C., eds. **Methods of soil analysis: Physical methods.** Madison, Soil Science of Society of America. 2002.

GROENEVELT, P. H.; GRANT, C. D.; MURRAY, R.S. **On water availability in saline soils.** *Australian Journal soil Research*, v. 42, p. 833-840,2004

GROENEVELT, P. H.; GRANT, C. D.; SEMETSA, S. **A new procedure to determine soil water availability.** *Australian Journal Soil Research*, v. 39, p. 577-598,2001.

HOMMA, AKO et al. **Custo operacional de açazeiro irrigado no Nordeste paraense.** Belém, PA, 2006.

HURTADO, Ana Lucia Berretta. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LIMA, R.P.; SILVA, A. R.; SILVA, A.P.; LEÃO, T.P.; MOSADDEGHI, M.R. **Soil physics: An R package for calculating soil water availability to plants by different soil physical indices.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 120, p. 63-71, 2016.

LIMA, R.P.; TORMENA, C.A.; FIGUEIREDO, G.C.; SILVA, A.R.; ROLIM, M.M. **Least limiting water and matric potential ranges of agricultural soils with calculated physical restriction thresholds.** *Agricultural Water Management*, v. 240, p. 106299, 2020.

LIBARDI, Paulo Leonel. *Dinâmica da Água no Solo* Vol. 61. Edusp, 2005. MADKE, Lara Tamiozzo; RIEGER, Sarah Kuchak Bazilio; ALVES, Daiana Dos Santos Moraes. *A IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA NO BRASIL. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica*, 2022.

MANSINI, Maria Adelaide; MARMOS, Maia José Luiz. **Geodiversidade do Estado do Amazonas:** Programa de Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. CPRM, Manaus, 2010.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B., **Integral energy as a measure of soil water availability.** 2003

MCKENZIE, B.M.; TISDALL, J.M.; VANCE, W.H. **Soil physical quality.** *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, v. 770-777, p. 325-336, 2014. OLIVEIRA, M. S. P; NETO, J. T. F. **Cultivar BRS-Pará: Açazeiro para Produção de Frutos em Terra Firme.** Comunicado Técnico 114. Belém, Pará. 2004. 3p.

NETO, João T. F. **Como Produzir Açai na Entressafra.** Toda Fruta, 11 de set., 2016

- NOGUEIRA, Oscar L.; FIGUEIRÊDO, Francisco J.C.; MULLER, ANTÔNIO, A. **Sistema de Produção do Açaí**. 4ª Edição. Belém, PA: EMBRAPA, jul. 2005.
- NOVAIS, Roberto F.; V., Victo H. A.; De BARROS, Nairam F.; FONTES, R. L. F.; Cantarutti, Reinaldo B.; NEVES, C. L. **Fertilidade do solo**. 1º Ed. Viçosa, MG. 2007.
- PAIVA, I.A.; RITA, Y.L.; CAVALIERI, K.M. **Knowledge and use of visual soil structure assessment methods in Brazil** – A survey. *Soil & Tillage Research*, v. 204, p. 104704, 2020.
- PEREIRA, Bruno Laecio da Silva. **Índice S como indicador de qualidade física em classes de solo**. UFC, Fortaleza, 2012.
- REDIN, M.; SANTOS, G.F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G.L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E.L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Rural*, v.21, n.2, p.381-392, 2011.
- REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; FOX, C.A.; YANG, X.M. **Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality**. *Geoderma*, v. 152, p. 252–263, 2009.
- R Core Team (2016) R: Uma Linguagem e Ambiente para Computação Estatística. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. *Soil science*, v. 58, p. 95-112, 1949.
- ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J. et al. **Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 36, p. 37-44, 2006.
- Santos, G.G.; Silva, E.M.; Marchão, R.L.; Silveira, P.M.; Bruand, A.; James, F.; Becquer, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index analyse de la qualité physique du sol à partir de la courbe de rétention de l'eau : validité de l'indice S. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 343, p. 295-301, 2011.
- Silva, A.P.; Kay, B.D.; Perfect, E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, p. 1775-1781, 1994.
- STATSOFT. **Statistica 7.0**. Tulsa: StatSoft, p. 250. 2004.
- SHAKOURI, Maryam; SHABANPOUR, Mahmoud Shabanpour, **Avaliação da variabilidade espacial da energia integral da água disponível para as plantas e suas propriedades influentes em solo irrigado**. Mar. 2022.
- Tormena, C.A.; Silva, A.P.; Libardi, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 573-581, 1998.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation to predict the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.
- VETTORI, L.; Pierantoni, H. Análise granulométrica: novo método para determinar a fração argila. Rio de Janeiro: Escritório de Pedologia e Fertilidade de Solos, 1968. 8p. (Boletim Técnico 3)
- VIEIRA, Abadio H.; RAMALHO, André R.; NETO, C. R. et al. **Cultivo do açaizeiro (Euterpe oleracea Martius) no noroeste do Brasil**. Embrapa, Porto velho, RO. 2018.
- VALIPOUR, M. **Drainage, waterlogging, and salinity**. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 60, p. 1625–1640, 2014.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J.A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S.G.; TOLEDO, D.M.; FAZ, **A.** **Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health.** *Soil*, v. 1, p. 173–185, 2015.

ZARONI, Maria José, **Solos Tropicais: Argisolos.** Embrapa, 2021.