

EDUARDO JOSÉ BEZERRA DA COSTA

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLO E  
RENDIMENTO DE SORGO EM CULTIVO DE VAZANTE**

SERRA TALHADA-PE  
2013

EDUARDO JOSÉ BEZERRA DA COSTA

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLO E  
RENDIMENTO DE SORGO EM CULTIVO DE VAZANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

**CO-ORIENTADORES:** Prof. Dr. Genival Barros Júnior

Dr. José Nunes Filho

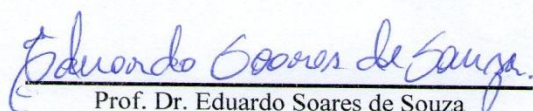
SERRA TALHADA-PE  
2013

EDUARDO JOSÉ BEZERRA DA COSTA

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLO E  
RENDIMENTO DE SORGO EM CULTIVO DE VAZANTE

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Unidade Acadêmica de  
Serra Talhada, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal, para obtenção do título  
de Mestre em Produção Vegetal.

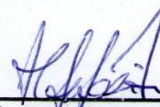
APROVADA: 07 de março de 2013



Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

(UAST/UFRPE)

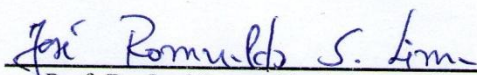
(Orientador)



Prof. Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite

(UAST/UFRPE)

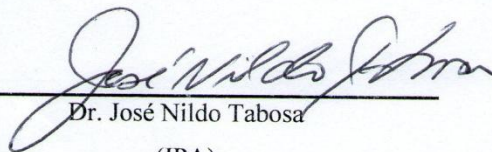
(Examinador Interno)



Prof. Dr. José Romualdo de Sousa Lima

(UAG/UFRPE)

(Examinador Externo)



Dr. José Nildo Tabosa

(IPA)

(Examinador Externo)

Serra Talhada -- PE

2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

C837p Costa, Eduardo José Bezerra da

Propriedades físico-hídricas de solo e rendimento de sorgo em cultivo de vazante./ Eduardo José Bezerra da Costa. – 2013.

73 f.: il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2013.

Inclui referências, apêndice.

1. Cultivo de vazante. 2. Sorgo forrageiro. 3. Solo - Propriedades físico-hídricas. I. Souza, Eduardo Soares de, orientador. II. Barros Junior, Genival, Co-Orientador. III. Nunes Filho, José, Co-Orientador. IV. Título

**CDD 631**

Aos meus pais José Costa de Oliveira e Edelvita Marques por me acompanharem em todos os passos de minha vida profissional, até chegar aonde cheguei. Em especial dedico este trabalho a minha querida tia Maria Judite Marques (*in memoriam*), a todos os meus tios que me têm como um filho, pelo amor e carinho, a minha avó paterna, Josefa, e as minhas irmãs Amélia e Ana Maria pelo incentivo e amizade.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me dado forças, para superar alguns obstáculos e chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo amor, compreensão e incentivo a minha vida acadêmica.

Aos meus familiares, em especial ao meu tio João Marques pelo incentivo, pelo apoio e pela confiança. Aos meus primos que sempre me apoiaram. A Mayra Moura pela força dada durante essa trajetória.

Ao meu orientador, Professor Eduardo Soares de Souza pelas orientações na realização deste trabalho, bem como pelas lições de vida, conselhos e amizade, o meu muito obrigado.

Aos meus co-orientadores Professor Dr. Genival Barros Junior pelo incentivo e amizade e em especial ao Dr. José Nunes Filho pelo apoio na condução dos trabalhos de campo, pela confiança, amizade e pelos ensinamentos agronômicos a mim transmitidos, que serão bastante valiosos na minha formação profissional.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Professor Dr. Adriano Simões, pelo incentivo, e aos demais Professores pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida.

Ao Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, na pessoa de José Nildo Tabosa pela concessão de sementes para a realização do experimento.

À Estação Experimental do IPA Serra Talhada na pessoa de Eraldo Cavalcanti, pela disponibilização da área para realização deste trabalho.

Aos técnicos em Agropecuária, Júnior e Gilberto, pelo apoio e parceria nas atividades de campo.

Aos funcionários do IPA: Laurindo, Tião, Dão e demais funcionários, pelo apoio.

A todos os colegas de mestrado pela amizade durante o curso. E aos amigos Jorge e Rodolfo pelo apoio.

Aos alunos de graduação e estagiários Carlos Vieira, Severino Cavalcanti, Manoel Adalberto, João Cláudio e Joabe Francisco, pela amizade, companheirismo e apoio nas atividades de campo, sem a ajuda de vocês este trabalho não seria concretizado.

À banca examinadora, pela contribuição na melhoria do trabalho.

A todos os amigos da Celpe, em especial: Francisco (Pastinha), Anderson, Joneyldo, Ricássio, John, André, Índio e Duda pelos momentos de descontração.

A todos que de forma direta ou indireta participaram da realização deste trabalho.

OBRIGADO.

## **BIOGRAFIA**

COSTA, EDUARDO JOSÉ BEZERRA DA, filho de José Costa de Oliveira e Edelvita Marques Beserra da Costa, nasceu em Itapetim, em 01 de outubro de 1985. Em março de 2005 iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na capital pernambucana e graduou-se em agosto de 2010. Foi bolsista de Iniciação Científica do CNPq de 2006 a 2007. Em março de 2011, iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal na Unidade Acadêmica de Serra Talhada UAST pertencente à UFRPE, concluindo em março de 2013.



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMO GERAL .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>GENERAL ABSTRACT.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>CAPÍTULO I: AGRICULTURA DE VAZANTE COMO ALTERNATIVA PARA<br/>PRODUÇÃO DE ALIMENTOS .....</b>                  | <b>5</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>CAPÍTULO II: PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLO CULTIVADO<br/>COM SORGO EM AGRICULTURA DE VAZANTE .....</b> | <b>14</b> |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>2.1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>2.4. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DE VARIEDADES DE SORGO EM CULTIVO DE<br/>VAZANTE COM E SEM COBERTURA MORTA.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>3.1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>3.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>3.4. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>69</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Esquema de funcionamento do cultivo de vazante (Fonte: Antonino & Audry, 2001).....  | 8  |
| <b>Figura 2.</b> Croqui e fotografias da área experimental da vazante do açude Saco, Serra Talhada PE.....  | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Infiltrômetro a disco com 8 mm de diâmetro (A), desenho esquemático (B), preparo da superfície do solo (C) e medidas de infiltração entre plantas (D) .....        | 21 |
| <b>Figura 4.</b> Medidas de infiltração baseadas no regime de fluxo estacionário ( $q_{est}$ ) .....  | 24 |
| <b>Figura 5.</b> Penetrômetro de impacto modelo IAA-Planalsucar .....   | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Medidas piezométricas de acompanhamento do nível do lençol freático na vazante durante o ciclo de cultivo do sorgo. ....   | 32 |
| <b>Figura 7.</b> Monitoramento do potencial total da água no solo por meio de um sítio tensiométrico instalado na vazante do açude Saco .....                                       | 33 |
| <b>Figura 8.</b> Estimativa de $\lambda_m$ e de $C_{\lambda_m}$ na 1ª campanha de testes de infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012.....                          | 39 |
| <b>Figura 9.</b> Estimativa de $\lambda_m$ e de $C_{\lambda_m}$ na 2ª campanha de testes de infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012.....                          | 40 |
| <b>Figura 10.</b> Precipitação pluvial e variação do nível do lençol freático nos poços de observação obtidos durante o cultivo de sorgo sob cultivo de vazante, Serra Talhada..... | 58 |
| <b>Figura 11.</b> Altura de plantas de sorgo aos 30, 60, 90 e 110 dias após o semeio, em função da cobertura de solo, Serra Talhada, 2012.....                                      | 61 |

## LISTA DE SIMBOLOS

|                            |   |                                       |
|----------------------------|---|---------------------------------------|
| CAD                        | capacidade de água disponível                           | %                                     |
| A                          | área da ponta da haste                                  | [mm <sup>2</sup> ]                    |
| <i>f</i>                   | fração de energia para promover o impacto               | [Kg]                                  |
| <i>g</i>                   | aceleração da gravidade                                 | [m s <sup>-2</sup> ]                  |
| <i>h</i>                   | potencial matricial e potencial de fornecimento de água | [cm]                                  |
| <i>I(t)</i>                | infiltração acumulada                                   | [mm]                                  |
| <i>K(h)</i>                | condutividade hidráulica não saturada                   | [cm h <sup>-1</sup> ]                 |
| M                          | massa do equipamento                                    | [Kg]                                  |
| N                          | número de impactos                                      | -                                     |
| n                          | número de potenciais de fornecimento de água            | -                                     |
| <i>Q(h)</i>                | fluxo volumétrico médio                                 | [cm h <sup>-1</sup> ]                 |
| <i>Q(h<sub>i+1</sub>)</i>  | fluxo de infiltração volumétrico                        | [cm h <sup>-1</sup> ]                 |
| <i>q(h)</i>                | taxa de infiltração                                     | [cm h <sup>-1</sup> ]                 |
| <i>r</i>                   | raio do disco   | [mm]                                  |
| <i>RP</i>                  | resistência à penetração                                | [MPa]                                 |
| <i>U</i>                   | umidade gravimétrica                                    | [g g <sup>-1</sup> ]                  |
| <i>Y</i>                   | altura de queda do peso que provoca o impacto           | [cm]                                  |
| <i>α</i>                   | inclinação da função exponencial de Gardner             | [mm <sup>-1</sup> ]                   |
| <i>C<sub>λ,m</sub></i>     | concentração de poros                                   | [m <sup>2</sup> ]                     |
| <i>ρ<sub>a</sub></i>       | densidade da água                                       | [kg m <sup>-3</sup> ]                 |
| <i>ρ<sub>p</sub></i>       | densidade das partículas                                | [g cm <sup>-3</sup> ]                 |
| <i>ρ<sub>s</sub></i>       | densidade do solo                                       | [g cm <sup>-3</sup> ]                 |
| <i>λ<sub>c</sub></i>       | comprimento capilar                                     | [cm]                                  |
| <i>λ<sub>m</sub></i>       | raio característico de poros hidraulicamente ativos     | [mm]                                  |
| <i>φ</i>                   | porosidade  | %                                     |
| <i>θ<sub>inicial</sub></i> | teor de umidade volumétrico inicial                     | [cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ]   |
| <i>θ<sub>final</sub></i>   | teor de umidade volumétrico final                       | [cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ]   |
| <i>μ</i>                   | viscosidade dinâmica da água                            | [kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ] |
| <i>σ</i>                   | tensão superficial da água                              | [N m <sup>-1</sup> ]                  |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.</b> Propriedades físicas do solo da vazante do açude Saco – agosto /2012 .....  | 29 |
| <b>Tabela 2.</b> Características químicas do solo da vazante do açude Saco.....  | 30 |
| <b>Tabela 3.</b> Análise físico-química da água da vazante do açude Saco e do lençol freático. 34  |    |
| <b>Tabela 4.</b> Condutividade hidráulica ( $\text{cm}/\text{h}^{-1}$ ) obtidos durante a 1ª campanha de testes, nos diferentes potenciais (h) de fornecimento de água .....   | 34 |
| <b>Tabela 5.</b> Condutividade hidráulica ( $\text{cm}/\text{h}^{-1}$ ) obtidos durante a 2ª campanha de testes, nos diferentes potenciais de fornecimento de água (h) .....   | 35 |
| <b>Tabela 6.</b> Valores de densidade e conteúdo de água no solo referente às duas campanhas de testes de infiltração .....  | 36 |
| <b>Tabela 7.</b> Escalas de comprimento capilar, $\lambda_c$ (cm) e raios característicos de poros $\lambda_m$ (mm) referentes à 1ª campanha de testes infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012 .....       | 37 |
| <b>Tabela 8.</b> Escalas de comprimento capilar, $\lambda_c$ (cm) e raios característicos de poros $\lambda_m$ (mm) referentes à 2ª campanha de testes infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012 .....       | 38 |
| <b>Tabela 9.</b> Resistência do solo a penetração (1ª campanha) .....  | 41 |
| <b>Tabela 10.</b> Resistência do solo a penetração (2ª campanha) .....   | 42 |
| <b>Tabela 11.</b> Análise estatística de comparação da resistência à penetração (MPa) entre as duas campanhas de testes .....  | 43 |
| <b>Tabela 12.</b> Comparação dos valores de umidade (g/g) entre as duas campanhas de testes, para diferentes profundidades.....  | 44 |
| <b>Tabela 13.</b> Propriedades físicas do solo da vazante do açude Saco .....  | 55 |
| <b>Tabela 14.</b> Estande inicial (EI), estande final (EF), taxa de sobrevivência (S), número de plantas por hectare e data de floração das cultivares de sorgo sob cultivo de vazante, Serra Talhada, setembro de 2012..... | 59 |
| <b>Tabela 15.</b> Produção de matéria verde (MV), matéria seca (MS) e percentagem de matéria seca (% MS) de quatro cultivares de sorgo com e sem cobertura morta, Serra Talhada ....   | 62 |
| <b>Tabela 16.</b> Relação da Matéria seca (MS) de colmo, folha e panícula em relação a matéria seca total das plantas da parcela, Serra Talhada.....   | 63 |

## RESUMO GERAL

COSTA, Eduardo José Bezerra da. **Propriedades físico-hídricas de solo e rendimento de sorgo em cultivo de vazante**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE – UAST), Serra Talhada- PE. Orientador: Eduardo Soares de Souza. Co-orientadores: Genival Barros Júnior e José Nunes Filho.

No Nordeste do Brasil, mais de 70 mil pequenas barragens retêm a água proveniente do escoamento superficial e do fluxo de água subterrânea criando pequenos reservatórios. A agricultura de vazante consiste em cultivar os solos nas margens desses reservatórios, em declives leves, enquanto que o nível de água diminui progressivamente, sendo um sistema de cultivo bastante utilizado na região. É caracterizada como uma alternativa de convivência com a seca e de auto-sustento das famílias. Praticada desde os primórdios da agricultura até o presente, principalmente no semiárido. Poucos estudos têm sido realizados sobre a agricultura de vazante, sobretudo no que se refere a caracterização dos parâmetros hidráulicos e dos modelos que descrevem a condição específica dos solos não saturados das vazantes. Esta pesquisa objetivou avaliar o comportamento das características físico-hídricas do solo de vazante cultivado com sorgo, submetido a duas condições de cobertura do solo: presença e ausência de cobertura morta. Neste estudo, buscou-se também analisar o comportamento de quatro cultivares de sorgo (IPA 2502, IPA 4202, IPA 467-42 e IPA SF 25) ao submetê-las as condições de solos com e sem cobertura morta, utilizando-se cinco toneladas/ha de matéria seca da palhada. A cultura do sorgo foi escolhida por sua capacidade de sobreviver e produzir em condições de limitado suprimento de água em períodos longos de seca, condições normalmente encontradas no final do cultivo de vazante. A palhada de taboa (*Typha domingensis*), planta cosmopolita de regiões alagadas, típica de brejos e várzeas, encontrada também no semiárido, foi escolhida como cobertura morta em função da farta disponibilidade de biomassa e pelo fato de não ser fonte de alimento humano e/ou animal da região. Os efeitos do cultivo em vazante nas propriedades físico-hídricas do solo, na conservação da água no solo e conseqüentemente no rendimento do sorgo foram avaliados em 2012, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Sertão do Pajeú, Semiárido pernambucano. Para isso foi imprescindível o estudo e a compreensão da dinâmica da água

nos solos para um manejo adequado e obtenção de melhores rendimentos da cultura em cultivo de vazante. O sorgo foi cultivado com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 20 plantas/metro linear. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, arranjado no esquema fatorial (4x2). As propriedades físico-hídricas avaliadas foram a condutividade hidráulica, a densidade do solo, a resistência a penetração, a porosidade e o conteúdo de água no solo. Para determinar a condutividade hidráulica foi utilizado o infiltrômetro a disco com sucção controlada de 8 cm de diâmetro e para a resistência a penetração foi utilizado o penetrômetro de impacto (modelo IAA-Planalsucar). As medidas foram realizadas entre plantas nas fileiras centrais de cultivo. Paralelamente, avaliaram-se dados de altura da planta, floração inicial, percentagem de plantas sobreviventes e a produção de biomassa. Para análise dos dados utilizou-se o programa estatístico Sisvar, sendo empregado o teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade, para a comparação entre as médias dos tratamentos. As medidas das propriedades física-hídricas do solo foram realizadas em dois momentos: no início do cultivo, logo após a instalação dos tratamentos na área experimental (1ª campanha de testes) e entre a reprodução e maturação de grãos (2ª campanha). Na primeira campanha de testes de infiltração, percebeu-se que os valores de condutividade hidráulica ( $K(h)$ ) foram maiores nos solos cultivados com sorgo sem cobertura morta, exceto para os solos com as variedades de sorgo IPA 4202 e IPA 467-42, nos potenciais  $h$  (0 e -2 cm). Já na segunda campanha, os valores de condutividade hidráulica dos solos com e sem cobertura morta só diferiram estatisticamente quando cultivados com a variedade de sorgo IPA 2502, submetidos aos potenciais  $h$  (-12, -6 e -2 cm). As maiores produções de biomassa são obtidas para as cultivares IPA 467-42 e IPA SF-25. O efeito da cobertura morta foi significativo na produção de MS para a variedade IPA SF-25. Plantas de sorgo (variedade IPA SF-25) com cobertura morta produziram mais matéria seca do que as plantas cultivadas sem cobertura morta. A produtividade média de MS de 12,85 t/ha do experimento indica o cultivo de vazante como uma excelente alternativa para produção de sorgo em período de seca.

**Palavras chave:** cobertura morta, semiárido, sorgo

## GENERAL ABSTRACT

COSTA, Eduardo José Bezerra da. **Physical and hydraulic properties of soil and yield of sorghum in flood recession agriculture.** 2013. 73 f. Master's Degree Dissertation (Masters in Vegetable Production – Federal Rural University of Pernambuco – Academic Unit of Serra Talhada (UFRPE – UAST), Serra Talhada-PE. Supervisor: Dr. Eduardo Soares de Souza. Joint Supervisor: Dr. Genival Barros Júnior e Dr. José Nunes Filho.

In Northeast Brazil, more than 70.000 small dams retain superficial run off and underground water flow, creating small reservoirs. Flood recession agriculture consists of cropping the margins of the reservoirs, on slight slopes, while the water level progressively decreases, and it is a widespread cropping system in this region. It is characterized as a means of survival and self-sustenance that comes from the beginnings of agriculture, and that persists to this day, especially in semiarid. Few studies have been conducted on flood recession agriculture, particularly with regard characterization of hydraulic parameters and models that describe this specific condition of unsaturated soils. This proposed research aims to evaluate the physical-hydric characteristics of soil on flood recession agriculture cropped with sorghum and subjected to two ground cover conditions: with and without mulch. This study also sought to examine the behavior of four sorghum varieties (IPA 2502, IPA4202, IPA and IPASF 25467-4-2) submit them to the conditions of absence and presence of mulch. The sorghum crop was chosen for its ability to survive and produce under conditions of limited waters up plies over long periods of dry conditions usually found at the end of the flood recession agriculture. Cattail (*Typha domingensis*), plant of the flooded regions, typical of wetlands and floodplains, also found in semiarid, but is essentially cosmopolitan, was chosen as mulch depending on the availability of abundant biomass and by not being a food source human and / or animal of the region. The effects of flood recession agriculture on the physical - hydric properties of the soil, conserving water in the soil and consequently yield of sorghum were evaluated in 2012 at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, region of Pajeú, semiarid of the Pernambuco. It was essential to the study and understanding of water dynamics in soils for proper management and obtaining better yields of crop cultivation ebb. Sorghum was cultivated with spacing of 0.8 m between rows and 0.15 m between plants. The design was a randomized block design with four replications arranged in a factorial design (4x2). The

physical-hydric properties were evaluated water hydraulic conductivity, bulk density, resistance to penetration, porosity and water content in the soil. To determine the hydraulic conductivity was used infiltrometer with controlled suction disc 8 cm in diameter and the measurements soils penetration resistance (*RP*) was used impact penetrometer Model (IAA-Planalsucar). The measurements were performed between plants in the central rows of cultivation. Parallel data were evaluated for plant height, flowering initial percentage of surviving plants and biomass production. For data analysis we used the statistical program Sisvar, being employed the Tukey test at 5% probability to compare the treatment means. The measures of the physical and hydraulic properties of soil have been realized on two times: at the beginning of cultivation, after treatment installation in the experimental area (1st test campaign) and between reproductive and maturity stages of grains (2st test campaign). In the first measurement campaign, the hydraulic conductivity values ( $K(h)$ ) were higher in the soils without mulch for all cultivars, except in the soils cropped with sorghum varieties IPA 4202 and IPA 467-42 in the soil water pressure head  $h$  (0 and -2 cm). In the second measurement campaign, the mulch offers a decrease for hydraulic conductivity ( $K(h)$ ) for all treatments, except for  $K(h)$  values in the soil water pressure head  $h$  (-12, -6 and -2 cm) of soils cropped whit sorghum variety IPA 2502. The highest yields of biomass are obtained for the cultivars IPA 467-42 and IPA SF-25. Mulching effect was significant in dry matter for the IPA SF-25 variety. Mulched sorghum plants (IPA SF-25 variety) produced more dry matter than the unmulched plants. The average yield of 12.85 t DM / ha of the experiment indicates that the growing tide is an excellent alternative to sorghum production in the dry season.

**Keywords:** mulch, semiarid, sorghum



## **CAPÍTULO I: AGRICULTURA DE VAZANTE COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS**

O cultivo de vazante é historicamente antigo, vem desde os primórdios da agricultura, no entanto ainda é bastante explorado (Guerra, 1975; Barbosa et al.,1980). Dados históricos indicam que essa forma de agricultura surgiu desde o começo da civilização, tendo sido identificada no Egito por volta de 4.000 a.C (Mazoyer & Roudart, 1997). Esse tipo de cultivo caracteriza-se por ser uma alternativa de sobrevivência e de auto-sustento, que, e que até hoje persiste, principalmente no Sertão Pernambucano (Antonino & Audry, 2001).

A agricultura de vazante é uma prática que consiste na utilização dos solos potencialmente agricultáveis nas margens dos açudes, rios e lagos que ficam cobertos pelas águas na época chuvosa (Duque, 1973; Guerra, 1975). É uma prática típica do semiárido, aonde o agricultor vai plantando nas margens à proporção que o reservatório de água vai secando, acompanhando a redução hídrica. Prática essa que garante a família agricultora obter leguminosas (feijão fava), cucurbitáceas (abóbora, melancia e maxixe), gramíneas (milho, capim) e tubérculos (batata doce).

A vazante é uma alternativa viável para utilização dos recursos hídricos dos açudes para fins agrícolas, sendo uma prática de cultivo de baixo custo, que independe de sistemas de irrigação, e que a umidade existente no solo é dependente da presença do lençol freático raso e da ascensão capilar. Segundo Guerra (1975), a existência de açudes públicos e privados distribuídos pela região Nordeste do Brasil permite a sobrevivência de muitas pessoas, mesmo nos anos de secas intensas, através da exploração de suas vazantes. Essa forma de agricultura continua sendo praticada perto de moradias e aluviões das vazantes dos rios, ou seja, terras já fertilizadas que não exigiam, portanto, desmatamento.

O cultivo de vazante permite a produção de alimentos mesmo em condições irregulares de chuvas (Antonino et al., 2005), assegurando a continuidade da produção no período mais seco do ano, que compreende os meses de julho a dezembro, como é comum na região do semiárido. É importante frisar que a exploração agrícola de vazantes de açudes em pequenas áreas, não deve comprometer a oferta de água para o consumo humano e animal.

A exploração da vazante não apresenta sérias limitações se o solo for bem manejado e se o plantio é efetuado em covas com o teor de umidade do solo próximo da saturação (Silva et al., 1981). De acordo com esses autores o sistema de preparo manual do solo viabiliza a exploração das vazantes, pois permite que o tráfego nas operações de plantio seja reduzido ou mesmo inexistente, o que reduz os riscos de compactação. Também promove a aeração do solo mobilizado e reduz a perda de água por evaporação.

A agricultura de vazante é uma prática utilizada por pequenos produtores que não possuem estrutura para a irrigação (Silva et al., 1981). As produtividades em áreas de vazantes têm sido, em geral, significativamente superiores aquelas obtidas em campos longe da água. Essa vantagem está na dependência do tipo de solo, além de outros fatores, como a manutenção da umidade e do teor de matéria orgânica do solo (Guerra, 1975). As culturas desenvolvidas nessas áreas, além de possibilitarem a geração de trabalho e renda, permitem a produção de alimentos para as comunidades e de forragem para o gado na entressafra, isto é, no período seco (Silans, 2002).

O cultivo de vazante possui grande importância socioeconômica e é caracterizado pela baixa utilização de insumos químicos, onde os trabalhos são, normalmente, realizados por mão-de-obra familiar, com o uso de instrumentos simples e em pequenas áreas (Farias Filho & Ferraz Junior, 2009). Mesmo diante dessa importância, ainda há poucos estudos científicos sobre a agricultura desenvolvida nas vazantes. Neste contexto, é imprescindível aferir se o cultivo de vazante, além de garantir o suporte alimentar das famílias e rebanhos, é uma alternativa economicamente viável, isto é, avaliar o seu potencial real de produção, visando possibilidades de produzir alimentos que possam ser comercializados em maiores escalas e não apenas restritos basicamente à reprodução das famílias.

Poucos estudos têm sido realizados sobre esses sistemas, e pouco se sabe sobre seu balanço hídrico, a caracterização dos parâmetros hidráulicos do solo não saturado e, conseqüentemente, poucos modelos que descrevem esta condição específica local estão disponíveis (Montenegro et al., 1998). O funcionamento hidrodinâmico do sistema deve ser considerado globalmente, porém, o funcionamento da cultura de vazante se baseia na ascensão capilar da água até as raízes das plantas que estão em contato com o lençol freático que acompanha o espelho de água do açude. Este processo controla o desenvolvimento das plantas na zona de vazante. Segundo Antonino & Audry (2001), o açude além de fornecer água para uso humano, animal e para irrigação, está sujeito a

evaporação direta e alimenta o aquífero freático que se forma a montante sob o solo da vazante.

Na literatura nacional e internacional existem muitos trabalhos que determinaram a dinâmica e variabilidade da precipitação e da evapotranspiração, sendo em número bem menor os que determinaram esses aspectos com relação infiltração de solos cultivados em regiões semiáridas (Bezerra & Trindade 2006; Costa, 2008; Souza et al., 2008). Apesar de ser uma técnica bastante utilizada é notória a ausência de estudos mais aprofundados sobre o cultivo de vazante, o que não possibilita uma avaliação das suas potencialidades (Antonino & Audry 2001).

Na Figura 1 apresenta-se um esquema de funcionamento do cultivo de vazante elaborado por Antonino & Audry (2001). Segundo esses autores, as margens do açude proporcionam a formação de um lençol freático como prolongamento do reservatório de água. A medida que o nível do açude vai baixando, o nível do lençol também decresce. Assim o açude alimenta o aquífero freático que se forma sob o solo da vazante. Nessas condições, a cultura de vazante funciona da seguinte maneira: em uma primeira fase (Etapas 1 e 2 da Figura 1), a planta utiliza a água do lençol freático, que alimenta, por ascensão capilar, a zona explorada pelo sistema radicular.

Na fase seguinte (Etapa 3 da Figura 1), quando o sistema radicular não consegue mais acompanhar o rebaixamento do lençol, em relação ao açude, a planta utiliza apenas a água armazenada na zona explorada pelo sistema radicular. Ao longo do ciclo da cultura, a planta absorve a água, mas não extrai os sais nela dissolvidos. Estes sais presentes na água ficam concentrados no solo. A concentração da solução do solo aumenta à medida que a água é evaporada e/ou evapotranspirada e, pela ascensão capilar, ou quando a concentração excede a solubilidade de um determinado sal, ocorre a precipitação do sal. Dependendo da salinidade inicial da água do açude e da intensidade dos processos envolvidos, amplia-se o risco de salinização, que pode reduzir e até anular a produção da cultura.

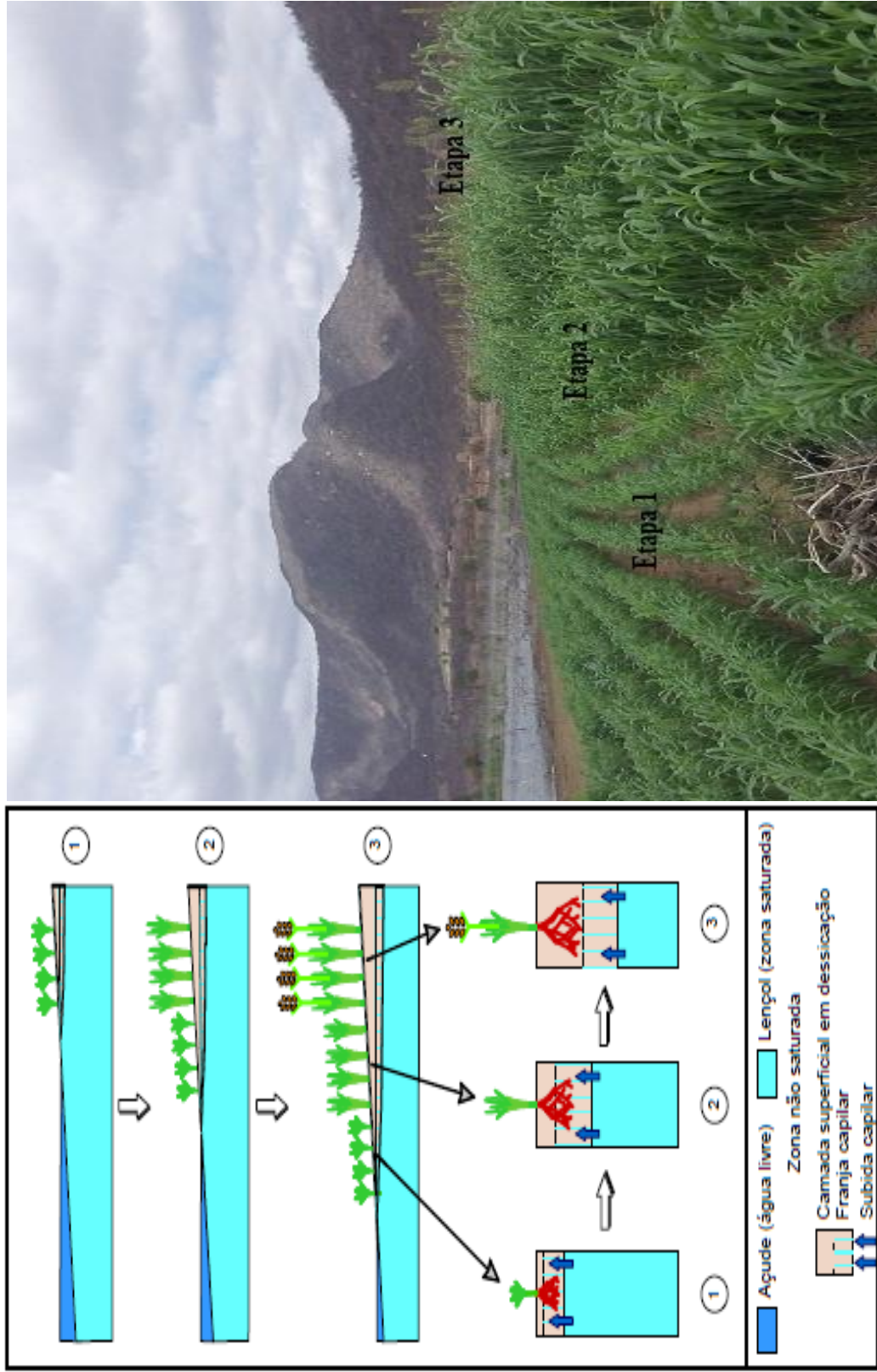


Figura 1. Esquema de funcionamento do cultivo de vazante (Fonte: Antonino & Audry, 2001)

Segundo Ahloowalia et al. (2004) a salinidade do solo é um dos principais problemas para a agricultura mundial. De acordo com Madjigoto (1994), as baixas precipitações pluviométricas e as altas demandas atmosféricas na região norte da África, tem levado os agricultores a buscar alternativas para conviver com os riscos de seca. Uma das alternativas utilizadas por esses agricultores foi a substituição do plantio de culturas mais sensíveis a escassez de água pelo sorgo, cultura que apresenta mecanismos de resistência a seca. O sorgo é bastante utilizado por se adaptar melhor às mudanças climáticas, bem como por sua utilização na alimentação humana e na produção de forragem (Mazoyer, 1987). O sorgo vem sendo cultivado nas faixas de terras disponibilizadas pelo rebaixamento dos açudes, sendo utilizado para produção de forragem e principalmente para a alimentação humana, constituindo a maior fonte de alimento e de rações da África e Oriente Médio, especialmente na Nigéria, Etiópia e Índia.

Tabosa et al. (2007) afirmam que o sorgo é uma gramínea que caracteriza-se por ser ligeiramente tolerante a fatores abióticos relevantes. Ainda de acordo com esses autores, diversas variedades de sorgo foram consideradas relativamente mais tolerantes do que o milho, apresentando melhor potencial forrageiro, quando cultivados em áreas salinas. Nesse sentido o sorgo surge como alternativa bastante favorável as condições de vazante no semiárido, de forma que em áreas salinizadas ajuda a resolver o sério problema regional de escassez de forragens, principalmente durante o período seco do ano.

O sucesso do sistema de vazante se deve a capacidade do solo armazenar água por período de tempo satisfatório à finalização do ciclo da cultura, associado à capacidade da planta suportar o estresse-hídrico. A cultura do sorgo é bastante conhecida por sobreviver e produzir em condições de limitado suprimento de água em períodos longos de seca. Planta do tipo C4 que apresenta boa eficiência fotossintética. Segundo Magalhães et al. (2007), esta cultura apresenta dois mecanismos para suportar o estresse hídrico: i) o escape através do sistema radicular profundo e ramificado o qual é eficiente na extração de água no solo; e ii) a tolerância que está relacionada ao nível bioquímico, ou seja, a planta diminui o metabolismo, murcha e tem o poder de recuperação quando o estresse é interrompido. Dentre os genótipos conhecidos, destacam-se os distribuídos nos grupos granífero, forrageiro e sacarino (Pitombeira et al., 2002).

Embora os solos funcionem como um excelente reservatório de água para a agricultura de vazante existe um desperdício muito grande através da evaporação de água desses solos. Essa evaporação é mais acentuada quando ocorre o período de seca. A

utilização de palhadas ou restolhos de culturas como cobertura morta, pode contribuir para retenção da umidade no solo, garantido a produção mais regular das plantas cultivadas no sistema de vazante. Segundo Andrade et al. (2002), a presença de palhada na superfície do solo previne a evaporação e reduz a taxa de evapotranspiração das culturas, sendo uma prática importante principalmente nas regiões semiáridas, onde a demanda evapotranspirativa é aumentada em decorrência da alta incidência de radiação solar e baixa umidade do ar, concorrendo para uma maior demanda hídrica.

Diversas pesquisas demonstram os efeitos benéficos dos restos culturais nas propriedades do solo e na produção das culturas (Oliveira et al., 1999; Texeira Neto, 2002). Os resíduos vegetais mantidos na superfície do solo funcionam como um reservatório de nutrientes que são liberados lentamente pela ação dos microorganismos. Além disso, aumentam a estabilidade estrutural, protegem contra a erosão hídrica e reduzem a evaporação da água do solo.

A espécie vegetal para a cobertura morta deve ser escolhida em função da farta disponibilidade de biomassa e que de preferência não se constitua como fonte de alimento humano e/ou animal da região. Deve-se optar por espécies de gramíneas com facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação da cobertura, eficiente reciclagem, funcionando como fonte de nutrientes (Argenta et al., 2001).

Neste contexto, a taboa (*Typha domingensis*), planta de regiões alagadas, típica de brejos e várzeas, e que se encontra espalhada por todo o mundo, inclusive no Semiárido brasileiro, apresenta atributos relevantes para que seja empregada como cobertura morta de solos.

É de fundamental importância buscar conhecimentos e técnicas para aperfeiçoar o cultivo visando aumentar a produtividade nas áreas de vazante. Diante do exposto esta pesquisa objetivou avaliar as propriedades físico-hídricas do solo em área de vazante, cultivado com sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) submetidos a duas condições de cobertura do solo (presença e ausência de cobertura morta), bem como avaliar o desempenho produtivo de quatro cultivares de sorgo em agricultura de vazante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLOOWALIA, B. S.; MELUZYNSKI, M.; NICTERLEIN, K. Global impact of mutation derived varieties. **Euphytica**, Wageningen, v. 135, p. 187-204, 2004.

ANDRADE, R. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 35- 38, 2002.

ANDRADE, M. C. **A terra e o homem no nordeste**: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. Ed. 2. São Paulo 1964.

ANTONINO, A. C. D. e AUDRY, P. **Utilização de Água no cultivo de vazante no semiárido do Nordeste do Brasil** – Recife, Ed. UFPE; IRD Institut de Recherche pour Le Développement, França, 2001

ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER; S. L. M. G., MONTENEGRO; A. M. NETTO; ANGULLO-JARAMILLO R.; LIRA, C. B. O. Subirrigation of land bordering small reservoirs in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: monitoring of water balance. **Agricultural Water Management**, v.73, p. 131-147, 2005.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FLECK, N. G.; BORTOLINI, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.851-860, 2001.

BARBOSA, A. R.; LYRA, H. A.; FREITAS, M. L.; HOLANDA, P. E. M. **As Vazantes e a tecnologia de produção**. Natal, RN. EMATER, 1980. 17p.

BEZERRA, R. B.; TRINDADE, A. G. **Caracterização de parâmetros pluviométricos, térmicos do balanço hídrico climatológico e desmatamento de porto velho** Geografia - v. 15, n. 1, 2006 – Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências

COSTA, P. D. M. **Dinâmica e Variabilidade do vapor de água na Península Ibérica**, Universidade de Aveiro, 2008. 98p. (Tese Doutorado).

CARVALHO, O. Comportamento dos principais sistemas de produção da zona semiárida. In: CARVALHO, O. **Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas no Nordeste**. Brasília. Desenvolvimento regional. 1973.

DUQUE, J. G. Algumas questões da exploração de açudes públicos. In: DUQUE, J. G. Solo e água no polígono das secas. 4 ed. Fortaleza, CE: DNOCS, 1973. P129-156. (DNOCS. Publicação, 154).

FARIAS FILHO, M. S.; FERRAZ JUNIOR, A. S. A cultura do arroz em sistema de vazante na baixada maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 39, n. 2, p. 82-91, 2009.

GUERRA, P. B. Agricultura **de vazante – um modelo agronômico nordestino**. In: Seminário Nacional de irrigação e drenagem 3, 1975, Fortaleza, CE. v.4, p. 325-330.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia, In: **Cultivo do sorgo**, 3, Ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. p. 12-14.

MADJIGOTO, R. Etude monographique d'un village soudano-sahélien et de son évolution en rapport avec les aléas pluviométriques. L'exemple de Moudourou. N'Djaména, Université de N'Djaména, Mémoire de maîtrise en gestion de l'environnement en milieu aride, 65 p. 1994.

MAZOYER, M. Rapport de Synthèse Provisoire. Colóquio “Dynamique de Systèmes Agraires”, Paris: Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur/ Ministère de La Coopération, 1987. 20p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. Histoire des agricultures du monde: du néolithique à la crise contemporaine. Paris: Seuil, 1997. 531 p.

MONTENEGRO, A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; ANTONINO, A. C.; MONTEIRO A. L. Evolução da zona saturada em agricultura de vazante: açude Cajueiro, Pernambuco. **Anais IV simpósio de recursos hídricos do Nordeste**. Novembro 1998. Campina Grande, Brasil.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.

PITOMBEIRA, J. B.; CASTRO, A. B.; POMPEU, R. C. F. F.; NEIVA, J. N. M. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará, **Ciência Agrônômica**, 33: 20-24, 2002.

SILVA, A. S.; PORTO, E. R.; MORGADO, L. B.; MARTINS, C. E. **Uma técnica simples de exploração de vazantes de açudes – Pequena irrigação para o trópico semi-árido: vazantes e cápsula porosa**. Petrolina, PE, 1981. 62 p. EMBRAPA/CPATSA. Boletim de pesquisa, 3.

SILANS, A. P. Alternativas científicas e tecnológicas para o abastecimento de água no Semiárido. In: **Água e Desenvolvimento Sustentável no Semiárido**, Série Debates, n. 24. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2002. p. 133-160.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; MACIEL NETTO, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; BORGES, E. Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 32, p. 1795-1804, 2008.

TABOSA, J. N.; COLAÇO, W.; REIS, O. V.; SIMPLÍCIO, J. B.; CARVALHO, H. W. L.; DIAS, F. M. Sorghum genotypes evaluation under salinity levels and gamma ray. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p.339-350, 2007.



TEIXEIRA NETO, M. L. **Efeito de espécies vegetais para cobertura, no sistema plantio direto na região dos cerrados, sobre as propriedades do solo.** Goiânia, 2002. 151p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

## **CAPÍTULO II: PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLO CULTIVADO COM SORGO EM AGRICULTURA DE VAZANTE**

### **RESUMO**

A agricultura na região semiárida muitas vezes é limitada devido à grande variabilidade temporal e espacial das chuvas e a alta demanda atmosférica, que configuram uma região com déficit hídrico na maior parte do ano. Esse regime hidrológico característico constitui um dos principais fatores que afetam a produtividade agrícola nessa região. Diante desse cenário, uma das alternativas para a prática da agricultura de pequena escala consiste na chamada agricultura de vazante, que surge como uma forma de se produzir alimentos mesmo com a irregularidade das chuvas. Para o manejo racional do cultivo de vazante é imprescindível estudos sobre a dinâmica da água no solo, sobretudo na zona não saturada, onde o movimento e a sua redistribuição são extremamente influenciados pelas propriedades físico-hídricas do solo. Nesse sentido é imprescindível a compreensão dessas propriedades, visando aperfeiçoar o uso da água e o manejo adequado do solo em agricultura de vazante. No entanto, poucos estudos têm sido realizados sobre esse sistema de cultivo bem como sobre essas propriedades de solos em área de vazante. Diante do exposto, objetivou-se avaliar as propriedades físico-hídricas do solo cultivado com quatro variedades de sorgo, em vazante, e submetidas a duas condições de cobertura de solo: presença e ausência de cobertura morta. A pesquisa foi realizada no período de junho a outubro do ano agrícola de 2012, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Sertão do Pajeú, Semiárido pernambucano. Na primeira campanha de medição, os valores de condutividade hidráulica ( $K(h)$ ) foram maiores nos solos sem cobertura morta para todas as cultivares, exceto para os solos cultivados com as variedades de sorgo IPA 4202 e IPA 467-42 nos potenciais  $h$  (-2 e 0 cm). Já a resistência a penetração ( $RP$ ) dos solos não evidenciou aumento ou redução, em função da presença ou ausência de cobertura morta. Na segunda campanha de medições, a presença de palhada proporcionou uma redução nos valores de condutividade hidráulica de  $RP$  nos solos para todos os tratamentos, exceto para os valores de  $RP$  obtidos na camada de 20-40 cm dos solos cultivados com a variedade de sorgo IPA 4202.

**Palavras chave:** cobertura morta, condutividade hidráulica, resistência a penetração

## PHYSICAL AND HYDRAULIC PROPERTIES OF SOIL IN FLOOD RECESSION AGRICULTURE

### ABSTRACT

The agriculture in the semiarid region is often limited due to the large temporal and spatial variability of rainfall and high atmospheric demand, which make up a water deficit in the region with most of the year. This characteristic hydrologic regime is one of the main factors that affect productivity in this region. Given this scenario, an alternative to the practice of small-scale agriculture is the farming called on flood recession agriculture, which appears as a way to produce food even with the irregular rainfall. For the rational management of the growing tide is essential dynamics studies of soil water, especially in the unsaturated zone, where movement and their redistribution are extremely influenced by hydro-physical properties of soil. In this sense it is essential to understand these properties, aiming to improve water use and adequate soil management in on flood recession agriculture. However, few studies have been conducted on this system of cultivation as well as those properties of soils in the area on flood recession agriculture. Given the above, aimed at evaluating the physical and hydraulic properties of a soil cultivated with four sorghum cultivars, in ebb and subjected to two ground cover conditions: with and without mulch. This research was performed during the period from June to October of the 2012 harvest, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, region of Pajeú, of Northeast Brazil. In the first measurement campaign, the hydraulic conductivity values ( $K(h)$ ) were higher in the soils without mulch for all cultivars, except in the soils cropped with sorghum varieties IPA 4202 and IPA 467-42 in the soil water pressure head  $h$  (0 and -2 cm). The measurements soils penetration resistance ( $RP$ ) did not demonstrate rise or fall, when compared to soils in the presence and absence of mulch. In the second measurement campaign, the mulch offers a decrease for both hydraulic conductivity ( $K(h)$ ) and soil penetration resistance ( $RP$ ) for all treatments, except for  $RP$  values obtained in the 20-40 cm layer of soils cropped with sorghum variety IPA 4202 and  $K(h)$  values in the soil water pressure head  $h$  (-12, -6 and -2 cm) of soils cropped with sorghum variety IPA 2502.

**Keywords:** hydraulic conductivity, mulch, resistance to penetration

## 2.1. INTRODUÇÃO

A agricultura na região semiárida brasileira muitas vezes é limitada devido à grande variabilidade temporal e espacial das chuvas e a alta demanda atmosférica, que configuram uma região com déficit hídrico na maior parte do ano. Esse regime hidrológico característico constitui um dos principais fatores que afetam a produtividade das forrageiras nas atividades agropecuárias dessa região. Diante disso, os agricultores dessas localidades têm buscado outras formas de explorar a terra, pois a agricultura de sequeiro é bastante vulnerável ao clima. Neste cenário, uma das alternativas para a prática da agricultura no semiárido, consiste na chamada agricultura de vazante, que surge como uma forma de se produzir alimentos em razão da irregularidade das chuvas.

O sucesso de um sistema de vazante no semiárido está associado à capacidade dos solos armazenarem água por período de tempo satisfatório à finalização do ciclo da cultura e a aptidão da cultura suportar o estresse hídrico, o que é comumente observado no final do ciclo da vazante. Em vista disso, o sorgo surge como uma cultura bastante favorável às condições de vazante do semiárido, pois o seu rendimento nestas áreas ajuda a resolver o problema regional de escassez de forragens, principalmente durante o período seco do ano (Tabosa et al., 2002).

O sorgo é uma alternativa adequada para a produção de forragem na região semiárida por se tratar de uma planta do tipo C4, xerófila e que apresenta alta eficiência fotossintética. É uma cultura moderadamente tolerante as adversidades climáticas (Tabosa et al., 2007), onde períodos prolongados de escassez de chuvas e de alta demanda atmosférica de água do solo por evaporação podem limitar a sua produção (Pitombeira et al., 2004). Para minimizar este problema, uma solução é manter a umidade no solo por maior período de tempo, para isso a utilização de palhadas como cobertura morta, pode garantir a produção mais regular das plantas cultivadas na agricultura de vazante. Trata-se de uma prática barata e eficaz que minimiza os efeitos da evaporação e prolonga a disponibilidade hídrica nesses solos.

Visando aperfeiçoar o uso da água, obter e garantir a produção de alimentos em época de estiagem é necessário o estudo da dinâmica da água no solo, para proporcionar um bom manejo da água em todo o ciclo da cultura de vazante. Para isso é indispensável o estudo das propriedades físico-hídricas do solo na busca de conhecimentos que visem o aperfeiçoamento do cultivo bem como o aumento da produtividade nessas áreas. Segundo

Reichardt et al. (2004), a infiltração da água no solo determina o balanço de água na zona das raízes e, por isso, o conhecimento do processo e de suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água, na agricultura de vazante. Vários métodos têm sido desenvolvidos para se estimar as propriedades hidráulicas de solos a partir de medidas de fluxos transitórios ou estacionários da infiltração, obtidas com um infiltrômetro a disco ajustado a uma sucção  $h$  controlada.

O processo de infiltração pode ser estudado utilizando-se dispositivos como infiltrômetros a disco (Antonino et al., 2001; Souza et al., 2008), também chamados permeômetros a disco (Borges et al., 1999). Técnicas baseadas nesses infiltrômetros são de grande interesse, pois permitem determinar propriedades hidráulicas do solo como a condutividade hidráulica ( $K$ ) *in situ*, de forma simples e rápida, minimizando as perturbações no solo.

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para compreender a própria dinâmica da água, seja para analisar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente. Diante disto, é importante conhecer e determinar os principais componentes do ciclo hidrológico (precipitação pluvial, evapotranspiração, infiltração de água no solo) nessa região, para que o manejo dos recursos hídricos seja feito de forma eficaz.

Segundo Pott & De Maria (2003), vários fatores podem influenciar o movimento de água no solo, entre eles a porosidade (Perroux & White, 1988; Everts & Kanwar, 1992), a densidade do solo (Sales et al., 1999), a cobertura do solo (Roth et al., 1985; Sidiras & Roth, 1987), a textura e o grau de agregação do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), a umidade inicial (Araújo Filho & Ribeiro, 1996), a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (Klar, 1984).

Outro aspecto importante em solos do semiárido diz respeito ao surgimento de encrostamentos, camadas adensadas na superfície do solo, que resultam em aumentos substanciais das suas resistências mecânicas e hidráulicas, levando a vários efeitos adversos. O aumento da resistência mecânica causa problemas na germinação e dificulta o crescimento da planta (Pabayiotopoulos et al., 1994; Beemster & Masle, 1996), bem como a penetração das raízes (Martino & Shaykewich, 1994; Costantini et al., 1996; Samson et al., 1996). O aumento da resistência hidráulica, por outro lado, se reflete em problemas de infiltração de água nos solos. A formação de crosta é fortemente dependente da

composição do solo, especialmente da mineralogiado solo, do teor de matéria orgânica (Johnson et al.,1979; Cousen & Farres, 1984;. Le Bissonnais et al., 1989).

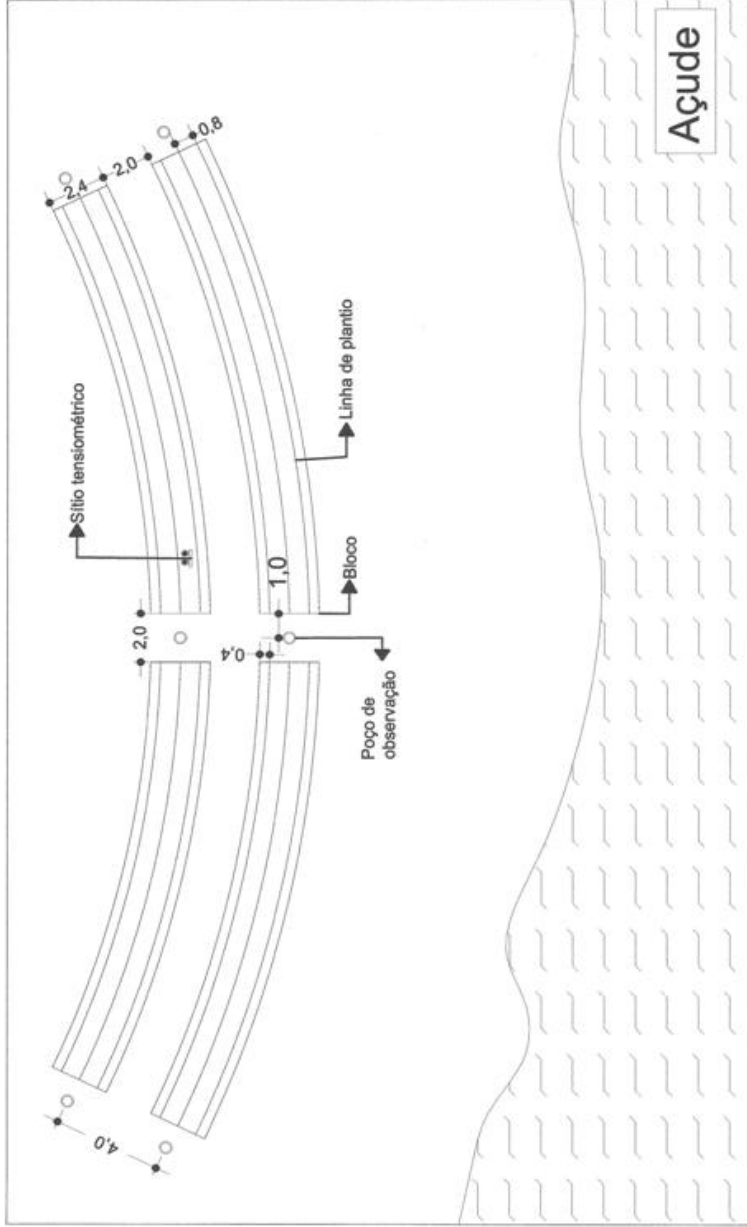
Diante do exposto este trabalho objetivou avaliar as propriedades físico-hídricas do solo em área de vazante, cultivado com quatro variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) submetidos a duas condições de cobertura do solo (presença e ausência de cobertura vegetal).

## **2.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### ***2.2.1. Área de estudo***

O experimento em cultivo de vazante foi conduzido no Município de Serra Talhada na Estação Experimental Dr. Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, em Serra Talhada (latitude: 7°59'S, longitude: 38°15'O e altitude: 431 m), mais precisamente nas proximidades do Açude Saco, localizado na microrregião do Sertão do Pajeú. O clima da região é do tipo BSw<sup>h</sup>' (semiárido megatérmico), de acordo com a classificação de Koppen, sendo os meses mais quentes aqueles com maiores níveis de chuva e os meses frios aqueles mais secos. Segundo a EMBRAPA (2006) o solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo. Na Figura 2 é apresentado o croqui e três fotografias da área experimental.

Para monitorar a transferência de água no solo, seis poços de observação (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) foram instalados nas extremidades e no centro da área experimental, como também um sítio tensiométrico de mercúrio nas profundidades de 0,15 e 0,30 metros na parte central do experimento e nas proximidades do poço P4 (Figura 2). Os poços de observação permitiram o acompanhamento semanal do nível do lençol freático, entre 02 de agosto a 15 de outubro de 2012, enquanto que os tensiômetros possibilitaram avaliar o comportamento do potencial total da água no solo, acima do nível do lençol freático, ou seja, na zona não saturada, durante o período de 25 de agosto a 15 de outubro de 2012.



**Figura 2.** Croqui e fotografias da área experimental da vazante do açude Saco, Serra Talhada PE

### **2.2.2. Medidas das propriedades físico-hídricas**

As propriedades físico-hídricas avaliadas foram a condutividade hidráulica do solo, a resistência do solo a penetração, além de medidas de densidade e de conteúdos de água no solo. Durante cada teste de infiltração, também foram coletadas amostras de solo para determinação dos conteúdos volumétricos de água inicial ( $\theta_{\text{inicial}}$ ) e final ( $\theta_{\text{final}}$ ) e da densidade do solo ( $\rho_s$ ). Durante os testes de resistência a penetração, foram coletadas amostras deformadas para determinação da umidade gravimétrica. As amostras acondicionadas em embalagens que não permitiam a perda de água por evaporação, foram pesadas para a obtenção da massa úmida e levadas à estufa à temperatura padrão (105 °C) até atingirem peso constante (massa seca do solo). Para determinação da densidade do solo ( $\rho_s$ ) foram coletadas amostras indeformadas a partir de um cilindro de volume conhecido acoplado ao trado tipo Uhland. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105 °C, por 48 h, para determinação da densidade do solo.

A condutividade hidráulica (K) foi obtida por meio de um infiltrômetro a disco de 8 cm de diâmetro com sucção controlada concebido por Perroux & White (1988), que por meio de uma fonte de água circular descreve a infiltração tridimensional axissimétrica da água em solo não saturado (Philip, 1984). Paralelo as medidas de infiltração realizaram-se testes para avaliar a resistência do solo à penetração (RP) a partir do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf de ponta fina (30°) (Stolf, 1991). Tanto as medidas de infiltração como as de resistência do solo a penetração foram realizadas nas linhas centrais de cada parcela, com o infiltrômetro e o penetrômetro posicionados entre plantas, seguidos de quatro repetições.

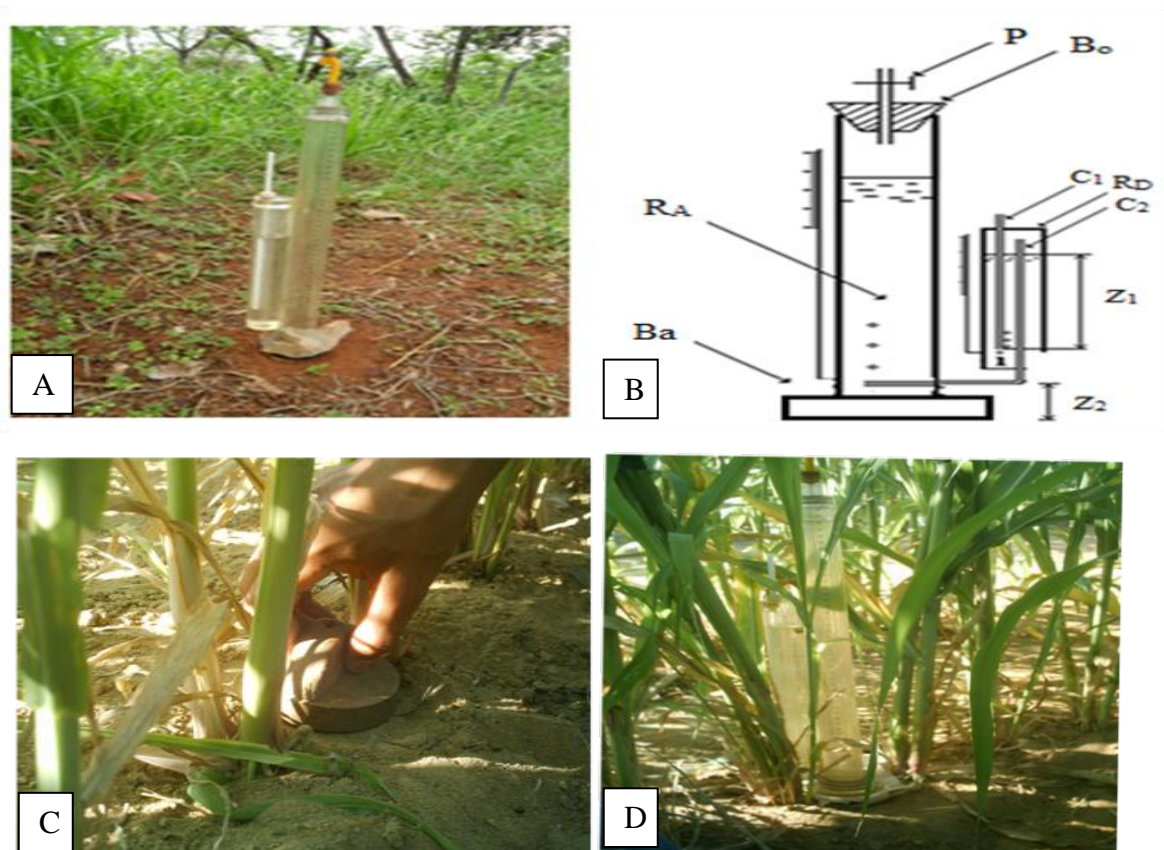
#### **2.2.2.1. Medidas com o infiltrômetro a disco**

O infiltrômetro a disco com sucção controlada, também denominado de permeâmetro a disco ou infiltrômetro de tensão, é bastante utilizado para a determinação de propriedades hidrodinâmicas do solo, como a condutividade hidráulica do solo não saturado,  $K(h)$ , *in situ* de forma simples e rápida causando o mínimo possível de perturbação no solo. Trata-se de um equipamento de fácil transporte e que requer pouca água para realização dos testes de infiltração. O infiltrômetro a disco utilizado, com base de



80 mm de diâmetro, foi concebido por Perrooux & White (1988). Um tubo graduado funciona como reservatório de alimentação ( $R_A$ ) para o fornecimento de água é fechado no seu topo por uma rolha de borracha ( $B_o$ ) na qual está acoplado um pequeno tubo munido de um duto flexível e de uma pinça de Mohr ( $P$ ). Outro reservatório tubular ( $R_D$ ) contém um tubo de aeração ( $C_1$ ) que pode ser deslocado verticalmente possibilitando impor uma pressão constante de fornecimento de água,  $h_0$ , sendo menor ou igual a pressão atmosférica, na base do infiltrômetro. O tubo  $C_2$  realiza a comunicação entre o reservatório e a base do infiltrômetro.

A base do infiltrômetro a disco foi imersa em balde com água para preenchimento do reservatório de alimentação por sucção. Completada esta etapa, o sistema foi fechado com auxílio da pinça de Morh, mantendo-o hermeticamente fechado. Após o ajuste do potencial de fornecimento de água ( $h$ ) e com a superfície do solo previamente preparada, iniciou-se o teste, que consistiu em cronometrar o tempo em que determinadas lâminas de água são infiltradas até que o fluxo de água atinja o estado estacionário (Figura 3).



**Figura 3.** Infiltrômetro a disco com 8 mm de diâmetro (A), desenho esquemático (B), preparo da superfície do solo (C) e medidas de infiltração entre plantas (D)

### ***Determinação da condutividade hidráulica***

Como o movimento de água em solos não saturados é extremamente dependente da relação condutividade hidráulica  $K$  [ $L T^{-1}$ ] e potencial matricial  $h$  [L], neste trabalho propôs-se descrever a curva  $K(h)$  a partir da expressão exponencial de Gardner (1958):

$$K(h) = K_s \cdot \exp(\alpha h) \quad (1)$$

onde,  $K_s$  é a condutividade hidráulica saturada e  $\alpha$  é a inclinação da função exponencial de Gardner (1958). Os valores de  $K(h)$  foram calculados a partir das medições de infiltração no regime estacionário para diferentes potenciais de fornecimento, aplicando-se a equação de Wooding (1968):

$$q(h) = \frac{Q(h)}{\pi r^2} = K(h) \left[ 1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (2)$$

onde,  $q(h)$  [ $cm h^{-1}$ ] é a taxa de infiltração no regime estacionário,  $Q(h)$  [ $cm^3 h^{-1}$ ] é o fluxo volumétrico médio obtido nos instantes finais do processo de infiltração para determinados potenciais de fornecimento de água  $h$  [cm],  $r$  é o raio da base do infiltrômetro a disco,  $K(h)$  [ $cm h^{-1}$ ] é a condutividade hidráulica não saturada, e  $\alpha$  [ $mm^{-1}$ ] é a inclinação da função exponencial de Gardner (1958):

$$\alpha_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\ln\left(\frac{Q(h_i)}{Q(h_{i+1})}\right)}{h_i - h_{i+1}}; i = 1, \dots, n - 1 \quad (3)$$

onde  $\alpha_{i+1/2}$  é a inclinação exponencial no ponto médio entre dois potenciais de pressão ( $h_i$  e  $h_{i+1}$ ),  $Q(h_i)$  e  $Q(h_{i+1})$  são os fluxos de infiltração volumétrico para os respectivos potenciais, e  $n$  é o número de potenciais fornecidos. A partir da substituição da Equação (2) na Equação (1), obtém-se:

$$K\left(h_{i+\frac{1}{2}}\right) = \frac{Q\left(h_{i+\frac{1}{2}}\right)}{1 + \frac{4}{\left(\pi r \alpha_{i+\frac{1}{2}}\right)}} \quad (4)$$

onde  $Q_{i+1/2}$  é referente a infiltração entre os dois potenciais de fornecimento de água ( $h_i + h_{i+1}$ )/2, e é dado por:

$$Q\left(h_{i+\frac{1}{2}}\right) = \exp\left[\frac{\ln(Q(h_i)) + \ln(Q(h_{i+1}))}{2}\right] \quad (5)$$

Adicionalmente, dois pares de  $K$  e  $\alpha$  são obtidos assumindo que os valores de  $\alpha$  entre os maiores ( $h_i$ ) e os menores ( $h_n$ ) valores de potenciais de fornecimento de água são iguais a  $\alpha_{3/2}$  e  $\alpha_{n-1/2}$ , respectivamente (Messing & Jarvis, 1993):

$$K(h_1) = \frac{Q(h_i)}{1 + \frac{4}{\left(\pi r \alpha_{\frac{3}{2}}\right)}} \quad (6)$$

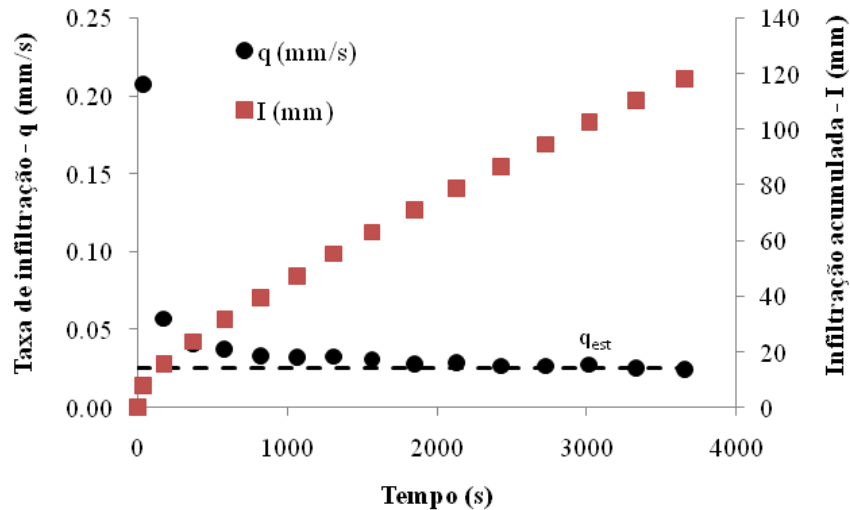
e

$$K(h_1) = \frac{Q(h_n)}{1 + \frac{4}{\left(\pi r \alpha_{n-\frac{1}{2}}\right)}} \quad (7)$$

A leitura da variação do nível de água do reservatório de alimentação em função do tempo permitiu a obtenção da infiltração acumulada  $I(t)$ . A partir das cinco últimas leituras de sua estabilização foram definidas as taxas de infiltração no regime estacionário, ou seja,  $q(h) = dI/dt = \text{constante}$ .

Nessa proposta foi utilizado o método de multi-potenciais (Ankeny et al., 2000) para determinação de  $Q(h)$ , aplicando sucessivamente quatro potenciais de 0, -4, -8 e -16 centímetros de coluna d'água, que de acordo com os procedimentos descritos anteriormente (Eqs. 1 – 6), permitiu estimar a condutividade hidráulica não saturada para  $h = 0, -2, -6, -12$  e  $-16$  cm. Os testes de infiltração foram realizados inicialmente com o  $h = -16$  cm e seguiu-se até  $h = 0$ . Esses testes foram realizados em um mesmo ponto para os diferentes potenciais de fornecimento de água ( $h$ ).

As medidas foram realizadas em duas épocas: i) no início do cultivo, após determinação dos tratamentos na área experimental (1ª campanha de testes). ii) entre a reprodução e maturação de grãos (2ª campanha). Essas observações foram interrompidas quando a variação do nível de água no reservatório ( $R_A$ ), em função do tempo, tornou-se constante, ou seja, quando o regime estacionário ( $q_{est}$ ) foi alcançado (Figura 4).



**Figura 4.** Medidas de infiltração baseadas no regime de fluxo estacionário ( $q_{est}$ )

Durante os testes de infiltração foram coletadas amostras indeformadas para determinação das umidades inicial ( $\theta_{inicial}$ ) e final ( $\theta_{final}$ ) e da densidade do solo ( $\rho_s$ ). No início dos testes as amostras de solos foram coletadas cerca de 20 cm da borda do disco e depois dos ensaios, logo após a estabilização das leituras, removeu-se rapidamente o infiltrômetro e a fina camada de areia, para em seguida serem coletadas amostras indeformadas com o trado de Uhland para determinação da umidade final e da densidade do solo.

#### *Escalas de comprimento capilar e raios característicos do solo*

No processo de infiltração tridimensional o fluxo de entrada de água no solo pode ser afetado pela geometria da fonte de água, pela capilaridade e pela gravidade; referidos fatores são caracterizados pelas escalas de comprimento capilar,  $\lambda_c$  [L] (White & Sully, 1987) e o raio característico de poros hidraulicamente ativos,  $\lambda_m$  [L] (Philip, 1987) determinados, respectivamente, pelas equações. Quando uma relação exponencial  $K(h)$  (Eq. (1)) é escolhida, pode-se escrever:

$$\lambda_c = \frac{1}{\alpha} \tag{8}$$

onde,  $\lambda_c$  é a escala de comprimento capilar e representam a magnitude relativa entre as forças de capilaridade e gravitacional na transmissão de água a partir de uma fonte mantida com  $\theta_{\text{inicial}}$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), conteúdo de água sob um potencial de pressão impostos pelo infiltrômetro a disco em um solo com conteúdo de água inicial ( $\theta_n$ ). O solo é considerado suficientemente seco para definir  $K(h_n) \approx 0$ . Além disso, o  $\lambda_c$  é uma forma de se avaliar a estrutura do solo através da sua relação com o raio característico de poros hidraulicamente ativos,  $\lambda_m$ . Isto é definido por Philip (1987) que baseou-se na teoria da capilaridade de Laplace para expressar a relação:

$$\lambda_m = \frac{\sigma}{\rho_a g} \cdot \frac{1}{\lambda_c} \quad (9)$$

sendo  $\lambda_m$  o raio característico de poros hidraulicamente ativos,  $\sigma$  a tensão superficial da água ( $0,0719 \text{ N m}^{-1}$ ),  $\rho_a$  é a densidade da água ( $10^3 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m s}^{-2}$ ),  $b$  é igual a 0,55 (White & Sully, 1987).

A escala de comprimento capilar (Eq. 8) representa a importância relativa das forças capilares em relação à gravidade, quando a água é transmitida de uma fonte mantida a  $\theta_{\text{final}}$  através do solo, com umidade inicial  $\theta_{\text{inicial}}$ . O raio característico de poros (Eq. 9) define a dimensão média dos poros que participam do processo de infiltração. Quanto maior for o raio característico,  $\lambda_m$ , maior será o efeito da gravidade em comparação com o da capilaridade.

A concentração de raio característico de poros  $\lambda_m$ ,  $C_{\lambda_m}$  (número de poros  $\text{m}^{-2}$ ), é estimada usando-se a lei de Poiseuille para fluxo em um tubo capilar, a partir da seguinte expressão (Watson & Luxmoore, 1988):

$$C_{\lambda_m} = \frac{8\mu K_d}{\rho_a g \lambda_m} \quad (10)$$

sendo  $\mu$  a viscosidade dinâmica da água ( $0,00089 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ).

O infiltrômetro a disco permitiu medições das propriedades hidráulicas perto da saturação, onde o fluxo de água é determinada, principalmente, pela macroporosidade do solo. Os poros hidraulicamente ativos foram classificados segundo os critérios propostos por Wilson & Luxmore (1988) como: macroporos ( $\lambda_m > 0,5 \text{ mm}$ ) e dentro da classe de



mesoporos duas subclasses: mesoporosidade 1 ( $0,25 < \lambda_m < 0,5$  mm) e mesoporosidade 2 ( $0,1 < \lambda_m < 0,25$  mm).

#### **2.2.2.2. Medidas com o penetrômetro de impacto**

A utilização de um parâmetro chamado Índice de Cone (IC) permite diagnosticar a resistência do solo a penetração, e para isso são utilizados equipamentos denominados de penetrômetros. A avaliação da resistência do solo à penetração ( $RP$ ) no presente estudo foi determinada a partir do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf de ponta fina ( $30^\circ$ ) (Stolf, 2005), apresentado na (Figura 5).



**Figura 5.** Penetrômetro de impacto modelo IAA-Planalsucar

Foi avaliado o número de impactos por decímetro (dm) na camada de 0-60 cm de profundidade. Esses testes seguiram o mesmo arranjo amostral dos ensaios de infiltração, ou seja, também foram determinados entre plantas nas fileiras centrais do cultivo de sorgo. Devido à influência da umidade nas determinações da resistência do solo a penetração, tomou-se o cuidado de realizar as medidas em todos os pontos no mesmo dia para garantir as mesmas condições de umidade do solo. As amostras para determinação da umidade gravimétrica do solo,  $U$  ( $g\ g^{-1}$ ), foram coletadas nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. Essas coletas foram realizadas entre linhas de cultivo no intuito de minimizar possíveis danos na área útil do experimento.

O penetrômetro de impacto do modelo IAA-Planalsucar/Stolf, também conhecido como bate-estaca, tem como princípio de funcionamento a penetração de uma haste de ponta fina através do impacto de um peso de massa conhecida, que desce em queda livre a uma altura constante. A cada impacto mede-se a penetração da haste no solo. A leitura da penetração é feita na própria haste que é graduada em centímetros. O aparelho apresenta as seguintes características: peso que provoca o impacto: 4 kg; curso de queda livre: 400 mm; cone ângulo sólido 30°; área da base 1,28 cm<sup>2</sup> e diâmetro da haste que penetra no solo: 9,5 mm (tanto a espessura da haste como as dimensões do cone, foram padronizadas pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 1999).

Considera-se para efeito de cálculo a força da gravidade ( $g$ ) e a massa dos demais componentes do penetrômetro. A fórmula modificada por Stolf (2005), considerada para o cálculo de índice de cone, é descrita a seguir:

$$RP = \frac{(M+m)g}{A} + \frac{fMgY}{10A} N \quad (11)$$

onde  $RP$  [ $kgf\ cm^{-2}$ ] é a resistência à penetração conhecido como Índice de Cone,  $M$  é a massa total do equipamento (4 Kg),  $m$  é massa do peso que provoca o impacto (3,2 Kg),  $g$  ( $9,8\ m/s^2$ ) é aceleração da gravidade,  $f$  é a fração de energia restante para promover a penetração [ $M/(M+m)$ ],  $Y$  [cm] é a altura de queda do peso que provoca o impacto,  $N$  é o número de impactos e  $A$  [cm<sup>2</sup>] é a área da ponta da haste.

Dividindo-se a última expressão pela área da ponta da haste  $A$  [cm<sup>2</sup>], obtém-se:

$$RP(Kgfc\ m^{-2}) = 5,6 + 6,89.N \quad (12)$$

E finalmente, para transformar  $\text{kgf.cm}^{-2}$  em mega pascal (MPa) utiliza-se a equação abaixo:

$$RP(\text{MPa}) = 0,0980655 * \text{Kgf.cm}^{-2} \quad (13)$$

### 2.2.3. Delineamento estatístico

O experimento obedeceu a um delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2 (quatro cultivares de sorgo e duas condições de cobertura de solo), com quatro repetições. Para análise dos dados utilizou-se o programa estatístico Sisvar, sendo empregado o teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade, para a comparação entre as médias de tratamentos. As cultivares utilizadas foram: IPA 2502 (de duplo propósito e de porte médio), IPA 4202 (forrageiro de porte intermediário), IPA 467-42 e IPA SF 25 (forrageiro de porte alto). As condições de cobertura de solo foram: presença e ausência de cobertura morta. As propriedades físico-hídricas avaliadas foram a condutividade hidráulica, a densidade do solo, a resistência a penetração, a porosidade e o conteúdo de água no solo. Todas as medidas foram realizadas entre plantas nas fileiras centrais de cultivo, em duas campanhas de testes. Esses valores também foram comparados no tempo pelo teste de Student (*t*) a 5% de probabilidade.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os dados das principais propriedades físicas do solo da área experimental, que não apresentam uma grande variação textural e estrutural entre os blocos. Verifica-se um percentual de areia elevado, acima de 80%, com classe textural variando de franco arenoso (blocos I e IV) a areia franca (blocos II e III). Os valores de densidades do solo ( $\rho_s$ ) e das partículas ( $\rho_p$ ), também não apresentaram grandes variações, o que contribui para a semelhança entre os valores de porosidade total do solo, que é considerada um parâmetro de importância relevante para avaliar a sua qualidade estrutural, pois descreve a proporção do volume de solo que disponibiliza água e ar às raízes das plantas.

Os valores de  $\rho_s$ , em todos os blocos, encontram-se abaixo do valor relatado como limitador do crescimento radicular ( $1,55 \text{ g/cm}^3$ ) e conseqüentemente, ao pleno



desenvolvimento das culturas (Camargo & Alleoni, 1997). Os valores observados de porosidade total foram ligeiramente inferiores aos relatados em trabalhos publicados por Kondo & Dias Junior (1999), Silva et al. (2000) e Beutler et al. (2001). O mesmo foi observado em trabalho de Ribon et al. (2002) em argissolos e latossolos com diferentes cultivos. A densidade do solo é uma propriedade variável e depende da estrutura e do grau de compactação do solo. A densidade tende a aumentar em função de diversos fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros fatores. O material constituinte do solo tem grande influência sobre o valor da densidade, assim como os sistemas de uso e manejo e tipo de cobertura vegetal. Os valores de densidade encontrados nesta pesquisa foram inferiores aos valores apontados na literatura como sendo limitantes ao desenvolvimento do sorgo.

No tocante às características de retenção de água no solo, as umidades na capacidade de campo (0,33 atm) e no ponto de murcha permanente (15 atm) e conseqüentemente a água disponível, apresentam valores próximos para todos os blocos, com exceção do bloco 3 que apresentou valores inferiores.

**Tabela 1.** Propriedades físicas do solo da vazante do açude Saco – agosto /2012

| Blocos | $\rho_s$ | $\rho_p$ | $\varphi$ | Umidades |        | CAD  | Areia | Silte | Argila | Classe textural |
|--------|----------|----------|-----------|----------|--------|------|-------|-------|--------|-----------------|
|        |          |          |           | 0,33 atm | 15 atm |      |       |       |        |                 |
|        | $g/cm^3$ |          |           | -----%   |        |      |       |       |        |                 |
|        | 1,51     | 2,49     | 39        | 6,97     | 3,32   | 3,65 | 81    | 7     | 12     | Franco arenoso  |
| II     | 1,54     | 2,50     | 38        | 6,24     | 2,74   | 3,50 | 83    | 7     | 10     | Areia franca    |
| III    | 1,49     | 2,49     | 40        | 5,03     | 2,96   | 2,07 | 82    | 8     | 10     | Areia franca    |
| IV     | 1,53     | 2,50     | 38        | 6,78     | 3,66   | 3,12 | 80    | 8     | 12     | Franco arenoso  |

$\rho_s$  – densidade do solo;  $\rho_p$  – densidade das partículas  $\varphi$  – porosidade total do solo; CAD - capacidade de água disponível

Quanto as características químicas (Tabela 2), o solo da área experimental é considerado alcalino de acordo com os valores encontrados de pH variando de 7 a 8. Os solos da região semiárida apresentam normalmente, argila de alta atividade e percentuais de saturação de bases elevados. Os altos valores de pH e a presença de sais limitam, muitas vezes, o desenvolvimento das plantas. Quando o pH do solo é ligeiramente alcalino, tendendo a alcalino, o desenvolvimento das culturas pode ser prejudicado devido à baixa disponibilidade do fósforo e/ou dos micronutrientes como ferro, manganês, cobre e zinco.

Além disso, este solo apresenta concentrações ideais de potássio e uma relação cálcio–magnésio próximo a ideal (4:1).

Em relação aos teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , e  $Mg^{3+}$ , pode-se dizer que, o desenvolvimento das culturas não foi prejudicado pela deficiência desses elementos, uma vez que seus teores variaram de médio a alto. Esta variação influenciou o valor da CTC, o qual é de relevante importância no que diz respeito à fertilidade do solo. Constatou-se uma variabilidade nos teores de fósforo entre os blocos, com a área do bloco II ( $56 \text{ mg/dm}^3$ ) apresentando um teor três vezes abaixo do encontrado no bloco I ( $160 \text{ mg/dm}^3$ ). Este é um resultado coerente para uma área antes ocupada com pastagem e que possivelmente tenha causado essa distribuição irregular desses nutrientes devido a distribuição aleatória de fezes e urina pelo gado. Isto também pode ser o resultado da aplicação de adubos, originando alguns sítios com teores mais altos de fósforo, associada à baixa mobilidade do fósforo no solo, a qual pouco altera a distribuição resultante após cada preparo do solo (Souza et al., 1998). No entanto esse comportamento não interferiu no experimento, já que não houve diferenças entre blocos.

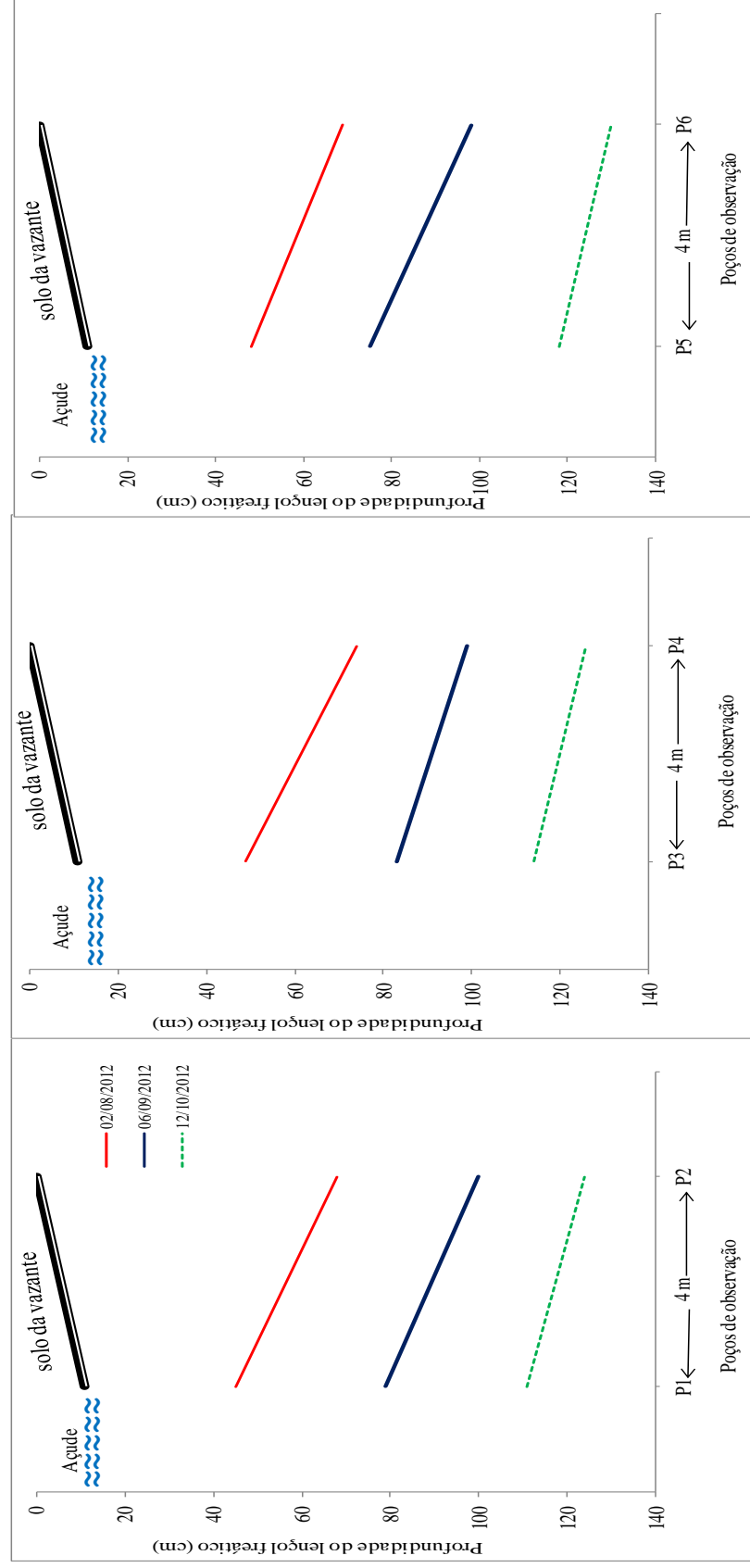
**Tabela 2.** Características químicas do solo da vazante do açude Saco

| Blocos | pH               | P                  | Ca                               | Mg   | Na   | K           | CTC  | V   | m   |
|--------|------------------|--------------------|----------------------------------|------|------|-------------|------|-----|-----|
|        | H <sub>2</sub> O | mg/dm <sup>3</sup> | -----cmolc/dm <sup>3</sup> ----- |      |      | -----%----- |      |     |     |
| I      | 8,00             | 160                | 4,30                             | 1,50 | 0,52 | 0,30        | 6,62 | 100 | 7,9 |
| II     | 8,00             | 56                 | 3,70                             | 1,50 | 0,55 | 0,35        | 6,10 | 100 | 9,0 |
| III    | 8,00             | 80                 | 3,70                             | 1,50 | 0,55 | 0,31        | 6,06 | 100 | 9,0 |
| IV     | 7,70             | 135                | 5,00                             | 1,50 | 0,46 | 0,35        | 7,31 | 100 | 6,3 |

Na Figura 6 são apresentadas as leituras da variação do nível do lençol freático. No início do cultivo do sorgo (27/06/12), foram realizadas algumas perfurações no solo com auxílio de um trado (tipo holandês) e constatou-se que a profundidade mínima do lençol freático foi de 15 centímetros. Em seguida, de 02/08 a 12/10, quando a profundidade do lençol freático passou a ser monitorada por meio de piezômetros, verificou-se um aumento na profundidade do lençol freático de 63 centímetros em média, com taxa de rebaixamento do lençol freático de 8,5 mm/dia em média. A profundidade máxima atingida pelo lençol freático, que foi de 128 cm, durante o período experimental. Isso possibilitou um turno de plantio adequado ao ciclo da cultura. Para todos os poços de observação percebeu-se que a

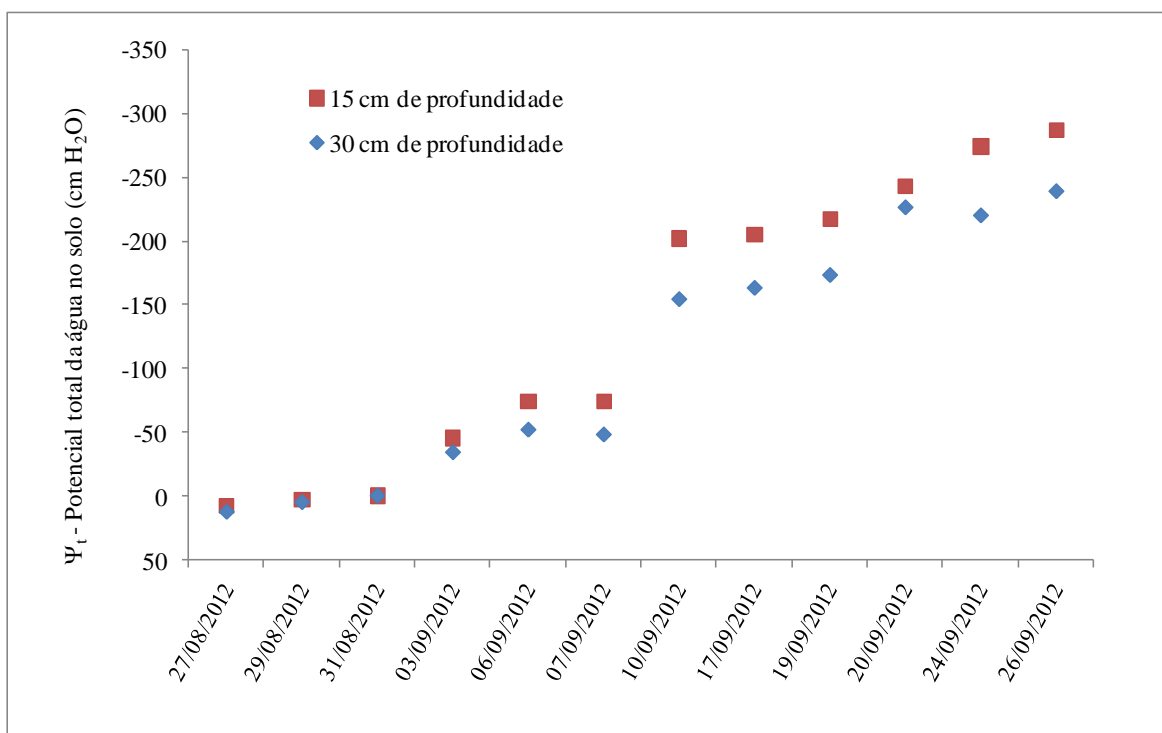
variação existente da profundidade do nível d'água deve-se ao afastamento do nível do açude, e que os poços mais próximos ao açude apresentavam um lençol freático mais superficial.

É importante salientar que em nenhum momento, durante o monitoramento dos piezômetros, houve elevação do nível lençol freático da vazante, que foi alimentada apenas pela água do açude. O acompanhamento do nível em que se encontravam as águas subterrâneas bem como a sua dinâmica forneceram dados essenciais para o manejo da vazante e da cultura (Figura 6).



**Figura 6.** Medidas piezométricas de acompanhamento do nível do lençol freático na vazante durante o ciclo de cultivo do sorgo.

As medidas tensiométricas foram obtidas de 25 de agosto a 26 de setembro de 2012. Os valores das leituras do sítio tensiométrico instalado próximo ao poço P4, possibilitaram avaliar o comportamento do potencial hidráulico na zona não saturada da vazante, ou seja, acima do lençol freático (Figura 7). As medidas tensiométricas obtidas nos primeiros dias foram próximas a zero ( $\Psi_t = 0$ ) nas duas profundidades (15 e 30 cm), identificando uma zona próxima da saturação que se formou devido ao fenômeno da capilaridade (franja capilar). A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada com a umidade e conseqüentemente com o potencial total da água no solo. É importante também frisar que o experimento foi conduzido em um período marcado por grande seca no semiárido, considerada a maior dos últimos cinquenta anos (INMET, 2012).



**Figura 7.** Monitoramento do potencial total da água no solo por meio de um sítio tensiométrico instalado na vazante do açude Saco

Os valores de condutividade elétrica para a água do açude não apresentou grande variação do início até o final do experimento, sendo esta água classificada como C3S1. Enquanto que para o lençol freático a condutividade elétrica média foi de 5525  $\mu\text{S}/\text{cm}$  superando consideravelmente os valores analisados para a água do açude, classificando a água dos poços como C4S1, não sendo apropriada para irrigação. Os dados da análise físico-química da água do açude encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Análise físico-química da água da vazante do açude Saco e do lençol freático

| Parâmetros  | Açude Saco | Açude Saco |
|---|------------|------------|
|   | 22/06/2012 | 18/09/2012 |
| Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25^\circ$ ) | 948,2      | 1123,1     |
| pH  | 8,4        | 9,3        |
| Sólidos totais dissolvidos (mg/L)                               | 538        | 628        |
| Alcalinidade Total em $\text{CaCO}_3$ (mg/L)                    | 182        | 226,2      |
| Relação de adsorção de sódio (RAS)                              | 0,51       | 0,54       |
| Classificação para irrigação                                    | C3S1       | C3S1       |

Na Tabela 4 são apresentados os valores de condutividade hidráulica  $K(h)$ , referentes à primeira campanha de infiltração, para os diferentes potenciais de fornecimento de água. Quando a sucção diminui, os valores de  $K(h)$  aumentam.

A presença de cobertura morta proporcionou um aumento significativo nos valores de  $K(h)$  nos solos cultivados com a variedade IPA 2502, quando submetidos aos potenciais  $h = -12, -6$  e  $-2$  cm de água.

**Tabela 4.** Condutividade hidráulica ( $\text{cm}/\text{h}^{-1}$ ) obtidos durante a 1ª campanha de testes, nos diferentes potenciais (h) de fornecimento de água

| condições de<br>cobertura do solo | Cultivares de sorgo |            |            |            |
|-----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|
|                                   | IPA 2502            | IPA 4202   | IPA 467-42 | IPA SF 25  |
| -----K(h= -16 cm) -----           |                     |            |            |            |
| com cobertura                     | 0,111 Aa            | 0,093 Aa   | 0,082 Aa   | 0,065 Aa   |
| sem cobertura                     | 0,112 Aa            | 0,131 Aa   | 0,090 Aa   | 0,116 Aa   |
| -----K(h = -12 cm) -----          |                     |            |            |            |
| com cobertura                     | 0,193 Ba            | 0,231 Aa   | 0,172 Aa   | 0,134Aa    |
| sem cobertura                     | 0,459 Aa            | 0,239 Aab  | 0,222 Ab   | 0,224 Aab  |
| -----K(h= -6 cm) -----            |                     |            |            |            |
| com cobertura                     | 0,819 Bb            | 0,930 Ab   | 0,959 Ab   | 0,832 Ab   |
| sem cobertura                     | 4,114 Aa            | 0,962 Ab   | 1,256 Ab   | 0,911 Ab   |
| -----K(h= -2 cm) -----            |                     |            |            |            |
| com cobertura                     | 25,755 Ba           | 26,532 Aa  | 32,774 Aa  | 15,721 Aa  |
| sem cobertura                     | 65,680 Aa           | 18,755 Ab  | 26,021 Aab | 21,491 Ab  |
| -----K(h= 0 cm) -----             |                     |            |            |            |
| com cobertura                     | 286,153 Aa          | 276,934 Aa | 275,787 Aa | 113,907 Aa |
| sem cobertu                       | 370,587 Aa          | 136,044 Aa | 246.414 Aa | 172,884 Aa |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).  $K(h)$ : condutividade hidráulica.

Percebe-se uma variabilidade altíssima nos valores de  $K(h)$  para  $h = 0$  e  $-2$  cm. Isso está associado à variabilidade espacial da condutividade hidráulica no solo (Warrick & Nielsen, 1980; Jong van Lier & Libardi, 1999), que para potenciais próximos a zero é mais alta, principalmente quando determinada a partir medidas de infiltração de água no solo,

onde se dá de maneira mais rápida. Segundo Queiroz (1995), os valores de condutividade hidráulica podem apresentar coeficiente de variação de 100 a 200% em solos de várzea.

Na segunda campanha de testes (Tabela 5), são encontrados valores de condutividade hidráulica inferiores para todos os tratamentos na presença de cobertura morta no solo. A cobertura no solo manteve a umidade no solo por mais tempo, e isso contribuiu para que o processo de infiltração de água no solo se desse de maneira mais lenta. Pode-se notar diferença significativa para as cultivares IPA SF 25 nos potenciais  $h$  iguais a -16 e -12 cm de água e IPA 4202 para o potencial  $h$  igual -16 cm de água.

**Tabela 5.** Condutividade hidráulica ( $\text{cm}/\text{h}^{-1}$ ) obtidos durante a 2ª campanha de testes, nos diferentes potenciais de fornecimento de água ( $h$ )

| Condições de cobertura do solo | Cultivares de sorgo |            |            |            |
|--------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|
|                                | IPA 2502            | IPA 4202   | IPA 467    | IPA SF 25  |
| -----K(h= -16 cm) -----        |                     |            |            |            |
| com cobertura                  | 0,358 Aa            | 0,181 Ba   | 0,105 Aa   | 0,129 Ba   |
| sem cobertura                  | 0,479 Aa            | 0,500 Aa   | 0,264 Aa   | 0,524 Aa   |
| -----K(h = -12 cm) -----       |                     |            |            |            |
| com cobertura                  | 0,646 Aa            | 0,521 Aa   | 0,320 Aa   | 0,261 Ba   |
| sem cobertura                  | 0,836 Aa            | 1,076 Aa   | 0,471 Aa   | 0,901 Aa   |
| -----K(h = -6 cm) -----        |                     |            |            |            |
| com cobertura                  | 1,530 Aa            | 3,345 Aa   | 1,685 Aa   | 1,695 Aa   |
| sem cobertura                  | 2,308 Aa            | 3,923 Aa   | 2,590 Aa   | 3,067 Aa   |
| -----K(h = -2 cm) -----        |                     |            |            |            |
| com cobertura                  | 13,853 Aa           | 59,134 Aa  | 24,526 Aa  | 25,712 Aa  |
| sem cobertura                  | 33,089 Aa           | 67,438 Aa  | 34,103 Aa  | 30,989 Aa  |
| -----K(h = 0 cm) -----         |                     |            |            |            |
| com cobertura                  | 50,003 Aa           | 367,088 Aa | 154,478 Aa | 155,518 Aa |
| sem cobertura                  | 170,813 Aa          | 412,578 Aa | 157,025 Aa | 167,918 Aa |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).  $K(h)$ : condutividade hidráulica.

Os maiores valores de condutividade hidráulica ocorreram nas áreas sem cobertura morta, onde os efeitos mais intensos da evaporação proporcionaram uma redução do conteúdo de água do solo. A presença de cobertura morta manteve o conteúdo de água do solo mais elevado, e conseqüentemente essas parcelas apresentaram valores menores de condutividade hidráulica.

Durante os testes de infiltração os valores do conteúdo inicial de água no solo ( $\theta_{\text{inicial}}$ ) com cobertura morta foram maiores que as umidades nos solos sem cobertura morta, porém não houve diferença significativa entre esses valores do ponto de vista estatístico (Tabela 6). Na segunda campanha de infiltração (Tabela 5), os valores de condutividade hidráulica para os solos cultivados com IPA 4202 e IPA SF 25,

apresentaram diferença significativa quanto às condições com e sem cobertura morta do solo, para  $h$  igual a -16 cm de água. Esse comportamento está intimamente relacionado ao conteúdo inicial de água desses solos, que tiveram uma magnitude nos solos com estas cultivares, embora os valores do conteúdo inicial de água no solo não tenham apresentado diferença significativa.

**Tabela 6.** Valores de densidade e conteúdo de água no solo referente às duas campanhas de testes de infiltração

| Cultivares de sorgo | Condições de cobertura do solo | 1ª Campanha |                           |                         | 2ª Campanha |                           |                         |
|---------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|
|                     |                                | $D_s$       | $\theta_{\text{inicial}}$ | $\theta_{\text{final}}$ | $D_s$       | $\theta_{\text{inicial}}$ | $\theta_{\text{final}}$ |
| IPA 2502            | com cobertura                  | 1,49 b      | 0,041 a                   | 0,392 a                 | 1,63 a      | 0,028 a                   | 0,386 a                 |
|                     | sem cobertura                  | 1,50 b      | 0,040 a                   | 0,367 a                 | 1,63 a      | 0,028 a                   | 0,293 a                 |
| IPA 4202            | com cobertura                  | 1,48 b      | 0,042 a                   | 0,329 a                 | 1,45 a      | 0,027 a                   | 0,277 a                 |
|                     | sem cobertura                  | 1,53 a      | 0,040 a                   | 0,316 a                 | 1,56 a      | 0,020 a                   | 0,367 a                 |
| IPA 467-42          | com cobertura                  | 1,54 a      | 0,042 a                   | 0,371 a                 | 1,39 a      | 0,022 a                   | 0,225 a                 |
|                     | sem cobertura                  | 1,56 a      | 0,030 a                   | 0,361 a                 | 1,59 a      | 0,022 a                   | 0,286 a                 |
| IPA SF 25           | com cobertura                  | 1,49 b      | 0,054 a                   | 0,416 a                 | 1,42 a      | 0,035 a                   | 0,423 a                 |
|                     | sem cobertura                  | 1,50 b      | 0,049 a                   | 0,384 a                 | 1,58 a      | 0,028 a                   | 0,376 a                 |

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).  $D_s$ : densidade do solo,  $\theta_{\text{inicial}}$ : conteúdo de água inicial,  $\theta_{\text{final}}$ : conteúdo de água final.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de  $\lambda_c$  e  $\lambda_m$  obtidos para os diferentes potenciais de infiltração. Segundo Beutler et al. (2000), a permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água. Analisando os solos com cobertura morta na primeira campanha, verificou-se que para  $h = -2$  cm, houve diferença significativa no  $\lambda_c$  e no  $\lambda_m$  somente para o solo cultivado com a IPA 2502.



**Tabela 7.** Escalas de comprimento capilar,  $\lambda_c$  (cm) e raios característicos de poros  $\lambda_m$  (mm) referentes à 1ª campanha de testes infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012

| Condição de cobertura do solo    | Cultivares de sorgo |          |            |           |
|----------------------------------|---------------------|----------|------------|-----------|
|                                  | IPA 2502            | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| $\lambda_c$ (cm) para $h=-12$ cm |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 6,99 Aa             | 5,94 Aa  | 20,19 Aa   | 5,99 Aa   |
| sem cobertura                    | 3,24 Aa             | 7,48 Aa  | 8,32 Aa    | 6,19 Aa   |
| $\lambda_c$ (cm) para $h=-6$ cm  |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 4,36 Aa             | 4,71 Aa  | 6,83 Aa    | 3,38 Aa   |
| sem cobertura                    | 3,72 Aa             | 5,18 Aa  | 3,73 Aa    | 6,55 Aa   |
| $\lambda_c$ (cm) para $h=-2$ cm  |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 0,91 Ba             | 0,95 Aa  | 0,97 Aa    | 1,09 Aa   |
| sem cobertura                    | 1,26 Aa             | 1,01 Aa  | 1,04 Aa    | 1,02 Aa   |
| $\lambda_m$ (mm) para $h=-12$ cm |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 0,109 Ba            | 0,151 Ab | 0,140 Ab   | 0,131 Ab  |
| sem cobertura                    | 0,246 Aa            | 0,100 Ab | 0,121 Ab   | 0,130 Ab  |
| $\lambda_m$ (mm) para $h=-6$ cm  |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 0,191 Aa            | 0,174 Aa | 0,199 Aa   | 0,245 Aa  |
| sem cobertura                    | 0,227 Aa            | 0,149 Aa | 0,232 Aa   | 0,185 Aa  |
| $\lambda_m$ (mm) para $h=-2$ cm  |                     |          |            |           |
| com cobertura                    | 0,821 Aa            | 0,805 Aa | 0,757 Aa   | 0,691 Aa  |
| sem cobertura                    | 0,593 Ba            | 0,741 Aa | 0,729 Aa   | 0,729 Aa  |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).  $\lambda_c$ : Escalas de comprimento capilar;  $\lambda_m$ : raios característicos de poros.

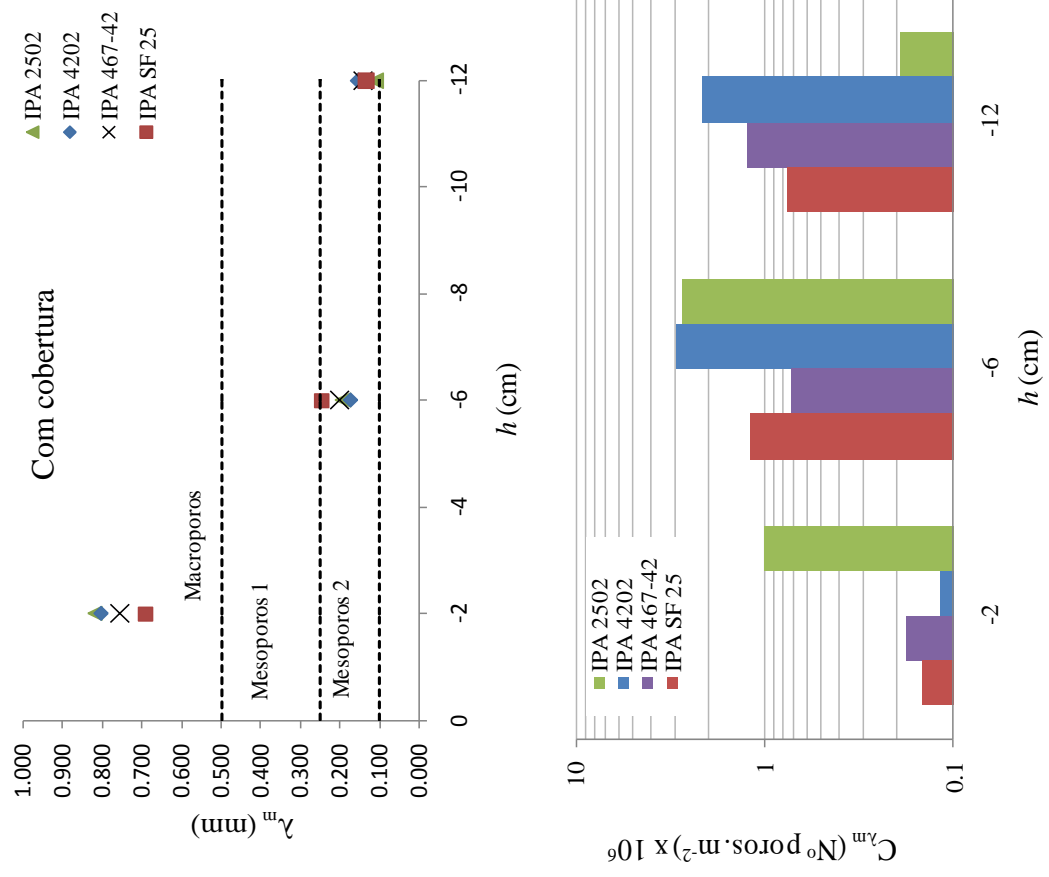
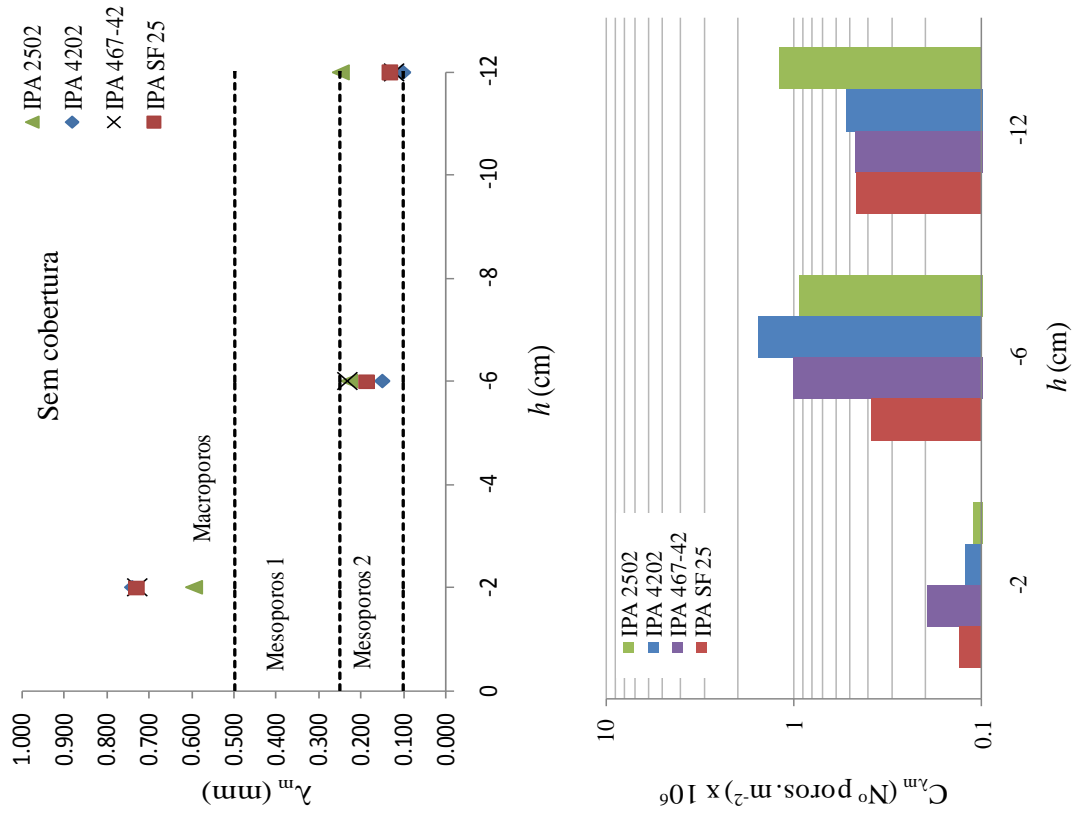
Na segunda campanha de testes, os raios característicos apresentaram diferença significativa entre as condições de cobertura de solo, somente quando  $\lambda_m$  foi determinado para potenciais  $h = -6$  cm, no solo cultivado com IPA SF 25. Na Figura 8 pode ser observado as estimativas dos raios hidraulicamente ativos (Eq 9) e da densidade de poros (Eq. 10). De uma maneira geral, os valores de  $\lambda_m$  não apresentaram grandes mudanças entre os solos com e sem cobertura, nem mesmo quando comparados os dois momentos (1ª e 2ª campanha). Isso é confirmado pelas análises estatística (Tabelas 7 e 8).

**Tabela 8.** Escalas de comprimento capilar,  $\lambda_c$  (cm) e raios característicos de poros  $\lambda_m$  (mm) referentes à 2ª campanha de testes infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012

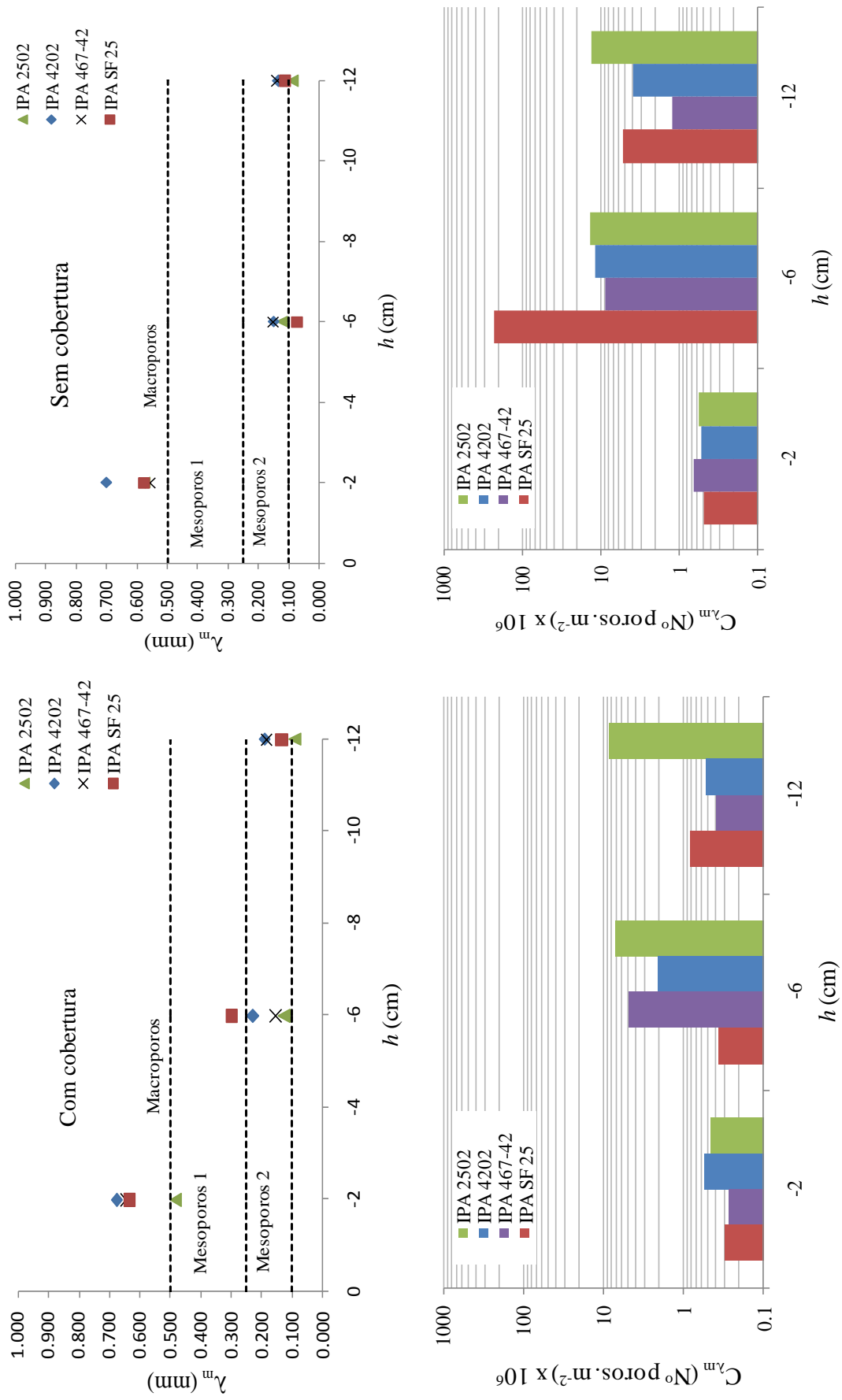
| Condições de cobertura do solo | Cultivares de sorgo              |          |            |           |
|--------------------------------|----------------------------------|----------|------------|-----------|
|                                | IPA 2502                         | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
|                                | $\lambda_c$ (cm) para $h=-12$ cm |          |            |           |
| com cobertura                  | 10,03 Aa                         | 4,05 Aa  | 5,69 Aa    | 5,79 Aa   |
| sem cobertura                  | 10,42 Aa                         | 5,70 Aa  | 12,62 Aa   | 7,00 Aa   |
|                                | $\lambda_c$ (cm) para $h=-6$ cm  |          |            |           |
| com cobertura                  | 6,83 Aa                          | 3,55 Aa  | 5,70 Aa    | 4,00 Aa   |
| sem cobertura                  | 6,09 Aa                          | 5,41 Aa  | 5,99 Aa    | 2,70 Aa   |
|                                | $\lambda_c$ (cm) para $h=-2$ cm  |          |            |           |
| com cobertura                  | 1,63 Aa                          | 1,09 Aa  | 1,22 Aa    | 1,35 Aa   |
| sem cobertura                  | 1,30 Aa                          | 1,06 Aa  | 1,32 Aa    | 1,52 Aa   |
|                                | $\lambda_m$ (mm) para $h=-12$ cm |          |            |           |
| com cobertura                  | 0,091 Aa                         | 0,190 Aa | 0,183 Aa   | 0,134 Aa  |
| sem cobertura                  | 0,086 Aa                         | 0,132 Aa | 0,136 Aa   | 0,109 Aa  |
|                                | $\lambda_m$ (mm) para $h=-6$ cm  |          |            |           |
| com cobertura                  | 0,126 Aa                         | 0,229 Aa | 0,154 Aa   | 0,298 Aa  |
| sem cobertura                  | 0,121 Aa                         | 0,149 Aa | 0,149 Aa   | 0,070 Ba  |
|                                | $\lambda_m$ (mm) para $h=-2$ cm  |          |            |           |
| com cobertura                  | 0,483 Aa                         | 0,676 Aa | 0,644 Aa   | 0,632 Aa  |
| sem cobertura                  | 0,575 Aa                         | 0,703 Aa | 0,557 Aa   | 0,577 Aa  |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).  $\lambda_c$ : Escalas de comprimento capilar;  $\lambda_m$ : raios característicos de poros.

As superfícies sem cobertura morta são mais condutoras devido à densidade de poros,  $C_{\lambda_m}$  (quantidade de poros hidraulicamente ativos por unidade de área). Com destaque, na primeira campanha, para os solos cultivados com IPA 2502, cujos valores de  $\lambda_m$  aumentaram nas superfícies sem cobertura e a quantidade de poros hidraulicamente ativos foi aproximadamente 9 e 3 vezes maior que a das superfícies com cobertura, para  $h = -2$  e  $-6$  cm, respectivamente (Figura 8). Na segunda campanha de infiltração (Figura 9), os solos com as cultivares IPA 4202 e IPA SF 25 se destacam pela magnitude da densidade de poros.



**Figura 8.** Estimativa de  $\lambda_m$  e de  $C_{\lambda_m}$  na 1ª campanha de testes de infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012



**Figura 9.** Estimativa de  $\lambda_m$  e de  $C_{\lambda_m}$  na 2ª campanha de testes de infiltração na vazante do açude Saco, Serra Talhada, 2012

Na Tabela 9 pode-se observar que a resistência do solo à penetração (*RP*) referente à primeira campanha de testes não indicou diferença significativa entre as cultivares para as duas condições de cobertura do solo. Neste momento os valores permaneceram praticamente constantes em relação às profundidades avaliadas, o que pode ser explicado pelo fato da umidade do solo ser uniforme ao longo dessas camadas. Segundo Klein et al. (1998), ao avaliar a resistência do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teores de umidade, concluiu-se que a resistência do solo à penetração é influenciada pelas diferentes condições de densidade e teor de água no solo. Os solos cultivados com IPA 2502 apresentaram valores de (*RP*) ligeiramente inferiores para as três camadas analisadas. Os menores valores de resistência à penetração são encontrados na presença de cobertura morta para os solos com as cultivares IPA 2502, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, e para os solos com a cultivar IPA SF 25 na camada 40-60 cm. No entanto, não houve diferença significativa para estes valores, quando comparado às condições de cobertura do solo para a primeira campanha de testes (Tabela 9).

**Tabela 9.** Resistência do solo a penetração (1ª campanha)

| Condição de cobertura do solo          | Cultivares de sorgo |          |         |           |
|--|---------------------|----------|---------|-----------|
|  | IPA 2502            | IPA 4202 | IPA 467 | IPA SF 25 |
| Resistência na camada 0 – 20 cm (MPa)  |                     |          |         |           |
| com cobertura                          | 2,20 Aa             | 2,63 Aa  | 3,15 Aa | 2,59 Aa   |
| sem cobertura                          | 2,32 Aa             | 2,23 Aa  | 2,94 Aa | 2,37 Aa   |
| Resistência na camada 20 – 40 cm (MPa) |                     |          |         |           |
| com cobertura                          | 1,91Aa              | 2,18 Aa  | 3,74 Aa | 2,12 Aa   |
| sem cobertura                          | 2,10 Aa             | 2,38 Aa  | 3,21 Aa | 1,94 Aa   |
| Resistência na camada 40 – 60 cm (MPa) |                     |          |         |           |
| com cobertura                          | 2,20 Aa             | 2,15 Aa  | 2,26 Aa | 1,97 Aa   |
| sem cobertura                          | 2,23 Aa             | 2,35 Aa  | 2,83 Aa | 2,18 Aa   |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

Já na segunda campanha de testes, com a redução do teor de água no solo, ocorreu aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas, dificultando o desenvolvimento do sistema radicular da cultura, e conseqüentemente resultando em uma maior demanda de energia por parte das plantas para desenvolver o seu sistema radicular. Segundo Silva et al. (2007), existe uma relação inversa da umidade com a resistência do solo à penetração, ou seja, quanto menor a umidade, maior a *RP*, e vice-versa. A resistência à penetração depende também de outros fatores, entre eles a textura, a

estrutura e a quantidade de matéria orgânica presente no solo. Neste contexto, a *RP* é influenciada pelo conteúdo de água, pela textura e pela condição estrutural do solo (Oliveira et al., 2007).

Na Tabela 10, pode-se observar que houve diferença significativa ( $P < 0,05\%$ ) para *RP* entre as condições de cobertura de solo para o solo cultivado com IPA 2502 na camada 0-20 cm. Essa camada está mais exposta aos fatores antrópicos e climáticos, principalmente da evaporação que ocorre mais intensamente, reduzindo a umidade do solo e influenciando conseqüentemente na resistência do solo a penetração. O mesmo fato ocorreu para a cultivar IPA SF-25 na camada 20-40 cm, onde *RP* foi quase duas vezes maior na ausência de cobertura morta. Porém é importante salientar que mesmo não havendo diferença estatística entre presença e ausência de palhada, para as demais cultivares, notou-se que os menores valores de resistência do solo à penetração encontram-se onde houve a presença de cobertura morta. Já para a camada mais profunda (40-60 cm), o comportamento da penetração (*RP*) não apresentou diferença significativa entre os solos com e sem cobertura morta. Isto se explica pela presença da franja capilar que se mantém por um maior período de tempo nesta camada devido à proximidade com o lençol freático. Devido a este fato o aumento da *RP* ao longo do tempo foi menor para esta profundidade.

**Tabela 10.** Resistência do solo a penetração (2ª campanha)

| Condição de cobertura do solo          | Cultivares de sorgo |          |            |           |
|--|---------------------|----------|------------|-----------|
|  | IPA 2502            | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| Resistência na camada 0 – 20 cm (MPa)  |                     |          |            |           |
| com cobertura                          | 3,97 Ba             | 3,99 Aa  | 6,04 Aa    | 4,95 Aa   |
| sem cobertura                          | 6,74 Aa             | 5,20 Aa  | 6,71 Aa    | 6,00 Aa   |
| Resistência na camada 20 – 40 cm (MPa) |                     |          |            |           |
| com cobertura                          | 2,72 Aa             | 3,71 Aa  | 3,50 Aa    | 3,66 Ba   |
| sem cobertura                          | 5,76 Aa             | 3,13 Aa  | 4,40 Aa    | 7,03 Aa   |
| Resistência na camada 40 – 60 cm (MPa) |                     |          |            |           |
| com cobertura                          | 2,94 Aa             | 3,46 Aa  | 2,92 Aa    | 3,45 Aa   |
| sem cobertura                          | 4,69 Aa             | 4,04 Aa  | 4,44 Aa    | 5,26 Aa   |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

Na análise da comparação da resistência à penetração (MPa) entre as duas campanhas de testes (Tabela 11), é notável o aumento da resistência à penetração para as duas condições de cobertura de solo. A resistência dos solos a penetração aumenta ao longo do ciclo de cultivo na vazante. Os solos apresentaram aumento significativo da (*RP*) na profundidade de 0-20 centímetros, sendo o maior valor de (*RP*) encontrado para os

solos com a cultivar IPA 2502 de 6,74 MPa. Na ausência de cobertura tiveram aumento significativo os solos com as cultivares IPA SF 25 (20-40 cm); IPA SF 467 e IPA SF 25 (40-60 cm). Esses valores foram aumentados em até 3,10 vezes como mostra o resultado da IPA SF 25, na profundidade de 20-40 centímetros, quando esses testes foram realizados em parcelas ausentes de cobertura morta. Esses valores foram significativos pelo teste t, a 5 % de probabilidade.

Ao longo do período de cultivo do sorgo, da primeira para a segunda campanha de testes, tivemos um aumento da (*RP*), para todas as cultivares nas diferentes camadas. Porém a maior umidade do solo, proporcionada pela palhada, possibilitou ao longo do tempo, menores valores de (*RP*), para a condição de presença de cobertura morta.

**Tabela 11.** Análise estatística de comparação da resistência à penetração (MPa) entre as duas campanhas de testes

| Cultivares de sorgo | Condição de cobertura do solo | ----- <i>RP</i> -C1 (MPa) ----- |             |             | ---- <i>RP</i> -C2 (MPa)---- |             |             |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
|                     |                               | 0-20<br>cm                      | 20-40<br>cm | 40-60<br>cm | 0-20<br>cm                   | 20-40<br>cm | 40-60<br>cm |
| IPA 467-42          | com cobertura                 | 3,15*                           | 3,74        | 2,26*       | 6,04*                        | 3,50        | 2,92*       |
|                     | sem cobertura                 | 2,94*                           | 3,21        | 2,83*       | 6,71*                        | 4,40        | 4,44*       |
| IPA SF 25           | com cobertura                 | 2,59*                           | 2,12        | 1,97        | 4,95*                        | 3,66        | 3,46        |
|                     | sem cobertura                 | 2,37*                           | 1,94*       | 2,18*       | 6,00*                        | 6,03*       | 5,26*       |
| IPA 4202            | com cobertura                 | 2,63*                           | 2,18*       | 2,15        | 4,99*                        | 3,71*       | 3,45        |
|                     | sem cobertura                 | 2,23*                           | 2,38        | 2,35        | 5,20*                        | 3,13        | 4,04        |
| IPA 2502            | com cobertura                 | 2,20*                           | 1,91        | 2,20        | 3,97*                        | 2,92        | 2,94        |
|                     | sem cobertura                 | 2,32*                           | 2,10*       | 2,23        | 6,74*                        | 5,76*       | 4,69        |

\*Significativo pelo teste t, a 5 % de probabilidade, na comparação de camadas dentro de cada campanha.  
*RP*: Resistência à penetração; C1: Campanha de testes 1 e C2: Campanha de testes 2.

A disponibilidade de água às culturas é variável, de acordo com as características do solo, condições climáticas e necessidade da planta; além disso, o aumento ou a redução da disponibilidade hídrica está muito relacionado com o manejo dado ao solo. Na Tabela 12 são apresentados os valores de comparação de umidade (g/g) entre as duas campanhas de testes, para diferentes profundidades. É notável o efeito positivo da palhada, que veio a proporcionar maior retenção de água nas parcelas com presença de cobertura morta. Houve diferença significativa pelo teste t, a 5 % de probabilidade ao longo do tempo, para quase

todos os valores de umidade. A umidade do solo diminui gradativamente durante o ciclo de cultivo do sorgo, no entanto essa redução é mais acentuada nos solos sem cobertura morta. As maiores perdas de água no solo na ausência de cobertura morta ocorreram principalmente na camada (0-20 cm) para todas as cultivares. No entanto o efeito mais evidente da cobertura morta se deu para o solo da cultivar IPA SF 25, que apresentou maiores diferenças de umidade quando comparado as duas condições de cobertura do solo, ou seja, solos com e sem cobertura morta.

**Tabela 12.** Comparação dos valores de umidade (g/g) entre as duas campanhas de testes, para diferentes profundidades

| Cultivares | Condição de cobertura do solo | ----- U-C1 (g/g) ----- |             |             | ----- U-C2 (g/g) ----- |             |             |
|------------|-------------------------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|
|            |                               | 0-20<br>cm             | 20-40<br>cm | 40-60<br>cm | 0-20<br>cm             | 20-40<br>cm | 40-60<br>cm |
| IPA 467-42 | com cobertura                 | 0,09*                  | 0,09*       | 0,11        | 0,04*                  | 0,05*       | 0,07        |
|            | sem cobertura                 | 0,09*                  | 0,09*       | 0,10*       | 0,03*                  | 0,03*       | 0,05*       |
| IPA SF25   | com cobertura                 | 0,11*                  | 0,09*       | 0,11*       | 0,04*                  | 0,04*       | 0,06*       |
|            | sem cobertura                 | 0,11*                  | 0,10*       | 0,12*       | 0,02*                  | 0,03*       | 0,04*       |
| IPA 4202   | com cobertura                 | 0,09*                  | 0,09*       | 0,11*       | 0,03*                  | 0,04*       | 0,06*       |
|            | sem cobertura                 | 0,11*                  | 0,10*       | 0,11*       | 0,04*                  | 0,04*       | 0,07*       |
| IPA 2502   | com cobertura                 | 0,11*                  | 0,10*       | 0,13*       | 0,06*                  | 0,05*       | 0,07*       |
|            | sem cobertura                 | 0,10*                  | 0,10*       | 0,11*       | 0,03*                  | 0,03*       | 0,06*       |

\*Significativo pelo teste t, a 5 % de probabilidade, na comparação de camadas dentro de cada campanha.  
U: Umidade do solo; C1: Campanha de testes 1 e C2: Campanha de testes 2.



## 2.4. CONCLUSÕES

1. Na 1ª campanha de medidas de infiltração, os valores de condutividade hidráulica são maiores nos solos sem cobertura morta para todas as cultivares, exceto para os solos cultivados com IPA 4202 e IPA 467 nos potenciais  $h$  (-2 e 0 cm), que passaram a apresentar valores maiores de condutividade hidráulica nos solos com cobertura morta.
2. Na 2ª campanha de medidas de infiltração, a presença de palhada proporciona uma redução nos valores de condutividade hidráulica para todos os tratamentos. Porém é detectada diferença significativa entre os solos com e sem cobertura, cultivados com IPA 4202, para o potencial  $h = -16$  cm, e IPA SF 25, nos respectivos potenciais  $h = -16, -12$  e  $-6$  cm.
3. A resistência a penetração ( $RP$ ) dos solos na primeira campanha não evidencia aumento ou redução em função da presença ou ausência de cobertura morta.
4. Na segunda campanha de testes a presença da cobertura morta proporciona uma redução nos valores de  $RP$  nos solos para todos os tratamentos, exceto para os solos cultivados com a IPA 4202 na profundidade de 20-40 cm.
5. A redução da umidade do solo é menor na presença de cobertura. Houve diferença significativa pelo teste  $t$ , a 5 % de probabilidade para todos os valores de umidade ao longo do tempo.
6. A utilização da cobertura morta de solo é uma prática vantajosa para o cultivo do sorgo em vazante, pelo fato de aumentar a retenção de umidade do solo, melhorando as suas propriedades físico-hídricas.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 85p. (Tese de Doutorado)

AMPOFO, E. A. Soil moisture dynamics in Coastal Savanna soils in the tropics under different soil management practices. **Hydrological Science**, v.51, p.1194-1202, 2006.

ANKENY, M. D. Simple field method determining unsaturated hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: a review and recent developments. **Soil & Tillage Research**, Madison, v. 55, p. 1-29, 2000.

ANTONINO, C. D.; JARAMILLO, R. A.; SOUSA, E. S. de; MACIEL NETTO, A.; CARNEIRO, J. G.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.247-253, 2001.

ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P. E. **Utilização de Água no cultivo de vazante no semiárido do nordeste do Brasil** – Recife, Ed. Da UFPE; IRD Institut de Recherche pour Le Développement, França, 2001

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R. Infiltração de água em Cambissolos do Baixo do Irecê (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:263-370,1996.

BEEMSTER, G. T. S.; MASLE, J.; WILLIAMSON, R. E.; FARQUHAR, G. Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): Kinematic analysis of leaf elongation. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 7, p. 1663-1678, 1996.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Piracicaba, Livroceres, 1990. 355p.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C. & PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.167-177, 2001.

BEZERRA, R. B.; TRINDADE, A. G. **Caracterização de parâmetros pluviométricos, térmicos do balanço hídrico climatológico e desmatamento de Porto Velho** Geografia - Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências v. 15, n. 1, 2006.

BORGES, E.; ANTONINO, A. C. D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. E.; CARNEIRO, C. J. G. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.11. p.2083-2089, 1999.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

COSTANTINI, A.; DOLEY, D.; SO, H. B. Early Pinus caribaea var. hondurensis root development. 2. Influence of soil strength. **Australian Journal of Experimental Agriculture** Collingwood, Vic. Australia: CSIRO. 1996.

COUSEN, S. M.; FARRES, P. J. The role of moisture content in the stability of soil aggregates from a temperate silty soil to raindrop impact. **Catena**, v.11, p. 31-32 1984.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D. Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrimeters Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. Madison, **Soil Science Society of America**, v.1, p.1-24. 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, EMBRAPA 2006.

EVERTS, C. J.; KANWAR, R. S. Interpreting tension-infiltrometer data for quantifying soil macropores: some practical considerations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v.36, p.423-428, 1992.

GARDNER, W. R. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. **Soil Science**, Baltimore, v.85. p.228-32, 1958.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C.; Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3-4, p. 239-282, jun. 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), **Climatologia mapas**, [online] <[www.inmet.gov.br/climato/mapclima.html](http://www.inmet.gov.br/climato/mapclima.html)>, Dez, 2012.

JOHNSON, C. B., MANNERING, J. V., MOLDENHAUER, W. C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 772-777. 1979.

JONG VAN LIER, Q.; LIBARDI, P. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de. Ciência do Solo**, v. 23, p. 1005-1014, 1999.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo, Nobel, 1984. 408p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 211-218, 1999.

Le BISSONNAIS, Y. ; BRUAND, A. ; JAMAGNE, M. Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure. **Catena**, v.16, p.377-392, 1989.

MARTINO, D.; SHAYKEWICH, C. F. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, p.193-200, 1994.

MESSING, I., JARVIS, N. J. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. **Journal of Soil Science**, v.44, p. 11-24, 1993.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em sub superfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 531-538, 2001.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de Latossolo Vermelho da Microregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 265 – 270, 2007.

PABAYIOTOPOULOS, K. P.; PAPADOPOULOU, C. P.; HATJIOANNIDOU, A. Compaction and penetration resistance of naAlfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, p. 323-337, 1994.

PITOMBEIRA, J. B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 33, n. 01, p. 20-24, 2004.

PERROUX, K. M.; WHITE, I. Designs for disc permeameters. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 52, p. 1205-1215, 1988.

PHILIP, J. R. The quasi-linear analysis, the scattering analog, and other aspects of infiltration and seepage. In: FOK, Y.S. (Ed.). **Infiltration development and application**. Honolulu: Water Resources Research Center, 1987. p.1-27.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.19-27, 2003.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. 167 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

RAATS, P. A. C., GARDNER, W. R. Comparison of empirical relationships between pressure head and hydraulic conductivity and some observations on radially symmetric flow. **Water Resources Research**, v.7, p. 921-928, 1971.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:289-298,1992.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Surface se al micro morphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 7, n. 4,p. 303-317, mar. 1995.

RIBON, A. A.; Centurion, J. F.; Centurion, M. A. P. C.; Carvalho Filho, A.; **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26, 781. 2002.

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, v.12, p. 79-85, 1985.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. Pesquisa Agropecuária. Brasileira, v. 34, p 2091-2095,1999.

SAMSON, B. K.; WADE, L. J.; HASAN, M. Effect of soil strength on root traits of rainfed lowland rice. Philippine J. **Crop Science**, v.21, p. 76, 1996.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions onan. Oxisol. **Soil &Tillage Research**, v. 9, p. 161-168, 1987.

SILVA, R. R. DA; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. F. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do rio grande MG. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SOUZA, E. S. Analise do regime transitório da infiltração tridimensional sob sucção controlada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Porto Alegre, v.1, p. 5-14, 2006.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, ANTONIO CELSO DANTAS; ANGULO-JARAMILLO, RAFAEL; MACIEL NETTO, ANDRÉ; MONTENEGRO, S. M. G. L.; BORGES, EDVANE. Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1795-1804, 2008.

SOUZA, L.; COGO, N. P; VIEIRA, S. R. I. C. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.77-86, 1998.

STOLF, R.; REICHARDT, K.; VAZ, C. P. M. Response to Comments on ‘Simultaneous Measurement of Soil Penetration Resistance and Water Content with a Combined Penetrometer–TDR Moisture Probe’ and ‘A Dynamic Cone Penetrometer for Measuring Soil Penetration Resistance. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 927-929, 2005.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; BRITO, A. R. M. B. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.47-58, 2002.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physics properties in the field. In: Hillel, D. (ed) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WATSON, K. W.; LUXMOORE, R. J. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.578-582, 1986.

WHITE, I.; SULLY, M. J. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. **Water Resources Research**, v.23, p.1514-1522, Washington, 1987.

WOODING, R. A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water Resources Research**, Washington, v.4, p.1259-1273, 1968.

WILSON, G. V; LUXMOORE R. J. Infiltration, macroporosity and mesoporosity distributions of two forested watersheds. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52 p. 329–335 1988.

### **CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DE VARIEDADES DE SORGO EM CULTIVO DE VAZANTE COM E SEM COBERTURA MORTA**

#### **RESUMO**

O cultivo de vazante consiste em plantar nas margens dos reservatórios, em solos com declive suave, enquanto o nível de água diminui progressivamente, e é um sistema de cultivo bastante utilizado no Nordeste do Brasil. Trata-se de uma alternativa de auto-sustento constantemente empregada pelos agricultores nos períodos de estiagem. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho produtivo de quatro variedades de sorgo em cultivo de vazante com e sem cobertura morta no solo. A cobertura morta utilizada foi a palhada de Taboa (*Typha domingensis*), planta de regiões alagadas, típicas de brejos e várzeas. Foram avaliados estande inicial, altura da planta, floração, estande final, taxa de sobrevivência de plantas, produção de matéria verde (MV) e de matéria seca (MS). O experimento obedeceu a um delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. As cultivares utilizadas foram: IPA 2502, IPA 4202, IPA 467-42 e IPA SF-25. Esta pesquisa foi realizada em 2012, numa área de vazante localizada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA. As maiores produções de biomassa são obtidas para as cultivares IPA 467-42 e IPA SF-25. O efeito da cobertura morta foi significativo na produção de MS para a variedade IPA SF-25. Plantas de sorgo (variedade IPA SF-25) com cobertura morta produziram mais matéria seca do que as plantas sem cobertura morta. A produtividade média de MS de 12,85 t/ha do experimento indica o cultivo de vazante como uma excelente alternativa para produção de sorgo em período de seca.

**Palavras chave:** semiárido, *Sorghum bicolor*, Taboa (*Typha domingensis*).

# EVALUATION OF SORGHUM VARIETIES IN FLOOD RECESSION AGRICULTURE WITH AND WITHOUT MULCHING

## ABSTRACT

Flood recession agriculture consists of cropping the margins of the reservoirs, on slight slope, while the water level progressively decreases; this is a widespread cropping system in the Northeast of Brazil. It is an alternative of self-support widely used by farmers in dry periods. The objective of this research was to evaluate the performance of four sorghum varieties on flood recession agriculture when subjected to two conditions of soil cover (with and without mulch). For mulching it was used southern cattail straw (*Typha domingensis*), plant of flooded regions, typical of swamps and floodplains. For the evaluation of the initial plant stand, it was taken in consideration plant height, flowering, final plant stand, percentage of surviving plants, and the production of green matter (GM) and dry matter (DM). The experimental design adopted for this study was the one of randomized blocks, with a factorial of 4 x 2, with four replicates. In this experiment, four cultivars were evaluated: IPA 2502, IPA 4202, IPA 467-4-2 and IPA SF 25. The research was conducted in 2012, in the area of flood recession agriculture located at the Experimental Station of the Agricultural Institute of Pernambuco - IPA. The highest yields of biomass are obtained for the cultivars IPA 467-42 and IPA SF-25. Mulching effect was significant in dry matter for the IPA SF-25 variety. Mulched sorghum plants (IPA SF-25 variety) produced more dry matter than the unmulched plants. The average yield of 12.85 t DM / ha of the experiment indicates that the growing tide is an excellent alternative to sorghum production in the dry season.

**Keywords:** Semi-arid, *Sorghum bicolor*, Southern Cattail (*Typha domingensis*).



### 3.1. INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro, as áreas dos vales, baixadas ou baixios, e as áreas planas ou suavemente onduladas que lhes são adjacentes, são as que têm maior potencial de produção agrícola, em função de uma maior disponibilidade hídrica. Para elas convergem as águas das bacias, seja na forma dos riachos intermitentes, do escoamento subterrâneo ou da revência dos açudes. Parte destas áreas é ocupada por milhares de açudes construídos no semiárido para armazenar água durante a estação de chuvas. Ao fim desta estação, as águas dos açudes rebaixam, pela evaporação, e possivelmente pela infiltração e/ou pelo uso da água para os mais diversos fins. A medida que os açudes secam, são liberadas áreas nas suas bordas que são chamadas de vazantes e que são largamente utilizadas para agricultura (Sampaio & Salcedo, 1997).

A agricultura de vazante consiste em cultivar nestas bordas ou margens, em declive suave, à medida que a água vai baixando. A cultura utiliza apenas a água presente no solo para realizar o seu ciclo e produzir em plena época de seca. Trata-se de uma técnica tradicional bastante praticada, mas com características diferenciadas, conforme a região. A cultura de vazante é sem dúvida a mais barata, pois requer poucos insumos, não necessita de energia e de equipamentos. Apesar de ser uma técnica bastante utilizada é notória a ausência de estudos mais aprofundados sobre o cultivo de vazante, o que não possibilita uma avaliação das suas potencialidades (Antonino & Audry, 2001).

No Sertão pernambucano a forma mais primitiva de cultivo de vazante limita-se a plantar capim, frequentemente planta-se também batata doce, cultura particularmente rústica. A forma mais evoluída, como praticada, por exemplo, no Alto Pajeú, associa plantas forrageiras mais produtivas (marreca, marrecão, capim elefante), com culturas mais nobres como milho, feijão e melancia (Antonino & Audry, 2001).

O sucesso do sistema de vazante no semiárido está associado a capacidade dos solos armazenar água por período de tempo satisfatório à finalização do ciclo da cultura, e a aptidão da cultura suportar o estresse hídrico. Em vista disso, o sorgo surge como alternativa para o cultivo de vazante, pois se trata de uma planta capaz de sobreviver e produzir em condições de limitado suprimento de água em períodos longos de seca. Segundo Magalhães et al. (2007), o sorgo apresenta dois mecanismos para suportar o estresse hídrico: i) o escape através do sistema radicular profundo e ramificado o qual é eficiente na extração de água no solo; e ii) a tolerância que está relacionada ao nível

bioquímico, ou seja, a planta diminui o metabolismo, murcha e tem o poder de recuperação quando o estresse é interrompido. Trata-se de uma planta do tipo C4 que apresenta boa eficiência fotossintética. Dentre os genótipos conhecidos, destacam-se os distribuídos nos grupos granífero, forrageiro e sacarino (Pitombeira et al., 2002).

Devido a sua tolerância ao estresse hídrico, o sorgo pode ocupar áreas onde a cultura do milho não apresenta desempenho satisfatório, e o seu uso se justifica por suas características agronômicas que, entre outras, incluem elevada produtividade de biomassa (Tabosa et al., 2002). O sorgo é também reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (Ayres & Westcot, 1999). Nunes Filho et al. (2005), em experimento com cultivo de gramíneas forrageiras irrigadas em Neossolo Flúvico salino sódico, constataram expressiva redução da condutividade elétrica no extrato de saturação do solo cultivado e também na porcentagem de sódio trocável, ao final do ciclo das culturas, com destaque para as cultivares de sorgo IPA 467-42 e IPA SF 25.

Embora os solos funcionem como um excelente reservatório de água para o cultivo de vazante existe uma considerável evaporação de água quando ocorre o período de seca. A utilização de palhadas ou restolhos de culturas como cobertura morta, pode contribuir para retenção da umidade no solo, garantindo a produção mais regular das plantas cultivadas no sistema de vazante. Segundo Andrade et al. (2002), a presença de palhada na superfície do solo reduz a taxa de evapotranspiração das culturas, sendo uma prática importante principalmente nas regiões semiáridas, onde a demanda evapotranspirativa da planta é aumentada em decorrência da alta incidência de radiação solar e baixa umidade do ar, concorrendo para uma maior demanda hídrica.

A espécie vegetal para a cobertura morta deve ser escolhida em função da farta disponibilidade de biomassa e que de preferência não se constitua como fonte de alimento humano e/ou animal da região. Neste contexto, a taboa (*Typha domingensis*), planta de regiões alagadas, típica de brejos e várzeas, e que se encontra espalhada por todo o mundo, apresenta atributos relevantes para que seja empregada como cobertura morta de solos.

Diante do exposto, nesta pesquisa buscou-se avaliar a produtividade de quatro cultivares de sorgo em cultivo de vazante, submetidos a duas condições de cobertura do solo (com e sem cobertura morta). Para garantir uma cobertura morta com espessura de aproximadamente cinco centímetros na superfície do solo, foi aplicada a palhada de Taboa com uma proporção de cinco toneladas/ha de matéria seca.

### 3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio experimental foi conduzido no ano agrícola de 2012, na Estação Experimental Dr. Lauro Ramos Bezerra, (07° 59' 00'' S, 38° 19' 16'' W.Gr. e 500m de altitude), pertencente ao Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, município de Serra Talhada, localizado na Zona Fisiográfica do Sertão, na Microrregião Alto Pajeú. Segundo Koopen, o clima local é do tipo BSw<sup>h</sup>. O solo da área experimental é classificado como Argissolo vermelho amarelo (EMBRAPA, 2006). Pode ser observado na Tabela 13 as principais propriedades físicas do solo da vazante.

**Tabela 13.** Propriedades físicas do solo da vazante do açude Saco

| Blocos | $\rho_s$<br>----g cm <sup>-3</sup> ---- | $\rho_p$ | $K_s$<br>cm h <sup>-1</sup> | $RP$<br>MPa | Areia<br>-----%----- | Silte | Argila | Classe textural |
|--------|---|----------|-----------------------------|-------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
| I      | 1,51                                    | 2,49     | 71,81                       | 1,95        | 81                   | 7     | 12     | Franco arenoso  |
| II     | 1,54                                    | 2,50     | 65,01                       | 2,38        | 83                   | 7     | 10     | Areia franca    |
| III    | 1,49                                    | 2,49     | 31,14                       | 2,05        | 82                   | 8     | 10     | Areia franca    |
| IV     | 1,53                                    | 2,50     | 44,72                       | 3,32        | 80                   | 8     | 12     | Franco arenoso  |

$\rho_s$ : densidade do solo;  $\rho_p$ : densidade das partículas;  $K_s$ : condutividade hidráulica saturada;  $RP$ : resistência a penetração

Para o manejo racional do cultivo de vazante é preciso estabelecer os valores mínimo ( $P_{\min}$ ) e máximo ( $P_{\max}$ ) de profundidade de lençol freático (Antonino & Audry, 2001). No início do experimento determinou-se a profundidade do lençol através de tradagens. No dia 02/08/2012 foram instalados seis poços de observação na área experimental, para acompanhamento semanal do nível do lençol freático e verificação da profundidade máxima do lençol ao final do ciclo da cultura.

Com esses valores de profundidades e da taxa de rebaixamento do lençol freático ( $R_d$ ), foi possível também determinar o turno de plantio na vazante e analisar a sua adequação ao ciclo da cultura do sorgo. De acordo com Antonino & Audry (2001), o turno de plantio da vazante ( $T_v$ ) pode ser identificado pela relação  $T_v = (P_{\max} - P_{\min})/R_d$ .

Para avaliar as características agrônômicas e a produtividade do sorgo na presença e ausência de cobertura morta, o experimento obedeceu a um delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2 (quatro cultivares de sorgo x duas condições de cobertura de solo), com quatro repetições. Para análise dos dados utilizou-se o programa

estatístico Sisvar sendo empregado o teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade, para a comparação entre as médias de tratamentos.

As cultivares IPA 2502 (de duplo propósito e de porte médio), IPA 4202 (Sudanense de porte intermediário), IPA 467-42 e IPA SF 25 (forrageiro de porte alto), foram cultivadas em duas condições de cobertura de solo (presença e ausência de cobertura morta). Como cobertura morta utilizou-se a palhada de Taboa (*Typha domingensis*), escolhida para este propósito devido à presença em abundância do material próximo a área experimental, bem como por ser um material resistente, fibroso e com potencial para ser utilizado como cobertura.

No dia 27/06/2012, realizou-se o semeio manual do sorgo empregando-se o espaçamento de 0,15 m entre covas, e profundidade de três centímetros, utilizando-se três sementes por cova. Utilizou-se um gabarito de madeira para garantir covas de profundidades e espaçamentos uniformes. A parcela foi constituída por três fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas por 0,80 m. Para fins de avaliação, foi considerada 3 m da fileira central, perfazendo uma área útil de 2,4 m<sup>2</sup>.

No dia 07/07/2012, dez dias após a semeadura, foi realizado um replantio nas covas que não apresentaram germinação, a fim de assegurar um estande de plantas uniforme. Vinte e oito dias após a semeadura (DAS), no dia (25/07/2012), foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas por cova.

No dia 14/08/2012 foi realizada a adubação de cobertura utilizando a mistura 14-0-18. Foi aplicado 0,78 kg da mistura para cada parcela experimental. A adubação foi realizada conforme análise de solo, aplicando-se 90 kg de N e 20 kg de K<sub>2</sub>O por hectare. Após o desbaste das plantas e determinação do estande inicial, foi colocada a cobertura morta na área. As plantas de taboa foram cortadas e em seguida retiradas todas as suas sementes para evitar propagação indesejável na área. A palhada de taboa foi pesada no campo com uma balança portátil e levada para área experimental, utilizando-se 40 kg de material verde por parcela. Estes valores foram calculados com base na matéria seca, de forma que uma espessura de aproximadamente 5 cm fosse mantida dentro da parcela, o que equivale a cinco toneladas/ha de matéria seca.

O estabelecimento do estande de plantas no campo foi avaliado por: i) Estande inicial (EI) onde foi registrada a percentagem de plantas sobreviventes após o desbaste; ii) Estande final (EF) onde foi contabilizado o número de plantas que atingiram o ponto de colheita. Aleatoriamente foram amostradas cinco plantas da área útil de cada parcela para

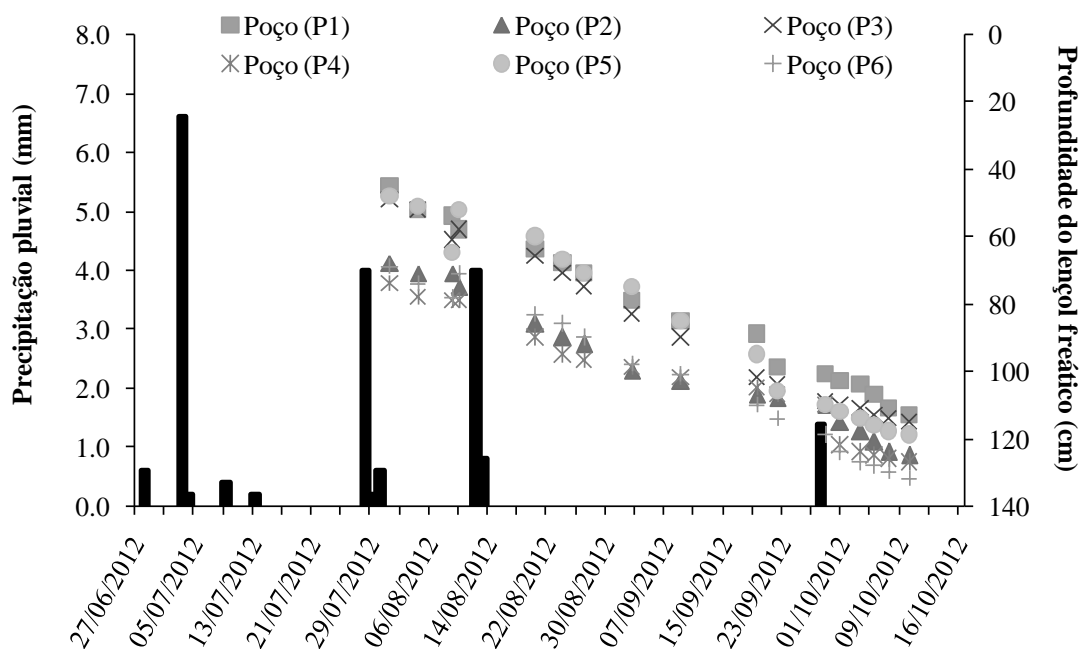
avaliação da altura média das plantas, aos 30, 60 e 90 dias após o plantio (DAS), bem como na ocasião da colheita, aos 110 DAS. Contou-se o número de dias compreendido entre a data de semeadura até o estágio de 50% do florescimento para cada cultivar.

Nos dias 16/10/2012 e 17/10/2012 na ocasião da colheita, quando todas as panículas estavam completamente abertas e os grãos de sorgo apresentavam-se no estágio pastoso, tendendo para farináceo, foi realizada uma contagem das plantas para a determinação da densidade (Nº de plantas/área útil da parcela). Em seguida foram cortadas (a 2,5 cm do solo) e pesadas para determinação da produção de matéria verde, sendo os valores extrapolados para t ha<sup>-1</sup>.

No momento da colheita, também foram coletadas oito plantas ao acaso por parcela para quantificação das partes integrantes da planta: colmo, folhas e panícula. Após a pesagem o material foi colocado para secagem em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 65°C, até atingirem peso constante. A partir do peso da biomassa colhida em cada área útil da parcela, obteve-se a produção de matéria seca (PMS) e depois se extrapolou esse valor para t ha<sup>-1</sup>.

### **3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No período de condução do experimento (27 de junho a 15 de outubro de 2012), a temperatura média foi de 24°C e o valor de precipitação pluvial foi de 24,4 mm. Esse valor é inferior a lâmina pluviométrica média registrada para o mesmo período entre os anos de 2008 a 2011, onde se têm valores médios de precipitação superiores a 150 mm (INMET, 2010). Durante todo o período do cultivo em vazante, de agosto a outubro de 2012, os níveis do lençol freático apresentaram rebaixamento constante em todos os piezômetros. Como nesse período as precipitações foram muito baixas, não foi registrado elevação do lençol, decorrente de precipitação (Figura 9).



**Figura 10.** Precipitação pluvial e variação do nível do lençol freático nos poços de observação obtidos durante o cultivo de sorgo sob cultivo de vazante, Serra Talhada

No início do cultivo do sorgo (27/06/12), foram realizadas algumas perfurações no solo com auxílio de um trado (tipo holandês) e constatou-se que a profundidade mínima do lençol freático foi de 15 centímetros. Em seguida, de 02/08 a 12/10, quando a profundidade do lençol freático passou a ser monitorada por meio de piezômetros (poços de observação), verificou-se um aumento na profundidade do lençol freático de 63 centímetros em média. Os poços P1, P3 e P5 devido a maior proximidade ao açude, apresentaram níveis de lençol freático mais superficiais, enquanto que os poços P2, P4 e P6 apresentaram níveis mais profundos por estarem mais distantes. No dia 02/08/12 as médias de profundidade do lençol freático foram iguais a 47,3 e 70,3 cm para os poços próximos ao açude e os mais distantes, respectivamente. No dia 15/10/12 as médias de profundidade do lençol freático aumentaram para 115,7 e 128 cm para os mesmos poços (Figura 9).

Com os valores médios de profundidades do lençol freático obtidos no intervalo de 74 dias e considerando a taxa de rebaixamento do lençol freático igual a 8,5 mm/dia em média ( $R_d = [(128-70,3)/74 + (115,7 - 47,3)/74]/2$ ), determinou-se o turno de plantio que para esta vazante foi de 137 dias, ao considerar as profundidades mínima e máxima do lençol freático iguais a 15 e 128 cm, respectivamente. Com base nesses cálculos, pôde-se afirmar que a vazante do açude Saco teve capacidade para atender o ciclo do sorgo que foi de 110 dias.

Para os estandes inicial e final das plantas de sorgo, foi observada diferença significativa ( $P < 0,05$ ) somente para a cultivar IPA 2502, que apresentou um estande de plantas inferior as demais cultivares. Cunha et al (2010) encontraram valores de sobrevivência média de plantas iguais a 90,1%, sendo os maiores valores para IPA 467-42 e SF 25 que tiveram percentual máximo (100%) de sobrevivência. Igarasi et al (2008) afirmaram que o elevado percentual de sobrevivência das cultivares de sorgo justifica a sua utilização como excelente material para produção de forragem. Na vazante do açude Saco todas as cultivares de sorgo, independente da condição de cobertura do solo, obtiveram percentual de sobrevivência superior a 80 %.

Quanto ao número de plantas/ha obtiveram-se valores entre 200 a 232 mil plantas. Flaresso et al. (2000) verificaram que as maiores produções são obtidas nas densidades de 180 e de 210 mil plantas por hectare. Já Oliveira et al. (2005), estudando o comportamento agrônomico de quatro cultivares de sorgo, encontraram valores de produção de biomassa ligeiramente superiores aos deste experimento com uma densidade de plantio variando de 167,27 a 212,85 mil plantas por hectare.

**Tabela 14.** Estande inicial (EI), estande final (EF), taxa de sobrevivência (S), número de plantas por hectare e data de floração das cultivares de sorgo sob cultivo de vazante, Serra Talhada, setembro de 2012

| Cultivares de sorgo | Condições de cobertura do solo | EI      | EF      | S (%)   | *Nº de Plantas/ha | 50% Floração (dias) |
|---------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|-------------------|---------------------|
| IPA 2502            | com cobertura                  | 47,25 b | 38,50 b | 81,51 b | 203,79 b          | 72,75 b             |
|                     | sem cobertura                  | 47,25 b | 38,00 b | 80,05 b | 200,13 b          | 73,25 b             |
| IPA 4202            | com cobertura                  | 56,25 a | 51,00 a | 90,65 a | 226,63 a          | 57,75 c             |
|                     | sem cobertura                  | 54,50 a | 48,25 a | 88,50 a | 221,25 a          | 57,00 c             |
| IPA 467-42          | com cobertura                  | 56,25 a | 51,50 a | 91,57 a | 228,92 a          | 94,00 a             |
|                     | sem cobertura                  | 54,00 a | 49,25 a | 90,87 a | 227,17 a          | 94,75 a             |
| IPA SF-25           | com cobertura                  | 56,25 a | 52,50 a | 92,91 a | 232,29 a          | 96,50 a             |
|                     | sem cobertura                  | 57,00 a | 51,75 a | 91,23 a | 228,08 a          | 96,25 a             |

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

A taxa de sobrevivência das plantas apresentou diferença estatística somente para a cultivar IPA 2502, com valor inferior as demais cultivares. Os resultados obtidos referentes ao início do florescimento indicam que a cultivar IPA 2502 pode ser considerada de ciclo intermediário, pois atingiu a floração cerca de 70 dias após o plantio. A cultivar IPA 4202 foi a mais precoce, atingindo a floração em pouco menos de 60 dias. Kenga et al. (2006), verificaram que a floração precoce está associada com a estatura da planta. Cultivares de

sorgo de baixo porte tendem a atingir a floração mais precocemente. Neste experimento esse fato foi evidenciado nas cultivares de menor porte, IPA 2502 e IPA 4202, pois atingiram mais rapidamente a floração, diferindo estatisticamente das demais cultivares de maior porte, IPA 467-42 e IPA SF-25. Quando comparados os dias de início do florescimento das cultivares, na presença e na ausência de cobertura morta no solo, percebe-se que não há diferença significativa entre esses materiais, sendo os mais tardios IPA SF-25 e IPA 467-42 (Tabela 14).

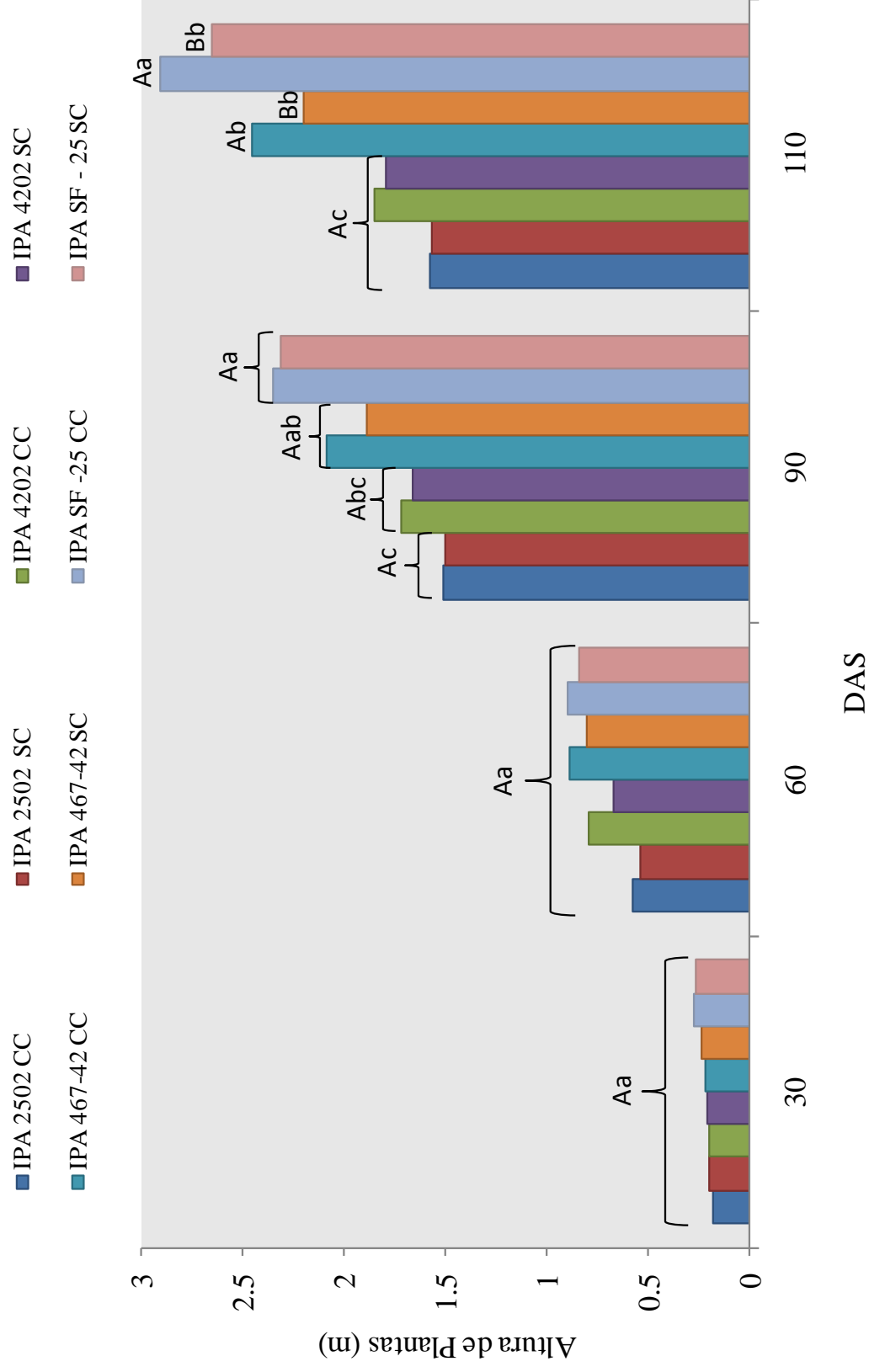
A análise de variância para altura de plantas das cultivares de sorgo mostrou diferença significativa para as cultivares ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Figura 10). Aos 30 e 60 dias após a semeadura, não houve diferença significativa para altura de plantas entre as quatro cultivares, tanto na ausência como na presença de cobertura morta. Porém, a partir dos 90 DAS, as parcelas com cobertura morta apresentaram plantas com maior porte que aquelas sem cobertura.

Na presença de cobertura morta obteve-se os maiores valores de altura de plantas para a cultivar IPA SF-25 e os menores valores para IPA 2502, a partir dos 60 DAS. Aos 90 dias após a semeadura (27/09/2012), na presença de cobertura morta, a cultivar IPA SF-25 apresentou porte de 2,35 m, diferindo estatisticamente das cultivares IPA 2502 e IPA 4202 para mesma condição. Esse mesmo comportamento foi observado na ausência de cobertura morta (Figura 10).

Boer et al. (2007) e Torres et al. (2008) demonstraram os efeitos benéficos da cobertura morta nas propriedades do solo, bem como na produção das culturas. De acordo com esses autores a palhada além de aumentar a estabilidade estrutural e proteger contra a erosão hídrica reduz também a evaporação da água, mantendo a umidade nessas parcelas por mais tempo.

Na colheita, a cultivar IPA SF-25 sem cobertura morta atingiu uma altura de 2,65 m, porém a mesma cultivar com cobertura teve um aumento significativo no porte da planta, apresentando altura de 2,91 m. A cultivar IPA 467-42 também diferiu estatisticamente quando na presença e ausência de cobertura morta, apresentando alturas de 2,45 e 2,20 m, respectivamente (Figura 10).





**Figura 11.** Altura de plantas de sorgo aos 30, 60, 90 e 110 dias após o semeio, em função da cobertura de solo, Serra Talhada, 2012

CC- com cobertura morta; SC sem cobertura morta. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas não diferem estatisticamente de acordo com a presença ou ausência de cobertura morta. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas não diferem estatisticamente entre cultivares pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

Estes valores são ligeiramente inferiores aos observados por Tabosa et al. (2002), em experimento realizado na estação do IPA de Serra Talhada no ano agrícola de 1997. Porém vale salientar que a precipitação pluvial no decorrer do período experimental em Serra Talhada (PE) em 1997, foi de 507,4 mm, valor bem superior ao do período desse experimento, que foi considerado insignificante, sendo a produção dependente exclusivamente da vazante. Segundo Magalhães et al. (2007), os desempenhos inferiores das cultivares de sorgo pode ser atribuído à menor disponibilidade hídrica e aos maiores valores de temperatura média durante o desenvolvimento das plantas.

Na Tabela 15 são apresentados os dados de produção de biomassa das quatro cultivares de sorgo. A IPA SF-25 apresentou melhores rendimentos e diferiu estatisticamente quando cultivadas com e sem cobertura morta. A presença de cobertura morta proporcionou um aumento expressivo na produção de biomassa para todas as variedades de sorgo, chegando a aumentar em até 62% dessa produção para a IPA SF-25 na presença de cobertura, apresentando diferença estatística entre os tratamentos.

**Tabela 15.** Produção de matéria verde (MV), matéria seca (MS) e percentagem de matéria seca (% MS) de quatro cultivares de sorgo com e sem cobertura morta, Serra Talhada

| Condições de cobertura do solo | Cultivares de sorgo |          |          |           |
|--------------------------------|---------------------|----------|----------|-----------|
|                                | IPA 2502            | IPA 4202 | IPA 467  | IPA SF 25 |
| <b>MV(t/ha/corte)</b>          |                     |          |          |           |
| com cobertura                  | 26,98 Ab            | 24,31 Ab | 44,02 Aa | 42,52 Aa  |
| sem cobertura                  | 24,54 Abc           | 20,69 Ac | 39,41 Aa | 32,17 Bab |
| <b>MS (t/ha/corte)</b>         |                     |          |          |           |
| com cobertura                  | 10,29 Aa            | 10,63 Aa | 17,56 Aa | 19,97 Aa  |
| sem cobertura                  | 9,84 Aa             | 7,85 Aa  | 14,33 Aa | 12,34 Ba  |
| <b>(%) MS</b>                  |                     |          |          |           |
| com cobertura                  | 39,84 Aa            | 43,65 Aa | 39,99 Aa | 47,11 Aa  |
| sem cobertura                  | 38,10 Aa            | 38,09 Aa | 36,19 Aa | 37,43 Ba  |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey (P<0,05%).

Os resultados obtidos neste experimento para produção de MV estão próximos aos valores observados em cultivo convencional por Neumann et al. (2002), que encontraram valores entre 22,7 e 39,5 t/ha, para cultivares de sorgo forrageiro e de duplo-propósito. Por outro lado, todas as cultivares apresentaram produtividades de MV inferiores ao valor médio de 46,7 t/ha observado por Cunha & Lima (2010), ao avaliarem 29 cultivares de sorgo forrageiro em condições de sequeiro no Rio Grande do Norte. No entanto, a

percentagem de MS é quem exerce maior influência sobre a qualidade da forragem, e varia de acordo com a idade da planta. Rosolem et al. (2002), afirmam que os valores percentuais de MS devem ser superiores a 35%. Nesse experimento esses valores variaram de 37,43% a 47,11%, e com isso pode-se afirmar que o sorgo cultivado em condições de vazante apresentou ser um material forrageiro de excelente qualidade.

Na Tabela 16 são apresentados os dados de percentual de matéria seca dos constituintes da planta. De modo geral foi observado efeito significativo entre as cultivares para a porcentagem de matéria seca de colmo ( $P < 0,05$ ). Esses valores variaram entre 58,19 a 80,59% do total da planta.

**Tabela 16.** Relação da Matéria seca (MS) de colmo, folha e panícula em relação a matéria seca total das plantas da parcela, Serra Talhada

| Condições de cobertura do solo | Cultivares de sorgo        |           |            |           |
|--------------------------------|----------------------------|-----------|------------|-----------|
|                                | IPA 2502                   | IPA 4202  | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
|                                | ------(%) MS Colmo-----    |           |            |           |
| com cobertura                  | 66,21 Abc                  | 62,37 Ac  | 74,52 Aab  | 80,59 Aa  |
| sem cobertura                  | 66,50 Abc                  | 58,19 Ac  | 74,47 Aa   | 72,78 Bab |
| CV (%)                         | 6,08                       |           |            |           |
|                                | ------(%) MS Folha-----    |           |            |           |
| com cobertura                  | 20,81 Aa                   | 12,51 Bb  | 14,18 Ab   | 13,27 Ab  |
| sem cobertura                  | 23,42 Aa                   | 18,05 Aab | 16,27 Ab   | 16,49 Ab  |
| CV (%)                         | 17,40                      |           |            |           |
|                                | ------(%) MS Panícula----- |           |            |           |
| com cobertura                  | 12,98 Ab                   | 25,12 Aa  | 11,30 Ab   | 6,14 Ab   |
| sem cobertura                  | 10,08 Ab                   | 23,76 Aa  | 8,26 Ab    | 10,73Ab   |
| CV (%)                         | 30,49                      |           |            |           |

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

Novamente a variedade IPA SF-25, na presença de cobertura morta obteve a maior porcentagem de colmos, diferindo estatisticamente para as duas condições com e sem cobertura morta do solo. Esses valores, entretanto diferiram estatisticamente da cultivar IPA 4202. Os menores valores de porcentagem de MS de colmo foram observados na cultivar IPA 4202 na ausência de cobertura morta. Porém esses valores não diferiram estatisticamente para a condição com cobertura morta. A maior porcentagem de colmos está associada ao maior porte das cultivares. Isso foi verificado com a cultivar IPA SF 25 na presença de cobertura que apresentou os maiores valores de alturas de planta. Esse comportamento também foi verificado por Neumann et al. (2002) e Silva et al. (2005).

De acordo com Zago (1997), a maior participação do colmo pode comprometer o valor nutritivo da forragem por ser a fração que apresenta menores índices de digestibilidade no sorgo. Portanto quanto maior o índice de folhosidade melhor a qualidade da forragem. Com base nessa relação, pode-se afirmar que as cultivares IPA 2502 e IPA 4202 se destacaram, pois apresentam índices superiores as demais. Dessa forma, apesar de não possuírem as maiores produções de biomassa no cultivo de vazante, podem ser considerados materiais de boa qualidade forrageira, devido a maior participação de folhas. Oliveira et al. (2005) encontraram proporção de colmo na planta de sorgo forrageiro variando de 17,1 a 72,8% na MS, de folhas de 17,4 a 26,3% e de panícula de 5,2 a 64,6%, valores superiores foram encontrados para o fracionamento das partes da planta em condições de vazante.

Na análise da porcentagem de MS de folha, verificou-se que os maiores valores foram para a cultivar IPA 2502. Esses valores mostraram diferença significativa sobre as demais cultivares na presença de cobertura morta. Oliveira et al. (2005), ao estudarem o comportamento agrônômico de quatro cultivares de sorgo forrageiro, encontraram variação de 11,53 a 13,56% de MS de folhas. Os valores relatados por esses autores são inferiores aos valores encontrados neste experimento.

Com relação à porcentagem de MS de panícula, a cultivar IPA 4202 apresentou os maiores valores, diferindo estatisticamente das demais cultivares, que não diferiram entre si. Não houve diferença significativa para as condições de cobertura do solo. Dalla Chiesa et al. (2008) observaram variação de 6,95 a 1,57% para o percentual de panícula (base da matéria seca), valores inferiores aos encontrados nesta pesquisa. Von Pinho et al. (2007), avaliando a produtividade de cultivares de sorgo, obtiveram 29,8% de MS de panícula para materiais de duplo propósito. Eles também encontraram valor de MS da panícula próximo a 17,7% em cultivares de sorgo forrageiro, proporções estas superiores aos obtidos neste cultivo de vazante.

#### 4. CONCLUSÕES

1. As maiores produções de biomassa são obtidas para cultivares IPA 467-42 e IPA SF-25.
2. A presença de cobertura morta proporciona um incremento significativo de 38% na produção de matéria seca para a cultivar IPA SF 25.
3. As cultivares IPA 2502 e IPA 4202 são considerados materiais de boa qualidade forrageira, por apresentarem maior índice de folhosidade em detrimento da quantidade de colmo.
4. O cultivo de vazante é uma alternativa viável para produção de sorgo em período de estiagem, e a utilização da taboa como cobertura morta proporciona melhores rendimentos de biomassa nestas condições.
5. A taxa de rebaixamento do lençol freático de 8,5 mm/dia em média, a declividade do terreno e do lençol freático proporciona um turno de plantio da vazante superior ao ciclo de desenvolvimento do sorgo, permitindo a sua finalização em período longo de seca.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. St. Joseph, 1999. p.964-966.

ANDRADE, R. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 35- 38, jan./abr, 2002.

ANTONINO, A. C. D. AUDRY, P. Utilização de Água no cultivo de vazante no semiárido do nordeste do Brasil – Recife, Ed, Da UFPE; IRD Institut de Recherchepour Le Développement, França, 2001.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007.

CUNHA, E. M.; LIMA, J. M. P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.4, p. 701-706, 2010.

DALLA CHIESA, E.; ARBOITTE, M. Z.; BRONDANI, I. L.; MENEZES, L. F. G.; RESTLE, J.; SANTI, M. A. M. Aspectos agronômicos de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) no desempenho e economicidade de novilhos confinados. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 30, n. 1, p. 67-73, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de solos, **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Brasília, EMBRAPA. (2006).

FLARESSO, J. A. C. D.; GROSS & E, X, ALMEIDA, Cultivares de milho e sorgo para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, **Revista Brasileira de Zootecnia**, 29 (6): 1608-1615.

IGARASI, M. S.; ARRIGONI, M. B.; SOUZA, A. A. Desempenho de bovinos jovens alimentados com dieta contendo grão úmido de milho ou sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.513-519, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), **Climatologia mapas**, [online] <www,inmet.gov.br/climato/mapclima,html>, Dez, 2010.

KENGA, R.; TENKOUANO, A.; GUPTA, S. C. Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) populations. **Euphytica**, v.150, p.319-326, 2006.

LIMA, J. M. P. **Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo no Rio Grande do Norte**, EMPARN, Natal. RN, 1993, 5 p, (Recomendações Técnicas).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia, In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed), **Cultivo do sorgo**, 3, ed, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BERNARDES, R. A. C.; ARBOTLE, Z.; CERDOTES, L.; PEIXOTO, L. A. O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L, Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 302-312, 2002.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A. R.; SÁ, V. A. L.; FERRAZ, L. G. B.; TABOSA, J. N.; SILVA, A. B.; Gramíneas forrageiras irrigadas na recuperação de solos salino-sódicos no Vale do Rio Moxotó, Ibimirim - PE, In: **Resumo do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2005, Olinda, PE, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; RODRIGUES FILHO, O. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghumbicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v,35, n,1, p,45-53, 2005.

PITOMBEIRA, J. B.; CASTRO, A. B.; POMPEU, R. C. F. F.; NEIVA, J. N. M. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará, **Ciência Agrônômica**, 33: 20-24, 2002.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction, **Soil and Tillage Research**, v. 65, p. 109-115, 2002.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida, In, CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26, 1997, Anais, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, CD-ROM.

SILVA, A. G.; ROCHA, V. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo forrageiro semeados em diferentes épocas do ano, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.112-125, 2005.

SOUZA, C. C. D.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. D. M.; SOUZA, V. C. D.; ALMEIDA, F. A. D.; SILVA, L. E. D. Produtividade do sorgo granífero cv. Sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p.512-517, 2005.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; BRITO, A. R. M. B. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 2, p. 47-58, 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura, **Bragantia**, Campinas, v, 66, n, 2, p, 235-245, 2007.

ZAGO, C. P. **Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes**: manejo cultural do sorgo para forragem. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1997. p.9-26. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 17).



## ANEXOS

**Tabela A1.** Taxas volumétricas de infiltração  $Q$  ( $h$ ) [ $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ] para os diferentes potenciais, na presença de palhada, obtidos nas campanhas de infiltração

|                           | 1ª campanha |          |            |           | 2ª campanha |          |            |           |
|---------------------------|-------------|----------|------------|-----------|-------------|----------|------------|-----------|
|                           | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| Q (-16)                   | 0,005225    | 0,003700 | 0,005900   | 0,002600  | 0,016600    | 0,005750 | 0,003950   | 0,005175  |
| Q (-8)                    | 0,015700    | 0,020075 | 0,022350   | 0,010950  | 0,052350    | 0,047125 | 0,033575   | 0,020950  |
| Q (-4)                    | 0,045375    | 0,051500 | 0,072300   | 0,046450  | 0,092700    | 0,180400 | 0,078625   | 0,108175  |
| Q (0)                     | 5,049925    | 4,914050 | 5,001350   | 2,134100  | 1,052500    | 6,912875 | 1,478450   | 2,923925  |
| $\theta_{\text{inicial}}$ | 0,041       | 0,042    | 0,042      | 0,054     | 0,028       | 0,027    | 0,022      | 0,035     |
| $\theta_{\text{final}}$   | 0,392       | 0,329    | 0,371      | 0,416     | 0,386       | 0,277    | 0,225      | 0,423     |

$\theta_{\text{inicial}}$  [ $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ];  $\theta_{\text{final}}$  [ $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ]

**Tabela A2.** Taxas volumétricas de infiltração  $Q$  ( $h$ ) [ $\text{cm.h}^{-1}$ ] para os diferentes potenciais, na ausência de palhada, obtidos nas campanhas de infiltração

|                           | 1ª campanha |          |            |           | 2ª campanha |          |            |           |
|---------------------------|-------------|----------|------------|-----------|-------------|----------|------------|-----------|
|                           | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| Q (-16)                   | 0,003150    | 0,005850 | 0,003800   | 0,005225  | 0,023000    | 0,018700 | 0,024400   | 0,025150  |
| Q (-8)                    | 0,054225    | 0,019225 | 0,014675   | 0,018525  | 0,068100    | 0,086250 | 0,055950   | 0,073300  |
| Q (-4)                    | 0,223650    | 0,051475 | 0,053875   | 0,052875  | 0,131675    | 0,212075 | 0,160600   | 0,124950  |
| Q (0)                     | 7,078725    | 2,509775 | 4,414475   | 3,150700  | 3,312825    | 7,785725 | 3,107300   | 3,235050  |
| $\theta_{\text{inicial}}$ | 0,040       | 0,040    | 0,030      | 0,049     | 0,028       | 0,020    | 0,022      | 0,028     |
| $\theta_{\text{final}}$   | 0,367       | 0,316    | 0,361      | 0,384     | 0,293       | 0,367    | 0,286      | 0,376     |

$\theta_{\text{inicial}}$  [ $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ];  $\theta_{\text{final}}$  [ $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ]

**Tabela A3.** Resultados obtidos pelas análises utilizando a metodologia de Ankeny para a presença de palhada

|                   | 1ª campanha |          |            |           | 2ª campanha |          |            |           |
|-------------------|-------------|----------|------------|-----------|-------------|----------|------------|-----------|
|                   | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| K (-16)           | 0,111       | 0,093    | 0,082      | 0,065     | 0,358       | 0,181    | 0,105      | 0,129     |
| K (-12)           | 0,193       | 0,231    | 0,172      | 0,134     | 0,646       | 0,521    | 0,320      | 0,261     |
| K (-6)            | 0,819       | 0,930    | 0,959      | 0,832     | 1,530       | 3,345    | 1,685      | 1,695     |
| K (-2)            | 25,755      | 26,532   | 32,774     | 15,721    | 13,853      | 59,134   | 24,526     | 25,712    |
| K (0)             | 286,153     | 276,934  | 275,787    | 113,907   | 50,003      | 367,088  | 154,478    | 155,518   |
| $\alpha$ (-12)    | 0,148333    | 0,206434 | 0,190914   | 0,179446  | 0,123716    | 0,259890 | 0,249186   | 0,182683  |
| $\alpha$ (-6)     | 0,261219    | 0,281151 | 0,271736   | 0,334696  | 0,171894    | 0,312151 | 0,209685   | 0,406575  |
| $\alpha$ (-2)     | 1,119722    | 1,141025 | 1,033284   | 0,942235  | 0,658762    | 0,921829 | 0,878152   | 0,862589  |
| $\lambda_c$ (-12) | 6,99        | 5,94     | 20,19      | 5,99      | 10,03       | 4,05     | 5,69       | 5,79      |
| $\lambda_c$ (-6)  | 4,36        | 4,71     | 6,83       | 3,38      | 6,18        | 3,55     | 5,70       | 4,00      |
| $\lambda_c$ (-2)  | 0,91        | 0,95     | 0,97       | 1,09      | 1,63        | 1,09     | 1,22       | 1,35      |
| $\lambda_m$ (-12) | 108,72      | 151,30   | 139,93     | 131,52    | 90,67       | 190,49   | 182,64     | 133,89    |
| $\lambda_m$ (-6)  | 191,45      | 173,68   | 199,17     | 245,31    | 125,99      | 228,79   | 153,68     | 297,99    |
| $\lambda_m$ (-2)  | 820,67      | 804,54   | 757,32     | 690,59    | 482,83      | 675,63   | 643,62     | 632,22    |

K ( $h$ ) [ $\text{cm h}^{-1}$ ];  $\alpha$  [ $\text{mm}^{-1}$ ];  $\lambda_c$  [mm];  $\lambda_m$  [ $\mu\text{m}$ ]

**Tabela A4.** Resultados obtidos pelas análises utilizando a metodologia de Ankeny para a presença de palhada

|                   | 1ª campanha |          |            |           | 2ª campanha |          |            |           |
|-------------------|-------------|----------|------------|-----------|-------------|----------|------------|-----------|
|                   | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 | IPA 2502    | IPA 4202 | IPA 467-42 | IPA SF 25 |
| K (-16)           | 0,112       | 0,131    | 0,090      | 0,116     | 0,479       | 0,500    | 0,264      | 0,524     |
| K (-12)           | 0,459       | 0,239    | 0,222      | 0,224     | 0,836       | 1,076    | 0,471      | 0,901     |
| K (-6)            | 4,114       | 0,962    | 1,256      | 0,911     | 2,308       | 3,923    | 2,590      | 11,355    |
| K (-2)            | 65,680      | 18,755   | 26,021     | 21,491    | 33,089      | 67,438   | 34,103     | 30,989    |
| K (0)             | 370,587     | 136,044  | 246,414    | 172,884   | 170,813     | 412,578  | 157,025    | 167,918   |
| $\alpha$ (-12)    | 0,336158    | 0,136938 | 0,164941   | 0,177612  | 0,116938    | 0,179525 | 0,185469   | 0,149120  |
| $\alpha$ (-6)     | 0,310221    | 0,203631 | 0,316054   | 0,252056  | 0,165637    | 0,202914 | 0,203224   | 0,268755  |
| $\alpha$ (-2)     | 0,809021    | 1,011663 | 0,995038   | 0,994347  | 0,784441    | 0,959169 | 0,761328   | 0,787373  |
| $\lambda_c$ (-12) | 3,24        | 7,48     | 8,32       | 6,19      | 10,42       | 5,70     | 12,62      | 7,00      |
| $\lambda_c$ (-6)  | 3,72        | 5,18     | 3,73       | 6,55      | 6,09        | 5,41     | 5,99       | 2,70      |
| $\lambda_c$ (-2)  | 1,26        | 1,01     | 1,04       | 1,02      | 1,30        | 1,06     | 1,32       | 1,52      |
| $\lambda_m$ (-12) | 246,38      | 100,37   | 120,89     | 130,18    | 85,71       | 131,58   | 135,94     | 109,29    |
| $\lambda_m$ (-6)  | 227,37      | 149,25   | 231,65     | 184,74    | 121,40      | 148,72   | 148,95     | 69,98     |
| $\lambda_m$ (-2)  | 592,95      | 741,48   | 729,29     | 728,78    | 574,94      | 703,00   | 557,10     | 577,09    |

K ( $h$ ) [ $\text{cm h}^{-1}$ ];  $\alpha$  [ $\text{mm}^{-1}$ ];  $\lambda_c$  [mm];  $\lambda_m$  [ $\mu\text{m}$ ]

**Tabela A5.** Análise de variância para produção de matéria verde (t/ha/corte)

| FV                 | GL    | SQ          | QM                | Fc     | Pr>Fc  |
|--------------------|-------|-------------|-------------------|--------|--------|
| CULTIVAR           | 3     | 2016.129695 | 672.043232        | 29.256 | 0.0000 |
| COBERTURA          | 1     | 221.062108  | 221.062108        | 9.623  | 0.0054 |
| CULTIVAR*COBERTURA | 3     | 73.983130   | 24.661043         | 1.074  | 0.3816 |
| BLOCO              | 3     | 168.521845  | 56.173948         | 2.445  | 0.0922 |
| Erro               | 21    | 482.401494  | 22.971500         |        |        |
| Total corrigido    | 31    | 2962.098272 |                   |        |        |
| CV (%)             | 15.06 |             |                   |        |        |
| Média geral        | 31.83 |             | Nº de observações | 32     |        |

**Tabela A6.** Análise de variância para produção de matéria seca (t/ha/corte)

| FV                 | GL   | SQ            | QM                | Fc    | Pr>Fc |
|--------------------|------|---------------|-------------------|-------|-------|
| CULTIVAR           | 3    | 54544289.9786 | 18181429.99287    | 14.39 | 0.000 |
| COBERTURA          | 1    | 14023291.6447 | 14023291.64475    | 11.05 | 0.002 |
| CULTIVAR*COBERTURA | 3    | 1458989.43563 | 486329.811878     | 0.384 | 0.765 |
| BLOCO              | 3    | 3366166.56188 | 1122055.520628    | 0.886 | 0.464 |
| Erro               | 21   | 26590130.9862 | 1266196.713633    |       |       |
| Total corrigido    | 31   | 99982868.6071 |                   |       |       |
| CV (%)             | 15.6 |               |                   |       |       |
| Média geral        | 31.3 |               | Nº de observações | 32    |       |