**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cv. Cameroon, em função da adubação nitrogenada e irrigação em região semiárida

Guilherme Busi de Carvalho

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2014**

Guilherme Busi de Carvalho
Engenheiro Agrônomo

Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cv. Cameroon, em função da adubação nitrogenada e irrigação em região semiárida

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Carvalho, Guilherme Busi de

Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cv. Cameroon, em função da adubação nitrogenada e irrigação em região semiárida/ Guilherme Busi de Carvalho.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
179 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Agroenergia 2. Bioenergia 3. Nitrogênio 4. Energia renovável I. **Título**

CDD 633.2
C331c

Aos amores da minha vida: minha
esposa, Stella e meus filhos, Raphael e
Miguel,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

À minha esposa Stella Pacheco Lombardi de Carvalho, pelo amor, companheirismo, compreensão e ajuda em toda nossa vida.

Aos meus filhos, Raphael Lombardi de Carvalho e Miguel Lombardi de Carvalho, por serem minha fonte de inspiração e pelo amor incondicional.

Aos meus Pais, Nelson Pereira Lima de Carvalho e Vera Lucia Busi de Carvalho, pela educação e pelo exemplo de retidão.

Ao meu orientador Dr. Durval Dourado Neto, pelos ensinamentos, companheirismo e contribuição na minha formação acadêmica e pessoal.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Engenharia de Biossistemas pela oportunidade de estudo e ao Instituto Nacional de Ciência e tecnologia em Engenharia de Irrigação (INCT-EI) pelos ensaios hidráulicos e apoio estrutural;

À empresa ENDESA, financiadora do projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D ANEEL 2934-0001/2010).

À empresa BOVIPLAN, pela oportunidade, gestão do projeto de P&D e suporte na condução dos experimentos.

Ao pesquisador Dr. Juan Sinforiano Delgado Rojas, pelo gerenciamento da área experimental e condução do projeto P&D.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial aos Doutores José Antônio Frizzzone e Fernando Mendonça, pela amizade e pelo suporte realizado durante todo o experimento e curso de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas Caio Fortes pela revisão do Abstract e Marco Antônio Jacomazzi pelo apoio na análise estatística.

Aos mestrandos do Departamento de Produção Vegetal, Guilherme Felisberto e Felipe Fadel Sartori, pelo auxílio na verificação da forma final desta Tese.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Gilmar, Davilmar, Ângela, Sandra, Beatriz, Helio, Sr Antônio, Antônio, Marinaldo, Luiz, Paula e Ivan.

Enfim, a todos que contribuiriam para a realização deste trabalho e, que, involuntariamente foram omitidos, muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS.....	29
1 INTRODUÇÃO	35
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1 Capim-elefante.....	37
2.1.1 Origem e classificação botânica	37
2.1.2 Descrição morfológica	38
2.1.3 Caracterização agrônômica.....	39
2.2 Produção de biomassa de capim-elefante	39
2.3 Efeito do nitrogênio e da irrigação na produção de capim-elefante	43
2.4 Índice de área foliar	44
2.5 Poder calorífico da biomassa de capim-elefante.....	45
2.6 Coeficiente de cultura	46
2.7 Capacidade de armazenamento de água do solo.....	46
2.8 Sistema de irrigação line source	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Caracterização da área experimental	49
3.1.1 Localização geográfica	49
3.1.2 Caracterização climática	50
3.1.3 Solo	52
3.1.3.1 Classificação do solo	52
3.1.3.2 Características e propriedades químicas do solo	53
3.1.3.3 Características físicas do solo	54

3.2	Práticas culturais	55
3.2.1	Viveiro de mudas	55
3.2.2	Preparo da área experimental	55
3.3	Sistema de aplicação e fonte de água	59
3.4	Profundidade efetiva do sistema radicular	62
3.5	Índice de área foliar	64
3.6	Manejo da irrigação	65
3.6.1	Estação meteorológica	65
3.6.2	Capacidade de armazenamento de água do solo	66
3.6.3	Coeficiente de cultura	67
3.6.4	Evapotranspiração da cultura	67
3.7	Variedade cultivada, delineamento experimental e tratamentos	68
3.8	Adubação de cobertura	71
3.9	Avaliações	71
3.10	Estatística	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1	Elementos do clima	75
4.2	Lâminas de irrigação	84
4.3	Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio	85
4.3.1	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio	85
4.3.2	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água	86
4.3.3	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a dose de nitrogênio	87
4.3.4	Análise estatística	88

4.3.5	Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio	90
4.4	Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando lâmina de água e a idade de corte.....	98
4.4.1	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando a idade de corte.....	98
4.4.2	Análise estatística	100
4.4.3	Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando a idade de corte e a lâmina de água.....	101
4.5	Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a dose de nitrogênio e a idade de corte	110
4.5.1	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a idade de corte.....	110
4.5.2	Análise estatística	112
4.5.3	Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a dose de nitrogênio e a idade de corte	112
4.6	Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e da dose de nitrogênio	122
4.6.1	Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e da dose de nitrogênio fixando a idade de corte	122
4.6.2	Análise estatística	124
4.6.3	Caracterização (superfície de resposta) do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e dose de nitrogênio fixando a última idade de corte	133
4.7	Caracterização fitotécnica de capim-elefante	136
4.7.1	Altura de capim-elefante.....	136
4.7.1.1	Altura de capim-elefante em função da lâmina de água e da idade de corte.....	136
4.7.1.2	Altura de capim-elefante em função da dose de nitrogênio e da idade de corte.....	139
4.7.1.3	Relação entre produtividade de biomassa seca e altura de capim-elefante	142

4.7.2	Índice de área foliar de capim-elefante..	143
4.7.2.1	Índice de área foliar de capim-elefante em função da lâmina de água e idade de corte	143
4.7.2.2	Índice de área foliar de capim-elefante em função da dose de nitrogênio e da idade de corte	147
4.7.2.3	Relação entre produtividade de biomassa seca e índice de área foliar de capim-elefante	150
4.7.3	Relação entre índice de área foliar e altura de capim-elefante.....	152
4.8	Considerações finais.....	154
4.8.1	Considerações gerais.....	154
4.8.2	Nitrogênio	154
4.8.3	Coeficiente de cultura	154
4.8.4	Lâmina de água (irrigação e precipitação) e água disponível no solo	155
5	CONCLUSÕES.....	157
	REFERÊNCIAS.....	159
	ANEXOS	165

RESUMO

Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cv. Cameroon, em função da adubação nitrogenada e irrigação em região semiárida

Tendo em vista o potencial de uso de biomassa obtida do capim-elefante como combustível de fonte renovável em regiões semiáridas, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de seis doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha⁻¹) e de sete lâminas de água (precipitação e irrigação com 0, 40, 54, 100, 135, 148 e 200% da evapotranspiração potencial da cultura - ETc) em sete idades de corte (46, 82, 112, 139, 169, 202 e 231 dias) sobre a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹), altura (m) e índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de capim-elefante, cultivar Cameroon. O experimento foi conduzido em Neossolo Quartzarênico localizado em Beberibe (CE), entre maio de 2012 e março de 2013. As doses de nitrogênio constituíram as parcelas e as lâminas de irrigação as subparcelas, segundo o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos de irrigação foram dispostos perpendicularmente e os tratamentos de doses de nitrogênio foram dispostos paralelamente à linha lateral de irrigação. Os blocos experimentais foram constituídos por 36 parcelas de 5 x 15 m e o tratamento sem irrigação (L₀), com 6 doses de nitrogênio e 4 repetições, foi implantado em local separado para evitar influência da área irrigada. Como fonte de nitrogênio, utilizou-se o sulfato de amônio aplicado a lanço, parcelado em três aplicações. O manejo e a definição do momento de irrigação foi realizado por meio da determinação da capacidade de armazenamento de água no solo e do cálculo da ETc pelo método de Penman-Monteith-FAO. Em relação à BMS, o capim-elefante respondeu ao aumento da adubação nitrogenada e das lâminas de água nas 7 idades de corte avaliadas. O maior acúmulo de BMS ocorreu no tratamento combinado entre 135% ETc e 400 kg.ha⁻¹ de N, aos 231 dias, com 239,85 kg.ha⁻¹.dia⁻¹. A produção de capim-elefante respondeu às lâminas de irrigação em todas as idades de corte analisadas e a maior resposta, em acúmulo diário de BMS de capim-elefante, obtida no tratamento 100% ETc aos 82 dias com 43,46 kg.ha⁻¹.mm⁻¹. As produtividades obtidas nos tratamentos 135, 148 e 200% ETc, a partir dos 82 até 231 dias de idades de corte, foram as maiores e não diferiram significativamente. A produção de BMS de capim-elefante não respondeu ao aumento da adubação nitrogenada isoladamente em seis idades de corte (a partir de 82 até 231) e houve resposta ao aumento da adubação nitrogenada isoladamente aos 46 dias de idade entre as doses 44 e 1000 kg.ha⁻¹ de N, com 3780 e 5005 kg.ha⁻¹ de BMS, respectivamente. A maior resposta, em acúmulo de BMS de capim-elefante, ocorreu no tratamento de 800 kg.ha⁻¹ de N aos 231 dias com 15,383 kg.ha⁻¹.kg⁻¹ de N. O IAF e a altura do capim-elefante responderam às lâminas de água e não responderam à adubação nitrogenada. O IAF e a altura podem ser utilizados como parâmetro na estimativa de produção de BMS de capim elefante até 112 e 202 dias após o corte, respectivamente. Não houve correlação entre o IAF e altura do capim-elefante.

Palavras-chave: Agroenergia; Bioenergia; Nitrogênio; Energia renovável; Energia alternativa

ABSTRACT

Biomass production characterization of elephant-grass (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cv. Cameroon, related to nitrogen fertilization and irrigation in the semiarid region of Brazil

Due to the potential use of elephant-grass biomass as a source of renewable fuel in semi-arid regions, this study aimed to evaluate the effects of six nitrogen rates (44, 200, 400, 600, 800 and 1000 kg.ha⁻¹) and seven irrigation levels (0, 40, 54, 100, 135, 148 and 200% of crop evapotranspiration - ETc) in seven cropping ages (46, 82, 112, 139, 169, 202 and 231 days) on elephant-grass, Cameroon cultivar, dry biomass yield (BMS, kg.ha⁻¹), height (m) and leaf area index (LAI, m².m⁻²). The trial was conducted in a Quartzipsamment soil located in Beberibe, Ceará State, Brazil, semiarid region, from May 2012 to March 2013. The nitrogen rates were the main plots and the irrigation levels comprised the subplots, according to a randomized block design with four replications. Irrigation treatments perpendicularly arranged (line source system sprynkler) and nitrogen rates were arranged in parallel to the lateral irrigation line. The experimental block consisted of 36 plots with 5 x 15 m and the treatment without irrigation (L₀), with 6 nitrogen rates and 4 replications, was carried out in separate location to avoid influence of the irrigated area. The nitrogen source was ammonium sulphate, was topdressed onto soil surface, in three split applications during the trial. The irrigation timing and management definition was performed by soil water storage capacity determination and through the Penman-Monteith-FAO crop evapotranspiration calculation. Regarding to BMS production, elephant-grass responded to nitrogen fertilization and irrigation in 7 evaluated periods, and the highest BMS (kg.ha⁻¹.day⁻¹) accumulation response was obtained in the combined treatment 135% ETc and 400 kg.ha⁻¹ N at after 231 days with 239.85 kg.ha⁻¹.day⁻¹. Regarding to irrigation depths treatments, the elephant-grass production increased in all analyzed periods, and the largest BMS (kg.ha⁻¹.day⁻¹) accumulation response was found in treatment 100% ETc after 82 days with 43.46 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ applied. The yield in treatments 125, 148 and 200% ETc in cutting ages from 82 to 231 days were the highest and did not differ significantly. The elephant-grass did not respond to nitrogen rates after 6 periods evaluated (82 to 231 days) however the N fertilization responded at the age of 46 days with 3.780 e 5005 kg.ha⁻¹ de BMS between treatments of 44 e 1000 kg.ha⁻¹ de N, respectively and the most intense BMS accumulation response was observed in treatment 800 kg.ha⁻¹ of N at 231 days with 15,4 kg.ha⁻¹.kg⁻¹ N applied. The LAI and height of elephant-grass responded to water depths and did not respond to nitrogen fertilization. Both can be adopted as an elephant grass BMS yield estimation parameter from the age of 112 to 202 days after cutting, respectively. However, BMS *versus* LAI and LAI *versus* height interaction showed no correlation between the data collection periods, thus those variables should not be adopted for yield estimation purpose for this crop.

Keywords: Agroenergy; Bioenergy; Nitrogen; Renewable energy; Alternative energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Referência geográfica da Fazenda Vitória, localizada em Beberibe (CE). (A) Localização de Beberibe em relação ao estado do Ceará; (B) Localização da Fazenda Vitória em relação à cidade de Beberibe e à capital Fortaleza (CE) (Imagem extraída do Google Earth®).....	49
Figura 2 -	Visão geral da área experimental. Foto aérea da fazenda Vitória, Beberibe, CE	50
Figura 3 -	Precipitação média (Pt, mm) da região de Beberibe (CE). (A) Média anual entre as estações pluviométricas; (B) média mensal entre 2000 e 2011 da estação pluviométrica Sítio Forquilha.....	51
Figura 4 -	Dados médios mensais de temperatura (T, °C), umidade relativa (UR, %) e da precipitação (Pt, mm.mês ⁻¹). Dados coletados entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE) ..	52
Figura 5 -	Neossolo Quartzarênico Órtico Típico Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	53
Figura 6 -	Curvas características de retenção de água do solo da área experimental. Neossolo Quartzarênico Órtico Típico. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013: (A) conteúdo de água no solo a base de volume (Θ , m ³ .m ⁻³) e tensão (ψ , cm). Comparativo entre várias amostras na camada de 0 a 20 cm; (B) Tensão (ψ , MPa) e conteúdo de água do solo a base em volume (Θ , m ³ .m ⁻³). Comparativo entre as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.....	55
Figura 7 -	Cobertura do solo antes da implantação do experimento. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). (A) Antes da eliminação das plantas de cajueiro. (B) Após a eliminação das plantas de cajueiro em 20/05/2012	56
Figura 8 -	Fases de desenvolvimento de capim-elefante na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Plantio das mudas colhidas do viveiro primário em 04/04/2012; (B) Emergência de capim-elefante, em 22/04/2012; (C) Porte de capim-elefante com 15 dias após emergência (07/05/2012); e (D) Porte de capim-elefante com 24 dias após emergência (16/05/2012)	57
Figura 9 -	Vazamentos apresentados pelo sistema de irrigação após instalação na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Vazamento na bolsa do Tê; (B) Alagamento causado pelo vazamento no Tê	57

Figura 10 -	Etapas da recuperação do estande de capim-elefante na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Plantio de mudas nas falhas de brotação 16/06/2012; (B) Operação de roçagem do capim para equalização de capim-elefante, em 22/06/2012; (C) Situação do capim após a roçagem; e (D) Porte de capim-elefante dois dias após a roçagem (24/06/2012)	58
Figura 11 -	Aspersor NaanDanJain modelo AG 5035 utilizado no experimento de irrigação. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	60
Figura 12 -	Perfil de distribuição de água para o aspersor NaanDanJain AG 5035 bocal 5,0 mm x 2,5 mm, operando à pressão de 35 mca. Precipitação (Pt, mm.h ⁻¹) em função de distância (d, m). Ensaio realizado no laboratório de ensaios de material de irrigação (LEMI) do Instituto nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação, Departamento de Engenharia de Biosistemas - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. Agosto/2011	61
Figura 13 -	Visão geral do posicionamento dos coletores no experimento para determinação do perfil de distribuição de água. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013	61
Figura 14 -	Perfil de precipitação de água (Pt, mm.h ⁻¹) em função da distância (d, m) ajustado a partir do ensaio de campo. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013	62
Figura 15 -	Distribuição do sistema radicular de capim-elefante, cultivar Cameroon, com 58 dias após emergência. Fazenda Vitória, Beberibe (CE), 26 de julho de 2012. (A) Detalhe do sistema radicular após remoção do solo até 40 cm de profundidade; (B) Perfil geral do solo a 1,0 m de profundidade....	63
Figura 16 -	Distribuição percentual de raízes (Dr, %) de capim-elefante na profundidade (Z, cm) do solo: (A) capim planta aos 14, 58 e 88 dias após a emergência (DAE); e (B) capim soca aos 27, 77 e 107 dias após a colheita (DAC)	63
Figura 17 -	Coleta e pesagem de amostras de biomassa de capim-elefante para análise do Índice de Área Foliar (IAF). Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013	64

Figura 18 -	Processo para determinação do Índice de Área Foliar (IAF). Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013: (A) Processo de digitalização de imagem de uma amostra de folhas; (B) Pesagem de amostra de folhas ...	65
Figura 19 -	Imagem produzida pelo programa integralizador de imagem Matlab 6.5 utilizado para quantificação da área da imagem digitalizada. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013	65
Figura 20 -	Estação meteorológica automatizada instalada em agosto de 2011 (A) e em pleno funcionamento durante os trabalhos experimentais (B). Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	66
Figura 21 -	Croqui da área experimental. Distribuição dos tratamentos de lâminas de irrigação (L) e de doses de nitrogênio na área experimental. Linha tracejada vermelha: tubulação lateral - <i>line source</i> . Nomenclatura: L ₂ , R ₁ (lâmina 2 repetição 1), 32 = Tratamento de nitrogênio 3, repetição 2. As parcelas mais escuras correspondem a lâminas maiores. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	70
Figura 22 -	Pesagem do material vegetal (Id ₁ , 06-08-12). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	71
Figura 23 -	Primeira avaliação do experimento (Id ₁ , 06-08-12). Processo de retirada de folhas para avaliação da biomassa foliar (A) e visão do experimento depois da colheita da biomassa para análise (B). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	72
Figura 24 -	Variação temporal da temperatura (T, °C) e da umidade relativa (UR, %) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados médios diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	75
Figura 25 -	Temperatura (T, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) máxima e mínima diária entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	76
Figura 26 -	Variação temporal da temperatura (T, °C) e da umidade relativa do ar (UR, %) (média mensal) ao longo do dia. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	76
Figura 27 -	Variação temporal da radiação líquida (RL, MJ.m ⁻² .d ⁻¹) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	77

Figura 28 -	Radiação líquida (RL , $W.m^{-2}$) média ao longo do dia. Dados médios mensais observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	77
Figura 29 -	Distribuição diária da velocidade do vento (v , $m.s^{-1}$) máxima média nos anos de 2011, 2012 e 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	78
Figura 30 -	Velocidade máxima de vento (v_{max} , $m.s^{-1}$) registrado entre agosto de 2011 e abril de 2013, de acordo com a hora do dia. Dados registrados na estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	78
Figura 31 -	Variação temporal da velocidade média e máxima do vento (v , $m.s^{-1}$) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados médios diários. Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	79
Figura 32 -	Variação temporal típica da velocidade do vento (v , $m.s^{-1}$) ao longo do dia. Dados médios observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	79
Figura 33 -	Variação temporal típica da direção média do vento (DMV , graus) ao longo do dia. Dados médios observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE).....	80
Figura 34 -	Tendência da frequência da direção do vento, dadas em porcentagem, em 2011, 2012 e 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	81
Figura 35 -	Variação temporal da evapotranspiração de referência (ET_o , $mm.d^{-1}$) entre agosto de 2011 e setembro de 2012. Dados médios diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	82
Figura 36 -	Dados médios mensais de temperatura (T , $^{\circ}C$), umidade relativa (UR , %), velocidade do vento (v , $m.s^{-1}$), radiação líquida (RL , $MJ.m^{-2}.d^{-1}$) e acúmulo da evapotranspiração de referência (ET_o , $mm.d^{-1}$) e da precipitação (Pt , mm). Dados coletados entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	83
Figura 37 -	Extrato de balanço hídrico sequencial do solo no período entre agosto de 2011 e abril de 2013. Fazenda Vitória, Beberibe (CE)	83

Figura 38 -	<i>Boxplot</i> referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha ⁻¹) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id ₁ 46; Id ₂ 82, Id ₃ 112, Id ₄ 139, Id ₅ 170; Id ₆ 203 e Id ₇ 231 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	85
Figura 39 -	<i>Boxplot</i> referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha ⁻¹) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id: 46, 82, 112, 139, 170, 203 e 231 dias após o corte de equalização) para as seis lâminas de água: 40 [A], 54 [B], 100 [C], 135 [D], 148 [E] e 200 [F] % da ETc. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	86
Figura 40 -	<i>Boxplot</i> referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha ⁻¹) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id: 46, 82, 112, 139, 170, 203 e 231 dias após o corte de equalização) para as seis doses de nitrogênio: 44 [A], 200 [B], 400 [C], 600 [D], 800 [E], 1000 [F] kg.ha ⁻¹ de N. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	87
Figura 41 -	Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha ⁻¹) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N ₁ : 44, N ₂ : 200, N ₃ : 400, N ₄ : 600, N ₅ : 800 e N ₆ : 1000 kg.ha ⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 40% da ETc (Lâmina 1 – L ₁) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	92
Figura 42 -	Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha ⁻¹) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N ₁ : 44, N ₂ : 200, N ₃ : 400, N ₄ : 600, N ₅ : 800 e N ₆ : 1000 kg.ha ⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 54% da ETc (Lâmina 2 – L ₂) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	93

- Figura 43 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para o tratamento de irrigação com 100% da ETc (Lâmina 3 – L_3) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 94
- Figura 44 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para o tratamento de irrigação com 135% da ETc (Lâmina 4 – L_4) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 95
- Figura 45 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para o tratamento de irrigação com 148% da ETc (Lâmina 5 – L_5) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 96
- Figura 46 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para o tratamento de irrigação com 200% da ETc (Lâmina 6 – L_6) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 97
- Figura 47 - *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha^{-1} de N) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 99

- Figura 48 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 46 dias (idade de corte 1) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 103
- Figura 49 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 82 dias (idade de corte 2) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 104
- Figura 50 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 112 dias (idade de corte 3) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 105
- Figura 51 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 139 dias (idade de corte 4) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 106

- Figura 52 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 170 dias (idade de corte 5) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013..... 107
- Figura 53 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 203 dias (idade de corte 6) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013..... 108
- Figura 54 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc para colheita aos 231 dias (idade de corte 7) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013..... 109
- Figura 55 - *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâminas de água (precipitação e irrigação - 40, 54, 100, 135, 148 e 200 % da ETc) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013..... 111

- Figura 56 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 46 dias (idade de corte 1) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 115
- Figura 57 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 82 dias (idade de corte 2) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 116
- Figura 58 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 112 dias (idade de corte 3) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 117
- Figura 59 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 139 dias (idade de corte 4) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 118

- Figura 60 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 170 dias (idade de corte 5) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 119
- Figura 61 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 203 dias (idade de corte 6) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 120
- Figura 62 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc e doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N) para colheita aos 231 dias (idade de corte 7) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 121
- Figura 63 - *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) para os 42 tratamentos (T) (Tabela 10) em função da lâmina total de água (irrigação e precipitação) (com 40, 54, 100, 135, 148 e 200% da ETc) e de doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha^{-1} de N) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 123

- Figura 64 - *Ranking* obtido em cada tratamento (Tt, valor total resultante da soma dos *ranking* obtidos nas sete avaliações) de acordo com a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água e dose de nitrogênio (no caso dos tratamentos 1 a 7, os valores foram multiplicados por 7) 133
- Figura 65 - Valores observados utilizados para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e da dose de nitrogênio (N, kg.ha⁻¹ de nitrogênio) (idade de corte 7)..... 134
- Figura 66 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de lâminas de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 137
- Figura 67 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da lâmina de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc) e da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 138
- Figura 68 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆:1000 Kg.ha⁻¹ de N). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 140
- Figura 69 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio(N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 Kg.ha⁻¹ de N) e da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 141

- Figura 70 - Produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da altura (m) para seis idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 143
- Figura 71 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de lâminas de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 145
- Figura 72 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâminas de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc) e da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 146
- Figura 73 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio - N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha^{-1} de N) e da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013..... 148
- Figura 74 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 Kg.ha^{-1} de N). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 .. 149
- Figura 75 - Produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função do índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) para sete idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202; e Id₇: 231 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 151

- Figura 76 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da altura (m) para seis idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013 153
- Figura 77 - Software SAS (*interaction plot*) - Produção de biomassa seca (BMS, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização..... 167
- Figura 78 - Software SAS (*interaction plot*) – Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização 169
- Figura 79 - Software SAS (*interaction plot*) - Altura (h, m) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170 e [F] 203 dias após o corte de equalização (Valores de altura não disponíveis aos 231 dias após o corte de equalização)..... 171
- Figura 80 - Software SAS (*interaction plot*) - Produção de biomassa seca (BMS, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) em função de doses de nitrogênio (N, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização 173
- Figura 81 - Software SAS (*interaction plot*) – Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em função de doses de nitrogênio (N, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização 175
- Figura 82 - Software SAS (*interaction plot*) - BMS ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) em função da idade após o corte de equalização (Id, dias) nas diferentes doses de nitrogênio ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ de N): [A] 44, [B] 200, [C] 400, [D] 600, [E] 800 e [F] 1000 177
- Figura 83 - Software SAS (*interaction plot*) - BMS ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) em função da idade após o corte de equalização (Id, dias) nas diferentes doses de nitrogênio ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ de N): [A] 44, [B] 200, [C] 400, [D] 600, [E] 800 e [F] 1000 179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resultado das pesquisas efetuadas em diferentes sistemas de busca catalográfica utilizando diferentes palavras-chave	37
Tabela 2 -	Valores históricos de precipitação anual (mm) por estação pluviométrica da região de Beberibe (CE)	51
Tabela 3 -	Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Parâmetros: pH, matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+Al)	53
Tabela 4 -	Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Soma de bases (K + Ca + Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V, %), Saturação de alumínio (m, %) e enxofre (SO ₄)	54
Tabela 5 -	Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B)	54
Tabela 6 -	Teores de argila, silte e areia total e distribuição entre areia grossa e fina nas camadas de solo (Z, cm) de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Data da coleta 15/04/2011	54
Tabela 7 -	Sequência de datas das principais atividades de tratos culturais. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013	58
Tabela 8 -	Análise química e física da água do canal do trabalhador coletada na captação do sistema de irrigação do experimento. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Amostra coletada em 02/12/2010	59
Tabela 9 -	Coeficiente de cultura (Kc) utilizado em função do número de dias após o corte (período) do capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	67

Tabela 10 -	Descrição sucinta dos tratamentos de irrigação (I, %) e da adubação nitrogenada (N, kg.ha ⁻¹ de N no plantio – PN, em cobertura – CB, e total) do experimento com capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em sete idades de corte (Id, número de dias após o corte de equalização), e precipitação (Pt, mm) ocorrida no período (Pd, dias). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	69
Tabela 11 -	Descrição dos 42 tratamentos (T _k) resultantes da combinação de sete lâminas (L ₀ a L ₆ , mm) de água (precipitação - Pt, mm - e irrigação - I ₀ a I ₆ , % da ETc) e seis doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha ⁻¹ de N) referentes ao experimento com capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013.....	69
Tabela 12 -	Datas das avaliações do experimento em função da idade de corte (Id, número de dias após o corte de equalização) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013	72
Tabela 13 -	Precipitação (Pt, mm) e lâminas de irrigação (I ₀ a I ₆ , mm) e de água (precipitação e irrigação - L ₀ a L ₆ , mm) aplicadas por período (Pd, dias) de avaliação durante o experimento com capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , cv. Cameroon) em sete idades de corte (Id, número de dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013.....	84
Tabela 14 -	Número de repetições (Nr) e valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id _i , dias).....	88
Tabela 15 -	Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id _i , dias) e das lâminas de água (L _i , mm). (Nr: número de repetições = 6) ..	89
Tabela 16 -	Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id _i , dias) e das doses de nitrogênio (N _i , kg.ha ⁻¹). (Nr: número de repetições = 6)	89

Tabela 17 -	Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função das doses de nitrogênio (N) e das idade de corte (Id, dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições = 24)	100
Tabela 18 -	Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função das lâminas de água (L _i , precipitação e irrigação) e das idades de corte (Pd, dias) em função da idade de corte (Id _i , dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24).....	112
Tabela 19 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 37,48%) de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (primeira idade de corte – 46 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>)	125
Tabela 20 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 41,29 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (segunda idade de corte – 82 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>)	126
Tabela 21 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,55 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (terceira idade de corte – 112 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>)	127
Tabela 22 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,44 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha ⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (quarta idade de corte – 139 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>)	128

Tabela 23 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 39,29 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha^{-1}) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (quinta idade de corte – 170 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>).....	129
Tabela 24 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 37,79 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha^{-1}) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (sexta idade de corte – 203 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>).....	130
Tabela 25 -	Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,33%) de biomassa seca (BMS, Mg.ha^{-1}) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (sétima idade de corte – 231 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: <i>ranking</i>)	131
Tabela 26 -	Valores referentes ao <i>ranking</i> e classificação (Cl) obtidos em cada tratamento e totais (Tt) nas sete avaliações referentes à produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água e dose de nitrogênio	132
Tabela 27 -	Análise da variância referente ao modelo utilizado para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e dose de nitrogênio (N, kg.ha^{-1} de nitrogênio). CV: Causa da variação. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: Quadrado médio. F: Valor F. α : Nível de significância	135
Tabela 28 -	Estimativa, erro padrão e intervalo de confiança (nível de significância de 95%) dos parâmetros empíricos do modelo utilizado para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e dose de nitrogênio (N, kg.ha^{-1} de nitrogênio)	135

Tabela 29 -	Valores médios de altura (m) de capim-elefante em função de lâmina de água (irrigação e precipitação) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)	136
Tabela 30 -	Valores médios de altura (m) de capim-elefante em função de doses de nitrogênio (kg.ha^{-1} de N) e das idades de corte (Id, número de dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições = 24)	139
Tabela 31 -	Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) em função da altura (m) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , Schum.) em seis idades de corte.....	142
Tabela 32 -	Valores médios de índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante em função de lâmina de água (irrigação e precipitação) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24).....	144
Tabela 33 -	Valores médios de índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante em função de doses de nitrogênio (kg.ha^{-1} de N) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)	147
Tabela 34 -	Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) em função do índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , Schum.) em sete idades de corte	150
Tabela 35 -	Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre o índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em função da altura (m) de capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> , Schum.) em seis idades de corte.....	152

1 INTRODUÇÃO

A população mundial aumentará em mais de 25% até 2050 (UNITED NATIONS, 2014). Esse crescimento populacional e econômico, aliado à melhoria no padrão de vida das pessoas, exigirá cerca de 30% mais energia em 2040 em relação a 2010 (EXXONMOBIL, 2012). As maiores fontes da energia mundial (responsável por 81,6% da energia produzida no mundo) são o carvão, o gás natural e o petróleo, os chamados combustíveis fósseis. Os biocombustíveis e os resíduos correspondem a 10%, energia nuclear 5,1%, energia hidroelétrica 2,3% e outras (geotérmica, solar e eólica, principalmente) 1,0% da produção mundial de energia (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA, 2011).

O interesse mundial pelas diversas opções de energia renovável tem crescido significativamente nos últimos anos em resposta às preocupações com os gases de efeito estufa oriundos dos combustíveis fósseis e os seus efeitos sobre as possíveis mudanças climáticas (RAISON, 2006). Reduções nas emissões de carbono, proteção ambiental, fornecimento de energia sustentável (LIEBIG et al., 2005; MA; WOOD; BRANSBY, 2000), diminuição da dependência do petróleo e seus derivados, por serem fontes finitas de energia, e do ganho econômico pela utilização de produtos não degradadores do meio ambiente por créditos conseguidos por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no protocolo de Kyoto, são os principais objetivos da política energética mundial (QUESADA, 2005; KRAXNER; NILSSON; OBERSTEINER, 2003).

O uso da biomassa como fonte de energia renovável tem sido uma alternativa discutida há algum tempo. Na Conferência das Nações Unidas em Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio, em 1992, o cenário global de energia renovável intensivo sugeriu que metade do consumo da energia primária do mundo, cerca de 400 EJ.ano⁻¹, poderia ser atendido por biomassa e que 60% do mercado de energia elétrica do mundo poderia ser alimentado por energias renováveis, dos quais a biomassa é um componente significativo (PRICE, 1998¹ *apud* MCKENDRY, 2002).

¹ PRICE, B. Electricity from biomass. Financial Times Business Ltd., ISBN 1 84083 0735. 1998.

Dentre as melhores oportunidades para a utilização de fontes renováveis para produção de energia está a biomassa vegetal, por conta da grande extensão de terras agricultáveis no Brasil (PANIAGO et al., 2011). Entretanto, segundo SAMSON et al. (2005) culturas dedicadas à bioenergia devem ser produzidas em terras marginais, onde as culturas alimentares têm dificuldade de se desenvolver, como encostas desmatadas, áreas com solos rasos ou pesados e áreas esgotadas pelo cultivo intensivo de outras culturas. Porém, a biomassa pode ser utilizada estrategicamente para suprir a demanda por energia em períodos críticos e melhorar a distribuição da matriz energética, diminuindo a dependência por fontes específicas, como a hídrica, por exemplo.

O uso da biomassa vegetal também apresenta vantagens ambientais quando comparado ao uso de combustíveis fósseis, principalmente com relação a emissão de gases e pelo sequestro de carbono (C) no solo, ocasionado pelo farto sistema radicular das plantas (QUESADA, 2005; URQUIAGA; ALVES; BODDEY, 2004). A queima de biomassa recicla o CO₂ retirado da atmosfera e o seu replantio assegura que o CO₂ será absorvido e devolvido para um novo ciclo de crescimento (MCKENDRY, 2002; COWIE; GARDNER, 2007).

O capim-elefante apresenta alto potencial para uso como fonte de energia alternativa em função do seu rápido crescimento e alto potencial de produção de biomassa seca, entre 30 e 60 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (URQUIAGA; ALVES; BODDEY, 2004; MORAIS et al., 2009a; MAZZARELA, 2010), elevado teor de fibras (acima de 50%) e alto poder calorífico (4000 kcal.kg⁻¹) aliado ao fato de ser uma espécie há muito tempo explorada no Brasil (QUESADA et al., 2004; VILELA; CERIZE, 2009; ZANETTI, 2010).

Tendo em vista a potencialidade do uso de biomassa obtida de capim-elefante, como combustível de fonte renovável em regiões semiáridas, este trabalho teve por objetivo a caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), cultivar Cameroon, em função de doses de nitrogênio e de lâminas de água (precipitação e irrigação) em sete idades de corte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na Tabela 1 consta o resultado das pesquisas efetuadas em diferentes sistemas de busca catalográfica utilizando diferentes palavras-chave.

Tabela 1 - Resultado das pesquisas efetuadas em diferentes sistemas de busca catalográfica utilizando diferentes palavras-chave

Palavra-chave	Sistema de busca	Trabalhos encontrados
[Capim-elefante]	SiBI ¹	807
[Nitrogênio]		13.337
[Irrigação]		9.570
[Capim-elefante] e [nitrogênio]		124
[Capim-elefante] e [irrigação]		25
[Capim-elefante] e [nitrogênio] e [irrigação]		16
[Elephant-grass]	Web of Science	522
[Nitrogen]		456.322
[Irrigation]		60.732
[Elephant-grass] e [Nitrogen]		114
[Elephant-grass] e [Irrigation]		13
[Elephant-grass] e [Nitrogen] e [Irrigation]		5
[Elephant-grass]	Scopus	529
[Nitrogen]		621.433
[Irrigation]		96.066
[Elephant-grass] e [Nitrogen]		231
[Elephant-grass] e [Irrigation]		26
[Elephant-grass] e [Nitrogen] e [Irrigation]		16
Capim-elefante	Google	102.000
Nitrogênio		707.000
Irrigação		1.480.000
Capim-elefante e nitrogênio		27.300
Capim-elefante e irrigação		22.300
Capim-elefante e nitrogênio e irrigação		11.800
[Elephant-grass]	Google	233.000
[Nitrogen]		26.100.000
[Irrigation]		21.500.000
[Elephant-grass] e [Nitrogen]		29.400
[Elephant-grass] e [Irrigation]		32.100
[Elephant-grass] e [Nitrogen] e [Irrigation]		15.300

¹ Sistema Integrado de Bibliotecas – Universidade de São Paulo

2.1 Capim-elefante

2.1.1 Origem e classificação botânica

O capim-elefante é originário na África subtropical (Zimbábue) pelo coronel Napier em 1905 e introduzido no Brasil em 1920. Atualmente, encontra-se difundido em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo e em todo território nacional (ALCÂNTARA;

BUFARAH, 1983; RODRIGUES; MONTEIRO; RODRIGUES, 2001; TCACENCO; BOTREL, 1997).

O nome científico de capim-elefante é *Pennisetum purpureum* Schumach, o qual pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae, gênero *Pennisetum* L. Rich. *Pennisetum* é um gênero pertencente à tribo Paniceae, que engloba outros gêneros de grande importância forrageira tais como *Panicum*, *Melinis*, *Acroceras*, *Setaria*, *Brachiaria* e *Axonopus* (TCACENCO; BOTREL, 1997; ATLAS OF FLORIDA VASCULAR PLANTS, 2014).

2.1.2 Descrição morfológica

O capim-elefante é uma Poácea (gramínea, na antiga classificação botânica) perene, ereta, com colmos de 3,0 a 4,5 m de altura, porém também se encontram plantas de menor porte (1,0 a 2,0 m) (ALCÂNTARA; ALCÂNTARA; ALMEIDA, 1980).

Trata-se de capim cespitoso com vários colmos por touceira, que podem ser eretos ou geniculados na base (ALCÂNTARA; ALCÂNTARA; ALMEIDA, 1980).

O capim-elefante apresenta sistema radicular profundo e vigoroso (às vezes rizomatoso), folhas lineares, de várias tonalidades de verde, maciças ou não, glabras ou com pêlos e tendo em média 0,85 a 1,30 m de comprimento por 2 a 5 cm de largura. As bainhas em geral são pilosas e com pêlos caducos ou não, possuindo comprimento médio de 10 a 20 cm, podendo em algumas variedades alcançar 30 cm ou mais (ALCÂNTARA; ALCÂNTARA; ALMEIDA, 1980).

O capim-elefante apresenta inflorescência com panícula contraída e sedosa, podendo ser solitária ou aparecendo em conjunto no mesmo colmo. Cilíndrica com até 15 cm de comprimento em média, com espiguetas solitárias ou agrupadas (2 a 5) e envolvidas por um tufo de cerdas de tamanhos desiguais e de coloração amarelada ou purpúrea, sendo muito mais longa que as demais (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1992). As espiguetas se apresentam com 5 a 7 mm de comprimento, bifloras com duas glumas herbáceas de tamanho menor que o da espiguetas, flor inferior estaminada ou neutra, flor superior hermafrodita. Os estames se apresentam em número de três com anteras glabras ou com poucos pêlos apicais, dois estiletes soldados às vezes em um só, dois estigmas lineares, plumosos. O fruto é do tipo cariopse formado, ao que tudo indica, por fecundação cruzada obrigatória (ALCÂNTARA; ALCÂNTARA; ALMEIDA, 1980).

2.1.3 Caracterização agrônômica

Com base em Alcântara e Bufarah (1983), Rodrigues e Rodrigues (1987) e Jacques (1994), pode-se destacar as seguintes características agrônômicas de capim-elefante: (i) altitude: cultivado desde o nível do mar até 2200 metros de altitude, sendo mais adaptada a altitudes de até 1500 metros; (ii) fertilidade: por ser uma forrageira de alta produção é bastante exigente em fertilidade do solo, compensa entretanto a adubação nitrogenada em terras mais fracas face à grande resposta na produção; (iii) precipitação: de 800 a 4000 mm. Vegeta em regiões quentes e úmidas com precipitação anual de mais de 1000 mm. Possui baixa tolerância à seca, podendo atravessar a estação seca com baixa produção 20-30% do período chuvoso (PEDREIRA; MATTOS, 1982); (iv) produção: até 300 toneladas de matéria verde por hectare com 3 a 5 cortes por ano; (v) propagação: por via vegetativa, utilizando os colmos; (vi) radiação: possui alta eficiência fotossintética; (vii) solo: adapta-se a diferentes tipos de solo com conteúdo de água suficiente, mas com pouca tolerância aos solos mal drenados; (viii) temperatura: de 18 a 30°C, sendo 24°C a temperatura ótima (correspondente à máxima fotossíntese líquida); e (ix) topografia: pode ser cultivada em terrenos com declives com razoável controle da erosão do solo. Por ser uma espécie cespitosa não cobre totalmente o solo, porém permite o surgimento de espécies herbáceas de menor porte que são capazes de cobrir os espaços entre as touceiras de capim-elefante.

2.2 Produção de biomassa de capim-elefante

Biomassa é o termo utilizado para todo material orgânico originado de plantas. Biomassa é produzida por plantas com clorofila, que convertem a energia solar em material vegetal por intermédio da fotossíntese e incluem todas as plantas terrestres e aquáticas, bem como todos os resíduos orgânicos. A fonte de biomassa é considerada orgânica, pois a energia solar é armazenada em ligações químicas, que quando são quebradas por digestão, decomposição ou combustão liberam essa energia química armazenada (MCKENDRY, 2002).

Segundo McKendry (2002), as características ideais de uma cultura para produção de energia são: (i) alta produtividade; (ii) baixo consumo de energia para sua produção; (iii) baixo custo de produção, (iv) composição com poucos contaminantes, (v) pouca necessidade de nutrientes, e (vi) resistência a pragas e a doenças. Além de características locais de clima e solo, o consumo de água pode ser um fator limitante em muitas regiões e o uso de plantas tolerantes à seca é um fator importante.

Samson et al. (2005) destacaram que a conversão eficiente da luz solar em material vegetal, uso eficiente da água (umidade é um dos principais fatores que podem limitar a produção de biomassa no mundo), máxima interceptação da luz solar durante o período de crescimento e o uso mínimo de insumos durante a produção e colheita são características desejáveis de uma cultura para produção de energia.

Essas plantas de alta produtividade são, geralmente, de ciclo fotossintético C_4 que é aproximadamente 40% mais eficiente para a captação de carbono que o mecanismo C_3 das poáceas mais comuns de clima temperado. No mundo, as principais espécies utilizadas são: (i) *Panicum virgatum* (“Switchgrass”); (ii) *Phalaris arundinacea* (“Reed canary Grass”); (iii) *Miscanthus giganteus* (“E-grass”), e (iv) *Pennisetum purpureum* (“Elephant-grass”), conhecido no Brasil como capim-elefante (SMEETS; FAAIJ; LEWANDOWSKI, 2009; SMEETS; LEWANDOWSKI; FAAIJ, 2009; FIKE et al., 2006; MONTI et al., 2007).

Além da produção total de biomassa, existem outros atributos que determinam a adequação das culturas para combustão e gaseificação. Eles incluem o total de energia contida na fração da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina), a composição química das cinzas produzidas durante o processo de combustão e o conteúdo de água (MCKENDRY, 2002).

Culturas dedicadas à bioenergia devem ser produzidas em terras marginais, onde se tem dificuldade de desenvolver culturas alimentares, como encostas desmatadas, áreas com solos finos ou pesados e áreas esgotadas pelo cultivo intensivo de outras culturas (SAMSON et al., 2005).

A proteção ambiental, o fornecimento de energia sustentável e a redução na emissão de CO_2 são os principais objetivos da política energética mundial. As culturas com fins energéticos parecem atender todos esses requisitos, uma vez que têm demonstrado que podem fornecer grande quantidade de matéria seca que pode ser convertida em energia, enquanto incorpora grandes quantidades de carbono no solo (LIEBIG et al., 2005; MA; WOOD; BRANSBY, 2000).

Segundo Paniago et al. (2011), o uso da biomassa no Brasil ainda está muito longe de seu potencial e uma explicação para isso está relacionado ao fornecimento de resíduos vegetais que atualmente são a fonte prioritária de biomassa. O fato de o resíduo ser oriundo de um processo industrial ou agrícola e não ser a motivação econômica da empresa que o gerou existe o risco de descontinuidade no seu fornecimento. Como alternativa ao problema do desabastecimento ou descontrole sobre o custo de aquisição, a produção de biomassa

dedicada a esses empreendimentos seria a solução. As termelétricas que têm como combustível a biomassa produzida especificamente para esse fim, assim como os empreendimentos agrícolas, obrigatoriamente terão como fator preponderante para a sua economicidade a produtividade de biomassa, que no caso é expressa em massa de matéria seca por unidade de área de produção.

As projeções para o futuro indicam que a importância da biomassa aumentará muito, chegando a representar no fim do século XXI de 10 a 20% de toda a energia usada pela humanidade (GOLDEMBERG, 2009).

O capim-elefante está entre as espécies de alta eficiência fotossintética, ou seja, entre aquelas com maior eficiência no aproveitamento de luz. Isso resulta numa grande capacidade de acúmulo de massa de matéria seca (JACQUES, 1994).

Segundo Mazzarella (2010), as vantagens do uso de capim-elefante para produção de biomassa são: (i) alta produtividade (30 a 40 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ de biomassa seca), enquanto a cana-de-açúcar produz de 15 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e eucalipto, 10 a 15 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹; (ii) rápido crescimento (ciclo curto – dois cortes por ano); (iii) melhor fluxo caixa; (iv) menores áreas, menor investimento em terras e transporte; (v) possível mecanização; (vi) fixação biológica de nitrogênio (economia, menor impacto ambiental e balanço energético); (vii) possível melhoramento genético futuro; e (viii) maior assimilação de carbono (C:N>100).

As plantas de metabolismo do tipo C₄, como é o caso de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), atendem a demanda por alta produtividade de matéria seca por área, pois possuem maior capacidade de fixação de CO₂ atmosférico, por meio do seu alto potencial fotossintético. Essa característica é típica de poáceas tropicais que crescem rapidamente e otimizam o uso da água do solo e energia solar (LEMUS et al., 2002; URQUIAGA; ALVES; BODDEY, 2004).

O rápido crescimento e alta produção de biomassa fazem com que o capim-elefante apresente um alto potencial para uso não apenas como fonte alternativa de energia, mas também para obtenção de carvão vegetal, usado na produção industrial de ferro gusa. Por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, pode contribuir de forma eficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo (URQUIAGA; ALVES; BODDEY, 2004).

O capim-elefante é uma planta há muito tempo explorada de forma comercial no Brasil, e também é reconhecido por sua alta produtividade (QUESADA et al., 2000, 2004), capaz de acumular acima de 60 Mg.ha⁻¹ de matéria seca por ano, sob condições ideais de crescimento (MORAIS et al., 2009a). Ainda tem outra característica vantajosa que o destaca,

pois é uma poácea adaptada à maioria das áreas agrícolas do país, inclusive em áreas de solo degradado, evitando a competição com a produção de alimentos, garantindo assim a replicação desse modelo de produção de energia renovável para diversas localidades do Brasil. Urquiaga, Alves e Boddey (2004) relataram que em pesquisas com utilização de genótipos eficientes e condições próximas das ideais, a produção anual de biomassa seca de capim-elefante pode superar 100 Mg.ha⁻¹.

O capim-elefante apresenta alto teor de fibra e de lignina, indicando seu potencial para energia (QUESADA et al., 2004). Sua estrutura morfológica é bastante semelhante à do bagaço de cana-de-açúcar, representando a seguinte composição: 65% de fibras e 35% de material não fibroso. Segundo Kauter, Lewandowski e Claupeina (2003), plantas que apresentam teor de fibras acima de 30% podem ser adaptadas para produção de energia.

Entretanto, uma desvantagem do capim-elefante é a estacionalidade da produção; 70-80% da sua produção de matéria seca concentra-se na época das chuvas (DERESZ, 1999). A estacionalidade devido à deficiência hídrica pode ser superada pelo uso de irrigação. A irrigação. Quando associada à adubação nitrogenada, a irrigação pode aumentar entre 20 e 70% a produção de matéria seca das pastagens (LOPES, 2004).

Morais et al. (2009b) avaliaram a produção e a qualidade de biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. Todos os genótipos apresentaram produção de biomassa acima de 45 Mg.ha⁻¹ em 18 meses de cultivo, com exceção do genótipo 'Gramafante'. Os genótipos mais indicados para produção de energia alternativa foram CNPGL F79-2, Cameroon e CNPGL F06-3.

Um estudo desenvolvido no campo com objetivo de selecionar genótipos de capim-elefante com características desejáveis para produção de biomassa para uso energético foi realizado por Quesada et al. (2004). Foram avaliados parâmetros como relação C:N dos materiais e análise percentual de fibras, lignina, celulose e cinzas. Os resultados mostraram que o capim-elefante realmente possui características para ser utilizado na produção de energia renovável e o genótipo Cameroon foi o mais indicado para produção de energia na forma de carvão vegetal.

Zanetti (2010) conduziu experimentos para avaliar parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de capim-elefante para ser utilizada na produção de energia. Diversos genótipos foram testados. Os que mais se destacaram foram Cameroon e CNPGL F 06-3 seguidos de BAG 02 e CNPGL 93 41 1.

2.3 Efeito do nitrogênio e da irrigação na produção de capim-elefante

O capim-elefante é uma forrageira estacional que tem 70-80% da sua produção na estação das águas. Com o uso da irrigação, o fator água deixa de ser o fator limitante para o crescimento das forrageiras, de modo que a estacionalidade de produção passa a ser função apenas da disponibilidade de radiação solar e, principalmente, da temperatura (VITOR, 2006).

O capim-elefante é altamente responsivo à adubação nitrogenada, visto que seu melhoramento sempre foi realizado com essa finalidade, em busca do enriquecimento dessa forrageira em proteína, para um ganho de peso mais rápido de bovinos. Atualmente, as atenções se voltaram para os teores de fibra e lignina, aliada a alta produção de biomassa, como fonte de energia renovável. Por ser uma espécie de alta produção, as necessidades de nutrientes estão relacionadas com o potencial produtivo (ROSSI, 2010).

Lopes (2012) avaliou o efeito do nitrogênio e da idade de corte na produção de matéria seca de capim-elefante, cultivar Cameroon Roxo, irrigado nas condições edafoclimáticas dos tabuleiros costeiros do Piauí e Maranhão. As produtividades de matéria seca foram incrementadas com a idade das plantas, sendo os maiores valores obtidos com o corte aos 84 dias ($14,96 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$), seguido do corte aos 56 dias ($8,47 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$). A aplicação de $450 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de N implicou em maior produtividade de forragem, superando em 15% a aplicação de $300 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de nitrogênio e em 30% a aplicação de $150 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de nitrogênio.

Mistura et al. (2006) avaliaram a disponibilidade de matéria seca total (DMST) de capim-elefante com e sem irrigação adubado com nitrogênio e potássio na estação seca em Viçosa (MG). E concluíram que o uso dos nutrientes N e K aumentou a disponibilidade de matéria seca total, independentemente da irrigação. O capim-elefante respondeu a doses crescentes de nitrogênio. Foram encontradas respostas até as doses de $400 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de N na produção de forragem.

Em estudo realizado em Viçosa (MG) para avaliar o rendimento forrageiro total e o índice de área foliar de capim-elefante anão, Paciullo, Gomide e Ribeiro (1998) concluíram que esses dois parâmetros aumentaram linearmente com a adubação nitrogenada, independente da altura das plantas por ocasião do corte.

Lima (2010) avaliou o efeito de quatro doses de nitrogênio sobre a produtividade de capim-elefante, em um experimento realizado no município de Capela (AL), e obteve uma resposta linear positiva, caracterizando essa forrageira como uma espécie com alto potencial produtivo.

O efeito de quatro doses de N (50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) e a frequência de cortes (2, 3 ou 4 cortes por ano) sobre a produção de matéria seca de capim-elefante foram avaliadas por Andrade et al. (2003) em dois experimentos conduzidos nos municípios de Nova Odessa e Brotas. Os resultados desses dois experimentos mostraram que a produção de matéria seca aumentou com o aumento da adubação nitrogenada e com a diminuição da frequência de corte.

Danalatos, Archontoulis e Mitsios (2007) avaliaram o crescimento potencial e a produtividade de biomassa de *Miscanthus giganteus* afetados pela densidade das plantas (0,66; 1,00 e 2,00 plantas.m⁻²) e duas doses de nitrogênio (50 e 100 kg.ha⁻¹ de N) na Grécia Central nos anos de 2001 e 2002. Esses autores observaram que a adubação dentro das condições estudadas não afetou o crescimento e a produtividade de biomassa da cultura. Entretanto, um efeito significativo da densidade de plantas foi encontrado. Na maior densidade de plantas, observaram taxas de crescimento de 250 a 350 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ de matéria seca em grande parte do período de crescimento, atingindo produção de biomassa seca de 38 Mg.ha⁻¹, no ano mais favorável (2002) e 28 Mg.ha⁻¹ no ano mais quente e seco (2001).

2.4 Índice de área foliar

O acompanhamento da variação do IAF durante o desenvolvimento de uma cultura permite avaliar a velocidade de crescimento com que a parte aérea do vegetal (área foliar) ocupa a área do solo disponível (m².m⁻² de solo). Com o aumento da área foliar aumenta também a capacidade da planta em aproveitar a energia solar para a realização da fotossíntese e, com isso, esse índice pode ser utilizado para avaliação da produtividade (LUCCHESI, 1987).

Segundo Veiga (1994) a alta produtividade de capim-elefante está positivamente relacionada ao seu índice de área foliar. Em experimento conduzido por Pereira da Silva et al. (2002) em Campos dos Goytacazes (RJ), foram avaliados em três ciclos de pastejo entre outubro 1998 e janeiro de 1999 o índice de área foliar de 17 genótipos de capim-elefante. Os genótipos CNPGL 91-02-5 e CNPGL 91-11-2 apresentaram IAF extremos de 7,08 e 6,67, respectivamente. O IAF também variou entre os ciclos, sendo obtidos, na média dos 17 genótipos, 4,60, 2,39, 2,69 m².m⁻² nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente.

Fagundes et al. (2006) conduziram um experimento, na área experimental da Universidade Federal de Viçosa (Viçosa-MG), para avaliar o efeito de quatro doses de nitrogênio (75, 150, 225 e 300 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N) sob características morfogênicas e

estruturais de *Brachiaria decumbens* em 4 épocas do ano (verão, outono, inverno e primavera) e demonstraram que a taxa de alongamento de folha, o comprimento final da folha, o índice de área foliar (IAF) e as porcentagens de colmo e de lâmina foliar aumentaram linearmente.

Um experimento, realizado na Universidade Federal de Viçosa, por Andrade et al. (2005) avaliaram o efeito de quatro doses de N e K (100 e 80; 200 e 160; 300 e 240; e 400 e 320 kg.ha⁻¹ de N e K, respectivamente) em dois experimentos, sendo um com e outro sem irrigação, nos valores de IAF de capim-elefante ‘Napier’ em 5 idades após pastejo (2, 8, 15, 45 e 123 dias). O IAF na área irrigada aumentou de 0,28 para 8,27, média dos quatro tratamentos de N e K, entre a menor e maior idade de rebrotação. Na área não irrigada, também ocorreu um aumento no IAF, embora de menor magnitude que na área irrigada, de 0,16 para 7,76. O IAF variou entre as estações do ano sendo obtidos 3,99, 3,21, 1,86 e 2,67 m².m⁻² no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Paciullo et al. (1998) avaliaram o índice de área foliar de capim-elefante anão em duas alturas de corte (0,80 e 1,20 m) sob o efeito de cinco doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg.ha⁻¹) e concluíram que o IAF aumentou linearmente com as doses de N, independentemente da altura de pastejo.

2.5 Poder calorífico da biomassa de capim-elefante

Normalmente os modelos de combustão de biomassa podem ser classificados como macroscópico ou microscópico. As propriedades macroscópicas da biomassa são dadas, por análises macroscópicas, como: (i) poder calorífico; (ii) teor de água; (iii) tamanho da partícula; (iv) densidade; e (v) temperatura de fusão das cinzas (DEMIRBAS, 2004). Propriedades microscópicas incluem: (i) análises térmicas; (ii) cinética química; e (iii) dados minerais (RAGLAND; AERTS, 1990).

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa de um material (BRIANE; DOAT, 1985) e pode ser apresentado como poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI).

O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor derivado desta condensação é recuperado (BRIANE; DOAT, 1985). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

Zanetti (2010) estudando o poder calorífico de genótipos de capim-elefante encontrou um valor médio acima de 4000 kcal.kg⁻¹, não havendo um ajuste significativo para folhas e colmos, corroborando com os valores encontrados por Flores (2009) que ao estudar o poder calorífico de dois genótipos de capim-elefante encontrou valores médios de 4104 kcal.kg⁻¹ para a planta inteira.

Vilela e Cerize (2009), estudando o capim-elefante Paraíso para utilização na geração de energia, encontraram valores de poder calorífico para esse genótipo de 4200 kcal.kg⁻¹, enquanto que o bagaço da cana apresentou um poder calorífico de 3700 kcal.kg⁻¹ e *Eucalyptus grandis* de 4641 kcal.kg⁻¹.

2.6 Coeficiente de cultura

A determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) é padronizada e deve ser realizada em excelentes condições agronômicas e de umidade do solo e difere da evapotranspiração de referência (ETo) pela variação da cobertura do solo, propriedades do dossel e resistência aerodinâmica da cultura em relação à grama. Os efeitos da variação destas características estão integrados no coeficiente de cultura (Kc) e são apresentados como valores médios típicos sob uma condição climática e deve ser ajustado em função das condições locais e das características da planta (ALLEN et al., 1998).

2.7 Capacidade de armazenamento de água do solo

Para o manejo da irrigação é importante o conhecimento da capacidade de água disponível do solo (CAD, mm), ou seja, a máxima quantidade de água passível de ser disponível para a planta, determinada pela diferença entre o conteúdo de água correspondente à ‘capacidade de campo’ (θ_{cc} , cm³.cm⁻³) e ao ‘ponto de murcha permanente’ (θ_{pmp} , cm³.cm⁻³) (BERNARDO, 1995).

Segundo Pereira, Vila Nova e Sedyama (1997), a CAD pode ser determinada pela equação 2.

$$CAD = 10.(\theta_{cc} - \theta_{pmp}).Ze \quad (1)$$

em que CAD se refere à capacidade de água disponível (mm); θ_{cc} à ‘capacidade de campo’ (cm³.cm⁻³); θ_{pmp} ao ‘ponto de murcha permanente’ (cm³.cm⁻³); e Ze à profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Conforme o solo seca, a água fica mais fortemente retida, sendo, portanto, cada vez mais difícil ser extraída e as plantas precisam utilizar mais energia para obtê-la, reduzindo o

crescimento e a produção sob condições de restrição de água no solo. Logo, apenas uma fração da CAD (fração p) pode ser considerada como lâmina líquida (I , mm) de irrigação. A umidade na capacidade de campo (θ_{cc} , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) pode ser equivalente à tensão correspondente a 0,1 atm (100 cm) (BERNARDO, 1995).

$$I = p.CAD = 10.(\theta_{cc} - \theta_{pmp}).Z_e.p \quad (2)$$

2.8 Sistema de irrigação *line source*

A escolha dessa metodologia foi adotada, conforme apresentado por Hanks et al. (1980) e Frizzzone (1986), pela facilidade de instalação e operação, pela economia de área, equipamento e mão de obra, permitindo maior número de tratamentos em menor área e uma melhor visualização dos resultados no campo.

Segundo Frizzzone (1986), no sistema *line source* a sobreposição dos jatos de água promove uma maior precipitação junto a linha de aspersores e um gradiente decrescente ao longo da direção perpendicular à tubulação, sendo esse efeito denominado de distribuição triangular da precipitação e a disposição das parcelas experimentais ao longo da direção perpendicular à linha de aspersores permite a aplicação de diferentes lâminas.

Conforme definido por Hanks et al. (1976), para garantir a uniformidade no sentido longitudinal e o perfil triangular de distribuição dos tratamentos, o espaçamento entre aspersores deve ser entre 10 e 25% do seu diâmetro molhado.

Entretanto, em função de suas características, este sistema não permite a análise estatística dos tratamentos referentes aos efeitos da variação das lâminas de irrigação por serem aplicadas sistematicamente sem casualização. Porém, conforme citado por Frizzzone (1986), diversos autores compararam a análise estatística entre experimentos casualizados e não casualizados e obtiveram resultados semelhantes, levando às mesmas conclusões, demonstrando que nem sempre a casualização é fator limitante, principalmente quando a resposta à irrigação esperada for grande (HANKS et al., 1980).

Acompanhando essa linha de raciocínio, Mota (2008), Vitor et al. (2009) e Oliveira Filho et al. (2011) avaliaram respostas de capim, cultivares Pioneiro, Napier e Xaraés, a lâminas de irrigação utilizando o sistema *line source*, respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Localização geográfica

O experimento foi implantado e conduzido na Fazenda Vitória, município de Beberibe, no Estado do Ceará, a $4^{\circ}24,883'$ de latitude Sul e $38^{\circ}235'$ de longitude Oeste e 54 metros de altitude em relação ao nível do mar. A fazenda está localizada a 135 km a sudeste da capital (Fortaleza) e a 30 km em linha reta da costa (Figura 1).

Figura 1- Referência geográfica da Fazenda Vitória, localizada em Beberibe (CE). (A) Localização de Beberibe em relação ao estado do Ceará; (B) Localização da Fazenda Vitória em relação à cidade de Beberibe e à capital Fortaleza (CE) (Imagem extraída do Google Earth®)

Por meio da Figura 2 pode-se observar a vista aérea de parte da fazenda Vitória, o canal do trabalhador, utilizado como fonte de água, a área experimental e, em detalhe (amarelo), o local do experimento.

Figura 2 - Visão geral da área experimental. Foto aérea da fazenda Vitória, Beberibe, CE

3.1.2 Caracterização climática

A região da Fazenda Vitória apresenta diminuição abrupta do regime pluviométrico, mesmo estando localizada somente a 30 km da costa, caracterizando um clima tipicamente semiárido, com demanda anual de água (evapotranspiração) (1600 mm) superior à precipitação (740 mm). A região é classificada, conforme Köppen-Geiger, como BSh, ou seja, clima semiárido (B) com precipitação anual entre 380 e 760 mm (S) e com temperatura média acima de 18°C (h). Na Tabela 2 consta a precipitação anual de algumas estações pluviométricas existentes na região da Fazenda Vitória e na Figura 3 a distribuição anual média entre as estações e a distribuição média mensal da estação Sítio Forquilha, que melhor caracteriza o local do experimento.

Tabela 2 - Valores históricos de precipitação anual (mm) por estação pluviométrica da região de Beberibe (CE)

Ano	Estação Pluviométrica					Média
	Itapeim ¹	Itapeim ²	Sítio Forquilha	Lagoa Funda	Beberibe	
2000	807,5	-	-	-	1362,3	1084,9
2001	855,6	-	-	1049,0	1024,7	976,4
2002	949,3	-	247,6	1329,3	1768,8	1073,8
2003	885,5	-	700,7	939,4	1359,2	971,2
2004	1218,0	-	1143,5	1327,1	1416,4	1276,3
2005	562,6	545,9	483,5	611,0	857,8	612,2
2006	-	1028,6	680,6	1094,0	1297,0	1025,1
2007	-	1015,3	514,5	1097,6	1139,0	941,6
2008	-	1100,6	617,0	1079,2	1016,6	953,4
2009	-	1890,8	1329,3	2092,0	2064,8	1844,2
2010	-	504,5	-	477,6	519,8	500,6
2011	-	1401,4	941,0	1290,5	1284,0	1229,2
2012	-	540,6	-	-	749,8	645,2
2013	-	719,0	-	-	677,0	698,0
Média	879,8	971,9	739,7	1126,1	1181,2	988,0

Fonte: Hidroweb ANA (Agência Nacional de Águas). <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=true&CriaArq=false&TipoArq=0&SerieHist=true> – data 08/12/2013.¹ Estação pluviométrica 438033. ² Estação pluviométrica 430899.

Figura 3 - Precipitação média (Pt, mm) da região de Beberibe (CE). (A) Média anual entre as estações pluviométricas; (B) média mensal entre 2000 e 2011 da estação pluviométrica Sítio Forquilha

As precipitações ocorridas e a variação diária da temperatura e da umidade relativa do ar durante o período experimental encontram-se na Figura 4, onde se observa que o período de condução do experimento (junho de 2012 a fevereiro de 2013) foi muito seco, com um total pluviométrico de apenas 67,6 mm. A temperatura se manteve uniforme durante todo o período analisado com média em torno de 27°C. A umidade relativa teve seu valor mínimo durante o período do experimento, 62,5%, sendo que a média durante o período analisado foi de 70%.

Figura 4 - Dados médios mensais de temperatura (T, °C), umidade relativa (UR, %) e da precipitação (Ppt, mm.mês⁻¹). Dados coletados entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

3.1.3 Solo

3.1.3.1 Classificação do solo

O solo da Fazenda Vitória foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (sem restrição física e à drenagem) e, segundo Almeida, Zaroni e Santos (2014), os Neossolos Quartzarênicos ocorrem em relevo plano ou suave ondulado, apresentam textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A, que é ligeiramente escuro (Figura 5). Considerando-se o relevo de ocorrência, o processo erosivo não é alto, porém, deve-se precaver com a erosão devido à textura ser essencialmente arenosa.

Figura 5 - Neossolo Quartzarênico Órtico Típico Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

3.1.3.2 Características e propriedades químicas do solo

Por serem profundos, não existe limitação física para o desenvolvimento radicular em profundidade, mas a presença de caráter álico e/ou distrófico limita o desenvolvimento radicular em profundidade que é agravado pela reduzida quantidade de água disponível. Segundo Van Raij (1991), os teores originais de P, K, Mg, Cu e Zn são muito baixos, de Ca, Mn e B são médios e de Fe é alto (Tabelas 3, 4 e 5) sendo que a lixiviação de nitrato é intensa devido à granulometria essencialmente arenosa.

Tabela 3 - Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Parâmetros: pH, matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+Al)

Profundidade (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. (g.dm ⁻³)	P-resina (mg.dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Al	H+Al
Antes da correção do solo								
0-20	4,5	6,0	3	0,3	5,0	2,0	2,0	15,0
20-40	4,2	4,0	1	0,3	3,0	1,0	2,0	15,0
Final experimento								
0-20	6,1	5,0	20	0,5	11,7	6,5	0,0	10,3
20-40	5,4	2,0	21	0,4	11,4	3,3	0,1	11,4

Tabela 4 - Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Soma de bases (K + Ca + Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V, %), Saturação de alumínio (m, %) e enxofre (SO₄)

Profundidade	Soma Bases	CTC	Saturação de Bases	Saturação Al	S SO ₄
(cm)	(mmol _c .dm ⁻³)		(V, %)	(m, %)	(mg.dm ⁻³)
Antes da correção do solo					
0-20	7	23	31	22	3
20-40	4	19	22	32	3
Final experimento					
0-20	19,1	29,4	64,3	0,0	12,4
20-40	9,9	21,3	46,2	0,5	11,5

Tabela 5 - Análise química de solo antes (20/04/2011) e após correção do solo (03/05/2013). Beberibe (CE). Micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B)

Micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Boro (B)					
Profundidade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	DTPA				(Água quente)
(cm)	(mg.dm ⁻³)				
Antes da correção do solo					
0-20	0,1	16	0,5	3,2	0,24
20-40	0,1	21	0,3	1,0	0,19
Final experimento					
0-20	0,1	11,6	0,5	2,1	0,16
20-40	0,1	20,4	0,2	0,9	0,17

3.1.3.3 Características físicas do solo

A composição física do solo, com alto teor de areia (92%), conforme consta na Tabela 6, não lhe permite reter quantidades significativas de água no perfil. Pela Figura 6A pode-se observar que, a partir das curvas características de retenção de água no solo, a uma tensão de apenas 500 cm de coluna de água, aproximadamente, 90% da água do solo é extraída. Observa-se também que há pouca variação entre as curvas, indicando que, fisicamente, o solo pode ser considerado isotrópico e homogêneo, inclusive em profundidade (Figura 5B).

Tabela 6 - Teores de argila, silte e areia total e distribuição entre areia grossa e fina nas camadas de solo (Z, cm) de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Data da coleta 15/04/2011

Z (cm)	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
	<0,002 mm	0,053 - 0,002 mm	%	2,00 - 0,210 mm	0,210 - 0,053 mm
0-20	7,1	0,9	92,0	78,0	14,0
20-40	7,0	1,0	92,0	76,0	16,0

Figura 6 - Curvas características de retenção de água do solo da área experimental. Neossolo Quartzarênico Órtico Típico. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013: (A) conteúdo de água no solo a base de volume (Θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) e tensão (ψ , cm). Comparativo entre várias amostras na camada de 0 a 20 cm; (B) Tensão (ψ , MPa) e conteúdo de água do solo a base em volume (Θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$). Comparativo entre as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm

3.2 Práticas culturais

3.2.1 Viveiro de mudas

O experimento contou com um viveiro primário de mudas de capim-elefante obtidas na região de Beberibe (CE), plantado, inicialmente, para o fornecimento de mudas para as áreas experimentais e também como fonte de informações locais e para auxílio nas definições da adubação de base e de manejo do capim, como metodologia de plantio e controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

3.2.2 Preparo da área experimental

Anteriormente à implantação do experimento a área selecionada era cultivada com cajueiro anão precoce e, devido ao manejo de plantas daninhas ser realizado exclusivamente por métodos mecânicos, grade ou roçadora, não houve qualquer tipo de interferência nos resultados do experimento. A cobertura do solo da área experimental antes da implantação do experimento pode ser observada pela Figura 7.

As seguintes atividades foram realizadas como preparo da área para implantação do experimento: (i) eliminação das árvores de cajueiro anão com retroescavadora; (ii) enleiramento da biomassa com retroescavadora; (iii) trituração manual da biomassa para retirada da área; (iv) catação manual de raízes; (v) aplicação mecanizada de $2,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de calcário dolomítico; (vi) duas operações com grade aradora de discos de 32" para incorporação do calcário a 40 cm de profundidade e controle das plantas daninhas; (vii)

aplicação mecanizada de 300 kg.ha^{-1} de gesso visando a neutralização do Al e suprimento de Calcio em camadas abaixo dos 40 cm de profundidade; (viii) operação com grade niveladora mecanizada; (ix) sulcação mecanizada com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 30 cm de profundidade; (x) adubação no sulco de plantio com 400 kg.ha^{-1} de MAP (44 kg.ha^{-1} de N; 192 kg.ha^{-1} de P_2O_5) e 50 kg.ha^{-1} de micronutrientes (FTE BR-12); (xi) plantio manual de mudas (25 gemas por metro); (xii) operação com grade niveladora para fechamento dos sulcos; (xiii) cultivo manual na entre linha para controle de plantas daninhas; (xiv) instalação do sistema de irrigação; (xv) adubação de cobertura dividida em três aplicações manuais de sulfato de amônio ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$, 21% N) e de 520 kg.ha^{-1} cloreto de potássio (KCl, 60% K_2O), e (xvi) as operações de controle químico de pragas ou plantas daninhas foram realizadas de acordo com a necessidade por meio de pulverização mecanizada ou capina manual.

Figura 7 - Cobertura do solo antes da implantação do experimento. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). (A) Antes da eliminação das plantas de cajueiro. (B) Após a eliminação das plantas de cajueiro em 20/05/2012

O sistema de irrigação do experimento foi implantado simultaneamente ao plantio para garantir a brotação das mudas, porém, a tubulação adutora de PVC soldável de 150 mm de diâmetro apresentou defeito de fabricação na bolsa de acoplamento, não permitindo que o processo de soldagem fosse efetivo, causando inúmeros pontos de vazamentos nas emendas. Esse fato atrasou o início das irrigações em aproximadamente 15 dias e comprometeu significativamente a brotação do experimento, resultando em falhas de *stand*, conforme se observa na Figura 8C. Esses vazamentos (Figura 9) permaneceram durante todo o período de condução do experimento.

Figura 8 – Fases de desenvolvimento de capim-elefante na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Plantio das mudas colhidas do viveiro primário em 04/04/2012; (B) Emergência de capim-elefante, em 22/04/2012; (C) Porte de capim-elefante com 15 dias após emergência (07/05/2012); e (D) Porte de capim-elefante com 24 dias após emergência (16/05/2012)

Figura 9 – Vazamentos apresentados pelo sistema de irrigação após instalação na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Vazamento na bolsa do Tê; (B) Alagamento causado pelo vazamento no Tê

Visando reduzir os impactos negativos ao *stand* de capim-elefante no experimento, foi realizado um replantio das falhas utilizando mudas provenientes da própria área

experimental. Após a realização do replantio e a garantia de pegamento das mudas foi realizada uma roçagem para equalização de capim-elefante e, conseqüentemente, para início do experimento. Na Tabela 7 consta a sequência das datas em que foram realizadas essas atividades e na Figura 10 as imagens da sequência das operações.

Tabela 7 - Sequência de datas das principais atividades de tratos culturais. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Data (dd/mm/aaaa)	Atividade
05-06/04/2012	Plantio
21-22/05/2012	Primeira adubação de cobertura
13-18/06/2012	Controle de plantas daninhas (capina manual)
14-16/06/2012	Plantio de mudas nas falhas de brotação
22-23/6/2012	Corte de equalização
21-22/08/2012	Segunda adubação de cobertura
24-25/10/2012	Terceira adubação de cobertura

(A)

(B)

(C)

(D)

Figura 10 - Etapas da recuperação do estande de capim-elefante na Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013. (A) Plantio de mudas nas falhas de brotação 16/06/2012; (B) Operação de roçagem do capim para equalização de capim-elefante, em 22/06/2012; (C) Situação do capim após a roçagem; e (D) Porte de capim-elefante dois dias após a roçagem (24/06/2012)

3.3 Sistema de aplicação e fonte de água

Para abastecimento do sistema de irrigação da área experimental foi utilizado o canal do trabalhador que possui 102,5 km de extensão entre os municípios Itaiçaba (CE) e Pacajus (CE). Na Tabela 8 constam os parâmetros químicos e físicos da água proveniente do canal, sendo classificadas segundo o “*U.S. Salinity Laboratory Staff*” apud Bernardo (1995) como C2-S1, ou seja, baixo risco de sodificação (S1) e moderado risco de salinização (C2). Segundo as diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação propostas por Ayers e Westcot apud Bernardo (1995) não há risco de toxicidade de cloro, sódio e nitrato e há moderado grau de restrição ao uso pela presença de carbonato.

Segundo Almeida (2009), a precipitação de cálcio na água de irrigação pode ser prevista pelo índice de saturação de Langelier (IS). Valores positivos indicam risco de precipitação e valores negativos indicam tendência em manter os bicarbonatos e o cálcio em solução. A água do canal do trabalhador apresentou risco de formação de precipitados (IS = +0,835), porém, não foi observada a formação de nenhum tipo de precipitado durante o período do experimento.

Tabela 8 - Análise química e física da água do canal do trabalhador coletada na captação do sistema de irrigação do experimento. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Amostra coletada em 02/12/2010

Parâmetro	Valor
pH (25°C)	8,8
Condutividade elétrica ($\mu\text{mho} \cdot \text{cm}^{-1}$)	435,0
Alcalinidade total ($\text{mg} [\text{CaCO}_3] \cdot \text{l}^{-1}$)	110,0
Dureza total ($\text{mg} [\text{CaCO}_3] \cdot \text{l}^{-1}$)	104,0
Matéria orgânica ($\text{mg} [\text{O}_2 \text{ consumido}] \cdot \text{l}^{-1}$)	4,6
Sólidos dissolvidos em suspensão ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	244,4
Sólidos totais ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	325,9
Nitrito ($\text{mg} [\text{NO}_2^-] \cdot \text{l}^{-1}$)	<0,009
Nitrato ($\text{mg} [\text{NO}_3^-] \cdot \text{l}^{-1}$)	<0,114
Nitrogênio amoniacal ($\text{mg} [\text{NH}_4^+] \cdot \text{l}^{-1}$)	<0,111
Sulfato ($\text{mg} [\text{SO}_4^{2-}] \cdot \text{l}^{-1}$)	9,8
Carbonato ($\text{mg} [\text{CO}_3^{2-}] \cdot \text{l}^{-1}$)	18,0
Bicarbonato ($\text{mg} [\text{HCO}_3^-] \cdot \text{l}^{-1}$)	97,6
Cálcio ($\text{mg} [\text{Ca}^{2+}] \cdot \text{l}^{-1}$)	17,8
Magnésio ($\text{mg} [\text{Mg}^{2+}] \cdot \text{l}^{-1}$)	14,4
Potássio ($\text{mg} [\text{K}^+] \cdot \text{l}^{-1}$)	2,3
Sódio ($\text{mg} [\text{Na}^+] \cdot \text{l}^{-1}$)	60,8
Ferro total ($\text{mg} [\text{Fe}^{2+}] \cdot \text{l}^{-1}$)	0,05
Cloreto ($\text{mg} [\text{Cl}^-] \cdot \text{l}^{-1}$)	92,0

O sistema de irrigação foi concebido para operar automaticamente durante todo o período noturno em função dos elevados e constantes índices de velocidade do vento durante o dia. Para aplicação de água foi adotado um sistema de aspersão convencional distribuído em linha sem sobreposição entre as redes de tubulação laterais, denominado *line source sprinkler system*, em que, segundo Hanks et al. (1976) o padrão de aplicação de água é uniforme e contínuo ao longo do comprimento e variável no sentido perpendicular.

Foram utilizados 34 aspersores de impacto marca NaanDanJain (modelo AG5035) plástico de ¾" com bocal duplo 5,0 (roxo) x 2,5 mm (cinza), pressão de 35 mca, 15 m de raio de alcance, vazão de 2,3 m³.h⁻¹ espaçados de 6,0 m na linha lateral (Figura 10).

O modelo de distribuição dos aspersores foi obtido previamente no Laboratório de Ensaio de Material de Irrigação (LEMI) do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia de Irrigação (INCT-EI) localizado no Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, conforme relatório de ensaio ASP-04/11, caracterização de desempenho do aspersor NaanDanJain modelo 5035 em agosto de 2011 (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Aspersor NaanDanJain modelo AG 5035 utilizado no experimento de irrigação. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 12 - Perfil de distribuição de água para o aspersor NaanDanJain AG 5035 bocal 5,0 mm x 2,5 mm, operando à pressão de 35 mca. Precipitação (P_t , mm.h^{-1}) em função de distância (d , m). Ensaio realizado no laboratório de ensaios de material de irrigação (LEMI) do Instituto nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação, Departamento de Engenharia de Biosistemas – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. Agosto/2011

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizado ensaio de campo para determinação do perfil característico de distribuição de água em função da distância do aspersor, em ambos os lados da linha lateral, visando ajustar os tratamentos de lâminas de irrigação. Foram instaladas 6 linhas de coletores espaçados de 9 m, com coletores espaçados de 0,5 m e com 0,5 m altura em relação ao solo (Figura 13). A coleta de dados da precipitação foi realizada durante a madrugada, com velocidade do vento inferior a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Figura 13 - Visão geral do posicionamento dos coletores no experimento para determinação do perfil de distribuição de água. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

A partir dos dados do ensaio de campo, foi ajustada uma curva que representa o perfil de precipitação de água (mm.h^{-1}), aplicado pelo sistema de irrigação *line source*, em função da distância (m) (Figura 14). O polinômio ajustado apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,986 (Equação 1).

$$y = -0,0004x^4 + 0,0209x^3 - 0,3415x^2 + 0,5232x + 19,06 \quad (3)$$

Figura 14 - Perfil de precipitação de água (Pt, mm.h⁻¹) em função da distância (d, m) ajustado a partir do ensaio de campo. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Para avaliar a uniformidade de distribuição entre os tratamentos de irrigação foi calculado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no sentido longitudinal, ou seja, paralelamente à linha de aspersão. Os valores obtidos para as linhas centrais de capim-elefante nos tratamentos de irrigação L₁,L₂; L₃,L₄; L₅,L₆ nas repetições 1 e 3, foram 93,0%, 91,9% e 95,4%, respectivamente e, para os tratamentos L₁,L₂; L₃,L₄; L₅,L₆ nas repetições 2 e 4, foram 95,0%, 94,8% e 79,4%, respectivamente.

Devido aos fortes e constantes ventos existentes na região, principalmente durante o dia, as irrigações foram realizadas durante o período noturno (19:00 h às 6:00 h) visando minimizar os seus efeitos na distribuição de água dos aspersores e também para evitar a evaporação da gotas de água aspergidas pelo sistema .

3.4 Profundidade efetiva do sistema radicular

Visando a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular para o adequado manejo da irrigação, foi conduzido um estudo por meio da abertura de três trincheiras de 1,5 m de profundidade por 1,0 m de largura e de comprimento (Figura 15) entre duas fileiras de plantas de capim-elefante em 3 idades diferentes, tanto para capim planta como para capim soca. Os perfis foram pintados com tinta *spray* branca e depois limpos com uma escova para aumentar o realce nas imagens (fotografias). A distribuição de raízes no perfil do solo foi determinada visualmente pela interpretação das quadrículas de 10 cm x 10 cm.

Figura 15 - Distribuição do sistema radicular de capim-elefante, cultivar Cameroon, com 58 dias após emergência. Fazenda Vitória, Beberibe (CE), 26 de julho de 2012. (A) Detalhe do sistema radicular após remoção do solo até 40 cm de profundidade; (B) Perfil geral do solo a 1,0 m de profundidade

O resultado desse estudo (Figura 16) mostrou que para a condição de solo (Neossolo Quartzarênico) com irrigação, 90% do sistema radicular se encontrava até 0,40 m de profundidade, independentemente da idade e do tipo de capim-elefante (planta ou soqueira). Esse resultado pode ter sido influenciado pela restrição química do solo em maior profundidade, principalmente pela falta de cálcio e fósforo e pela toxidez de alumínio, visto que o processo de correção foi realizado até 0,40 m de profundidade.

Figura 16 - Distribuição percentual de raízes (Dr, %) de capim-elefante na profundidade (Z, cm) do solo: (A) capim planta aos 14, 58 e 88 dias após a emergência (DAE); e (B) capim soca aos 27, 77 e 107 dias após a colheita (DAC)

3.5 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) foi determinado de forma direta por meio da coleta de toda a biomassa presente numa área conhecida de 3,0 m de comprimento por 1,5 m de largura nos 36 experimentos, inclusive repetições.

Esta amostra teve sua massa fresca imediatamente registrada (Figura 17). Em seguida, foi efetuada uma subamostragem para separação e pesagem do colmo/bainha e da lâmina foliar. A seguir, as lâminas foliares dessa subamostra tiveram sua área estimada por meio de um aparelho de leitura ótica de mesa tipo *scanner* (Figura 18), e enviados para um software integrador de área foliar (*Calcul_Surface*) desenvolvido em ambiente *Matlab*® (Figura 19). A subamostra de área de lâmina foliar conhecida foi então pesada novamente e sua massa fresca registrada. Desta forma, foi determinada a área de lâmina foliar por unidade de área de solo (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$).

Figura 17 - Coleta e pesagem de amostras de biomassa de capim-elefante para análise do Índice de Área Foliar (IAF). Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 18 - Processo para determinação do Índice de Área Foliar (IAF). Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013: (A) Processo de digitalização de imagem de uma amostra de folhas; (B) Pesagem de amostra de folhas

Figura 19 - Imagem produzida pelo programa integralizador de imagem Matlab 6.5 utilizado para quantificação da área da imagem digitalizada. Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

3.6 Manejo da irrigação

3.6.1 Estação meteorológica

Com o objetivo de monitorar as condições meteorológicas e caracterizar melhor a condição climática local, em agosto de 2011, foi instalada uma estação meteorológica

automatizada com os sensores programados para registrar dados médios de meia em meia hora (Figura 20).

Os dados obtidos por meio da estação foram utilizados nos experimentos para determinar a evapotranspiração de referência (ET_0) e, conseqüentemente, a necessidade de irrigação. Os sensores e componentes utilizados foram: (i) *datalogger Campbell* (modelo CR1000); (ii) multiplexadores de sinais Campbell (modelo AM16/32); (iii) sensor de temperatura e umidade relativa *Vaisala* (modelo HMP45C); (iv) abrigo para HMP45C (modelo 41003-5); (v) sensor de precipitação (modelo TE525MM); (vi) pedestal base para o sensor de precipitação; (vii) piranômetro (modelo LI200X-L); (viii) base para piranômetro (modelo LI2003S); (ix) suporte para piranômetro (modelo CM225 *standard*); (x) sensor de radiação líquida *kipp zonen* (modelo NR-Lite *Net Radiometer*); (xi) suporte para sensor de radiação líquida (modelo 26120 *Mounting Kit*); (xii) sensor de velocidade e direção do vento R.M. *Young Wind* (modelo 03002-L); (xiii) suporte horizontal (Modelo CM200 *Series Crossarm*); (xiv) conectores de canos (modelo CM220); (xv) fonte de energia com regulador (modelo PS512M); (xvi) caixa de abrigo para o *datalogger*; e (xvii) tripé para a estação meteorológica.

Figura 20 - Estação meteorológica automatizada instalada em agosto de 2011 (A) e em pleno funcionamento durante os trabalhos experimentais (B). Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

3.6.2 Capacidade de armazenamento de água do solo

A umidade média nas tensões referentes à capacidade de campo ($\psi_{CC} = 100$ cm) e ao ponto de murcha permanente ($\psi_{PMP} = 15.000$ cm) para o solo da Fazenda Vitória, Beberibe (CE), são $0,102 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e $0,042 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, respectivamente. A fração p para a cana-de-

açúcar, adotado como referência para o capim-elefante, segundo Allen et al. (1998) é 0,65, logo:

$$CAD = 10 \times (0,102 - 0,042) \times 40 = 24,0 \text{ mm} \quad (4)$$

$$I = 0,65 \times 24,0 = 15,6 \text{ mm} \quad (5)$$

$$I = AD = 15,6 \text{ mm} \quad (6)$$

em que, AD se refere à fração de água disponível sem restrição para a planta (mm) e Ze à profundidade efetiva do sistema radicular de capim-elefante (40 cm).

3.6.3 Coeficiente de cultura

Em função da inexistência de dados na literatura sobre o coeficiente de cultivo (Kc) para o capim-elefante, cultivado como fonte de biomassa, foi adotado para este experimento os valores de Kc inicial e intermediário recomendados para a cana-de-açúcar conforme apresentado por Allen et al. (1998) adaptados para as condições do local do experimento (Tabela 9).

Tabela 9 – Coeficiente de cultura (Kc) utilizado em função do número de dias após o corte (período) do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Dias após o corte (período)	Coeficiente de cultura Kc
1 a 5	0,22
6 a 10	0,44
11 a 14	0,55
15 a 21	0,66
22 a 28	0,77
29 a 43	0,88
44 a 48	1,00
49 a 62	1,10
63 a 66	1,21
67 a 73	1,32
74 a 95	1,43
96 a 231	1,54

3.6.4 Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração potencial da cultura (ET_c, mm.d⁻¹) foi calculada de acordo com a recomendação da FAO (ALLEN et al., 1998; FAO, 2013ab), onde a evapotranspiração de referência diária (ET₀, mm.d⁻¹), calculada em base nos dados da estação meteorológica pelo

método de Penman-Monteith (equação 2), foi multiplicada pelo ‘Coeficiente da Cultura’ (K_c) que varia de acordo a sua fase fenológica.

Para determinar o tempo de funcionamento da irrigação (h) para aplicar uma lâmina igual à ET_c , dividiu-se o valor diário da ET_c , em mm, pela precipitação horária (mm.h^{-1}) do sistema. Nos outros tratamentos esse valor foi multiplicado pelo fator de ajuste correspondente.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (7)$$

em que ET_0 se refere à evapotranspiração de referência, (mm.d^{-1}); Δ ao gradiente da curva pressão vapor *versus* temperatura ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$); R_n à radiação solar líquida disponível ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); G ao fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); γ à constante psicrométrica ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m (m.s^{-1}); e_s à pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa); e_a à pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa); T_a à temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

3.7 Variedade cultivada, delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi concebido com o intuito de caracterizar o efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada e de lâminas de água (precipitação e irrigação) sobre a produtividade de biomassa seca de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*).

A variedade cultivada Cameroon foi escolhida devido à sua alta produtividade de matéria seca e à possibilidade de alto poder calorífico, razões pelas quais o capim-elefante é apontado como uma das principais fontes para geração de biomassa com fins energéticos.

O experimento foi implantado sob delineamento em blocos casualizados e esquema fatorial 6×6 , com quatro repetições, totalizando 144 parcelas experimentais, ou seja, 6 lâminas de água (precipitação e irrigação), 6 doses de nitrogênio e 4 repetições em seis períodos de corte (P_d , dias) entre 0 e 203 dias (Tabela 9). No período (P_d) de 0 a 231 dias, correspondente à idade Id_7 foi adicionado ao experimento um tratamento testemunha, sem irrigação (L_0), alterando o experimento para esquema fatorial 7×6 , com quatro repetições, totalizando 168 parcelas experimentais, sendo 7 tratamentos de lâminas de água, 6 doses de nitrogênio e 4 repetições (Tabelas 10 e 11).

Os tratamentos de lâminas de irrigação foram distribuídos em linha em função do modelo do sistema de aspersão adotado (*line source*), sendo a variação da lâmina aplicada o

próprio do perfil de distribuição triangular gerado pelo sistema. Os tratamentos de nitrogênio foram distribuídos ao acaso dentro de cada faixa de tratamento de lâmina.

A lâmina total de água aplicada no i -ésimo período (L_i , mm) pôde assim ser calculada:

$$L_{j,i} = I_{j,i} + Pt_i \quad (1 \leq i \leq 7) \quad (0 \leq j \leq 6) \quad (8)$$

em que $I_{j,i}$ se refere à lâmina de irrigação no i -ésimo período (mm) no j -ésimo nível de irrigação e Pt_i à precipitação no i -ésimo período (mm).

Tabela 10 - Descrição sucinta dos tratamentos de irrigação (I, %) e da adubação nitrogenada (N, kg.ha⁻¹ de N no plantio – PN, em cobertura – CB, e total) do experimento com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em sete idades de corte (Id, número de dias após o corte de equalização), e precipitação (Pt, mm) ocorrida no período (Pd, dias). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Nível	N			Nível	I	Id	Id	Pd	Pt
N	PN	CB	Total	I (j)	% ¹	(i)	dias	dias	mm
				0	0	1	46	0 a 46	19,1
1	44	0	44	1	40	2	82	0 a 82	19,1
2	44	156	200	2	54	3	112	0 a 112	20,3
3	44	356	400	3	100	4	139	0 a 139	21,6
4	44	556	600	4	135	5	169	0 a 169	41,5
5	44	756	800	5	148	6	202	0 a 202	55,5
6	44	956	1000	6	200	7	231	0 a 231	67,6

¹ Irrigação: % de ETc (ETc = ET₀.Kc), em que ET₀ se refere à evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (PEREIRA; VILA NOVA; SEDYAMA, 1997; ALLEN et al., 1998).

Tabela 11 - Descrição dos 42 tratamentos (T_k) resultantes da combinação de sete lâminas (L₀ a L₆, mm) de água (precipitação - Pt, mm - e irrigação - I₀ a I₆, % da ETc) e seis doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha⁻¹ de N) referentes ao experimento com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

N	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
	0%	40%	54%	100%	135%	148%	200%
	L ₀ (Pt)	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
N ₁	T ₁ :L ₀ N ₁	T ₇ :L ₁ N ₁	T ₁₃ :L ₂ N ₁	T ₁₉ :L ₃ N ₁	T ₂₅ :L ₄ N ₁	T ₃₁ :L ₅ N ₁	T ₃₇ :L ₆ N ₁
N ₂	T ₂ :L ₀ N ₂	T ₈ :L ₁ N ₂	T ₁₄ :L ₂ N ₂	T ₂₀ :L ₃ N ₂	T ₂₆ :L ₄ N ₂	T ₃₂ :L ₅ N ₂	T ₃₈ :L ₆ N ₂
N ₃	T ₃ :L ₀ N ₃	T ₉ :L ₁ N ₃	T ₁₅ :L ₂ N ₃	T ₂₁ :L ₃ N ₃	T ₂₇ :L ₄ N ₃	T ₃₃ :L ₅ N ₃	T ₃₉ :L ₆ N ₃
N ₄	T ₄ :L ₀ N ₄	T ₁₀ :L ₁ N ₄	T ₁₆ :L ₂ N ₄	T ₂₂ :L ₃ N ₄	T ₂₈ :L ₄ N ₄	T ₃₄ :L ₅ N ₄	T ₄₀ :L ₆ N ₄
N ₅	T ₅ :L ₀ N ₅	T ₁₁ :L ₁ N ₅	T ₁₇ :L ₂ N ₅	T ₂₃ :L ₃ N ₅	T ₂₉ :L ₄ N ₅	T ₃₅ :L ₅ N ₅	T ₄₁ :L ₆ N ₅
N ₆	T ₆ :L ₀ N ₆	T ₁₂ :L ₁ N ₆	T ₁₈ :L ₂ N ₆	T ₂₄ :L ₃ N ₆	T ₃₀ :L ₄ N ₆	T ₃₆ :L ₅ N ₆	T ₄₂ :L ₆ N ₆

A área experimental possuía 30.209 m² de área total, dos quais, 23.400 m² úteis, desconsiderando as áreas referentes a bordadura e carregadores de apoio. Foram implantados 8

blocos experimentais de 90 metros de comprimento por 30 metros de largura, ou seja, 2.700 m² cada, totalizando 21.600 m². Cada bloco era composto por 36 parcelas de 5,0 m de largura por 15,0 m de comprimento, com área de 75 m² cada. O experimento foi replicado ao lado para permitir fornecimento de material para análise em virtude das amostragens serem destrutivas (Figura 21). O tratamento sem irrigação (L₀), com 6 doses de nitrogênio e 4 repetições, foi implantado em local separado para evitar influência da irrigação e ocupou uma área de 1.800m².

Figura 21 - Croqui da área experimental. Distribuição dos tratamentos de lâminas de irrigação (L) e de doses de nitrogênio na área experimental. Linha tracejada: tubulação lateral – line source. Nomenclatura: L2, R1 (lâmina 2 repetição 1), 32 = Tratamento de nitrogênio 3, repetição 2. As parcelas mais escuras correspondem a lâminas maiores. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

3.8 Adubação de cobertura

As adubações nitrogenadas de cobertura foram realizadas manualmente com sulfato de amônio ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$) com 21% de N de acordo com cada tratamento, sendo a primeira realizada 30 dias após a emergência e 60 e 120 dias após o corte de equalização para a segunda e terceira adubações de cobertura, respectivamente. As adubações de cobertura contaram ainda com a aplicação de 173 kg.ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) com 60% de K_2O .

As quantidades de fertilizantes das parcelas foram pesadas e separadas em embalagens individuais para serem aplicadas manualmente nas linhas de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) conforme necessidade de cada tratamento.

3.9 Avaliações

Em cada avaliação foram colhidos 3,0 metros das três linhas de capim-elefante de cada parcela, sendo o 0,5 metro inicial da linha central e as duas linhas laterais (bordadura) descartadas. Essas plantas foram pesadas e desfolhadas para determinação da biomassa úmida (BMU, kg.ha^{-1}) do colmo, folha e planta. Posteriormente, uma amostra desse material foi triturada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65°C , até obtenção de peso constante, para determinação da biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) (Figuras 22 e 23). As amostras de folhas também foram utilizadas para determinação do IAF. A Altura das plantas foi medida até Id_6 (202 dias), em função do acamamento de capim-elefante, por meio de uma régua graduada em cm. Foi considerada a altura entre o nível do solo e a folha correspondente à primeira bainha totalmente expandida (Tabela 12).

Figura 22 - Pesagem do material vegetal (Id_1 , 06-08-12). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

(A)

(B)

Figura 23 - Primeira avaliação do experimento (Id₁,06-08-12). Processo de retirada de folhas para avaliação da biomassa foliar (A) e vista geral do experimento depois da colheita da biomassa para análise (B). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013.

Tabela 12 – Datas das avaliações do experimento em função da idade de corte (Id, número de dias após o corte de equalização) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Idade	Data	Id (dias)	Período (dias)	Intervalo entre avaliações (dias)
1	06 a 08/08/2012	46	0 a 46	46
2	11 a 13/09/2012	82	0 a 82	36
3	10 a 12/10/2012	112	0 a 112	30
4	06 a 08/11/2012	139	0 a 139	27
5	06 a 08/12/2012	169	0 a 169	30
6	08 a 10/01/2013	202	0 a 202	33
7	06 a 08/02/2013	231	0 a 231	29

3.10 Estatística

Para analisar o comportamento das relações entre as variáveis do experimento os dados foram organizados em gráficos dos tipos *Interaction plot* (Anexo) e *Boxplot* (estatística descritiva), diretamente do SAS[®] versão 9.3, contendo: valores mínimos; valores correspondentes ao 1º quartil (25% dos menores valores), 2º quartil (50% dos valores, ou mediana) e 3º quartil (75% dos valores); valores máximos; e valores médios referentes à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon).

Para verificação da relação entre as variáveis estudadas foi realizado análise de regressão com teste de correlação entre as variáveis resposta e independente por meio da análise da variância da regressão (ANOVA) de onde se extraiu o valor do P-Valor calculado.

Todos os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância (Anova) com aplicação do teste F e, para as variáveis cujo teste F foi significativo, compararam-se as médias de tratamentos pelo teste de Tukey ($p=0,05$) pelo Software SAS/STAT® versão 9.3.

A caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante em função da lâmina de água (L, mm) e da dose de nitrogênio (N, kg.ha^{-1}) (superfície de resposta), para a última idade de corte após equalização (Id₇, 231 dias), foi realizada por intermédio do seguinte modelo:

$$\text{BMS} = \delta_0 + \delta_1.L^{\delta_2} + \delta_3.N^{\delta_4} \quad (9)$$

Sendo que, para obtenção dos parâmetros empíricos do modelo de caracterização, foi utilizado o método iterativo de Newton-Raphson (software SAS®, versão 9.3). Como valores iniciais para realização da regressão não linear, foram utilizados os resultados do ajuste do plano que melhor se adapta aos valores observados de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e da dose de nitrogênio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Elementos do clima

A temperatura e a umidade relativa do ar, dois dos elementos meteorológicos mais importantes, foram permanentemente monitorados e analisados. Pela Figura 23 se observa um desempenho uniforme para a temperatura, com valores médios oscilando perto dos 26,4°C ao longo do ano e que a umidade relativa também foi uniforme, mas com ligeiro aumento entre os meses de fevereiro e abril em função do aumento da nebulosidade, que condicionou as precipitações mais importantes do ano, cujo período é conhecido como inverno nordestino.

Figura 24 – Variação temporal da temperatura (T, °C) e da umidade relativa (UR, %) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados médios diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Por meio da Figura 25 pode-se observar a amplitude (máxima e mínima) da temperatura e da umidade relativa diária. Esse fenômeno pode ser atribuído à característica climática semiárida do local, onde no período diurno a temperatura atinge uma média de 32,7°C, devido ao tipo de vegetação pouco densa e consequente exposição direta do solo ao sol, característica que associada à textura arenosa e ao baixo armazenamento de água, condiciona uma baixa umidade relativa (UR%). Por outro lado, no período noturno a temperatura diminui, atingindo uma média de 21,5°C, condicionando um aumento da umidade relativa do ar.

Figura 25 – Temperatura (T, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) máxima e mínima diária entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Na Figura 26 pode-se observar a estabilidade da variação diária da temperatura ao longo do ano e a oscilação sazonal da umidade relativa que apresenta seus valores mínimos nos meses de agosto e setembro e seus valores máximos entre os meses de fevereiro e abril, quando ocorrem as precipitações mais importantes do ano.

Figura 26 - Variação temporal da temperatura (T, °C) e da umidade relativa do ar (UR, %) (média mensal) ao longo do dia. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

A radiação líquida (Figura 27) e a velocidade do vento são as variáveis meteorológicas que apresentaram maior oscilação ao longo do ano, cujos comportamentos responderam particularmente às instabilidades atmosféricas pontuais. Portanto, foram os principais fatores que interferiram na variação da lâmina de irrigação. Observa-se que nos meses com maiores

instabilidades atmosféricas houve uma grande dispersão em relação à tendência normal. Já nos meses com pouca chuva o comportamento foi mais homogêneo, menos disperso. Nesse período, para evitar a interferência da precipitação, foram desenvolvidos os principais estudos de campo.

Figura 27 - Variação temporal da radiação líquida (RL, MJ.m⁻².d⁻¹) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Pela Figura 28 observa-se o comportamento médio mensal do balanço de radiação ao longo do dia e que houve uma variação entre os meses, demonstrando que, para um bom manejo de irrigação, essa variável possui um papel importante.

Figura 28 - Radiação líquida (RL, W.m⁻²) média ao longo do dia. Dados médios mensais observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Na Figura 29 constam os valores médios de velocidade máxima (rajadas) do vento a cada 0,5 hora do dia em três períodos de avaliação: (i) agosto a dezembro de 2011, (ii) janeiro a dezembro de 2012 e (iii) janeiro a maio de 2013, onde se observa o aumento das rajadas

entre as 6:30 e 18:30 h e que há tendência desse comportamento na região em função da similaridade entre os anos.

Figura 29 - Distribuição diária da velocidade do vento (v , m.s^{-1}) máxima média nos anos de 2011, 2012 e 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Pela Figura 30 observa-se a distribuição da velocidade do vento ao longo do dia, durante o período do experimento (agosto de 2012 a fevereiro de 2013), e que as rajadas (picos) de ventos atingiram valores máximos de 46.62 km.h^{-1} e 41.76 km.h^{-1} entre as 13:00 e 14:00 h,. Observa-se ainda que as rajadas foram maiores durante o dia, razão pela qual as irrigações foram realizadas durante o período noturno.

Figura 30 - Velocidade máxima de vento (v_{max} , m.s^{-1}) registrado entre agosto de 2011 e abril de 2013, de acordo com a hora do dia. Dados registrados na estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Com relação às velocidades máxima e média do vento (Figura 31) observa-se que houve um aumento das rajadas durante o período de avaliação do experimento, compreendido entre os meses de agosto de 2012 a fevereiro de 2013.

Figura 31 - Variação temporal da velocidade média e máxima do vento (v , $m.s^{-1}$) entre agosto de 2011 e abril de 2013. Dados médios diários. Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

A tendência diária da velocidade do vento é extremamente importante para o manejo adequado da irrigação por aspersão. Nesse sentido, o comportamento característico do local estudado permite inferir que o melhor horário para irrigar a cultura é o noturno (Figura 32). Mesmo assim, pode ser observado que a velocidade média, nesse intervalo de tempo, ainda é relativamente alta, o que, sem dúvida, pode deixar um sistema de irrigação por aspersão, como o que foi utilizado nesse projeto, com baixa eficiência de aplicação. Nestas situações a irrigação não era realizada e a lâmina compensada no período seguinte. Por este motivo, é importante realizar observações diárias dessa oscilação para programar o intervalo de horário de irrigação.

Figura 32 – Variação temporal típica da velocidade do vento (v , $m.s^{-1}$) ao longo do dia. Dados médios observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Os valores médios diários da direção do vento também possuem uma variação temporal durante todo o ano. Na Figura 33 estão constam os valores médios mensais distribuídos ao longo do dia e claramente se observa um predomínio típico da direção do vento de acordo com a hora do dia. Nas primeiras horas da manhã o vento foi predominante sentido sul e sudeste, girando posteriormente para leste e nordeste até as 18:00 horas aproximadamente para logo voltar para a direção sudeste ao longo da noite.

Figura 33 - Variação temporal típica da direção média do vento (DMV, graus) ao longo do dia. Dados médios observados entre os meses de agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Na Figura 34 se observa o predomínio dos ventos nordeste, leste e sudeste. Os dados da direção do vento associados aos da velocidade do vento são muito importantes para um planejamento agrícola na região. Por um lado, a velocidade do vento pode ser um fator determinante para definir o momento de colheita de uma cultura. O capim-elefante, por exemplo, tem uma conformação aerodinâmica desvantajosa com relação a altas velocidades de vento.

O caule (colmo) desta espécie pode ultrapassar facilmente os 4 m de altura e, devido a sua estrutura pouco lenhosa, numa região com essa característica de vento, pode sofrer acamamento, forçando sua colheita antes de atingir alturas críticas.

Ao mesmo tempo, a alta velocidade também deve ser um fator a ser considerado no momento de seleção do tipo de sistema e da lâmina de irrigação que deverá ser adotada. Um sistema de irrigação por aspersão, que possua uma intensidade de aplicação baixa e que

precise operar durante o dia para atender à demanda, pode sofrer altas perdas de água por deriva, elevando o consumo energético.

Por outro lado, a caracterização da direção do vento realizado servirá de subsídio para os projetos futuros, pois pode ajudar na construção de infraestruturas definindo sua orientação para melhorar sua proteção e ventilação, principalmente. Do mesmo modo, pode ajudar na implantação de cercas viva e quebra ventos com o objetivo de diminuir o efeito da velocidade do vento sobre a μ

Figura 34 - Tendência da frequência da direção do vento, dadas em porcentagem, em 2011, 2012 e 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

A evapotranspiração de referência (ETo , mm.d^{-1}) foi calculada, utilizando os dados meteorológicos da estação local, empregando a equação de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (PEREIRA; VILA NOVA; SEDYAMA, 1997). Esse dado é muito importante, pois serve como parâmetro para definir a lâmina de irrigação que deverá ser aplicada a cada dia. Observa-se na Figura 35 a grande variação de valores ao longo do ano em resposta principalmente às oscilações do vento e da radiação líquida, e que, entre agosto de 2011 e abril de 2012, a dispersão dos valores com relação à tendência normal foi maior do que nos meses posteriores. Coincidentemente, os estudos foram realizados no período mais estável.

Nota-se que a amplitude de valores variou entre 0,7 a 7,8 mm.d^{-1} , concentrando-se na faixa entre 4 e 7 mm.d^{-1} e que, na primeira metade do ano, os valores foram menores do que na segunda metade. Isso se deve à ocorrência de maior instabilidade atmosférica durante a primeira metade do ano.

Figura 35 - Variação temporal da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm.d^{-1}) entre agosto de 2011 e setembro de 2012. Dados médios diários da estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Com relação à precipitação acumulada, somente em fevereiro de 2012, houve um acúmulo importante. Entretanto, por causa do solo arenoso ter pouca capacidade de retenção de água, esse volume precipitado é pouco aproveitado pela cultura, sendo necessária aplicação frequente da irrigação.

Por meio da Figura 36 pode-se observar os valores médios e acumulados mensais da precipitação, umidade relativa, temperatura, radiação líquida, velocidade do vento e evapotranspiração de referência. Isto é, um resumo da variação temporal das variáveis meteorológicas que pode ser mostrado de forma gráfica. É interessante destacar que, no intervalo de um ano, entre agosto de 2011 e julho de 2012 foram registrados apenas 599 mm de precipitações. No período seguinte, entre agosto de 2012 até abril de 2013, foram registrados apenas 293 mm.

Figura 36 - Dados médios mensais de temperatura (T, °C), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento (v, m.s⁻¹), radiação líquida (RL, MJ.m⁻².d⁻¹) e acúmulo da evapotranspiração de referência (ET₀, mm.d⁻¹) e da precipitação (Pt, mm). Dados coletados entre agosto de 2011 e abril de 2013. Estação meteorológica da Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Utilizando os dados meteorológicos, apresentados anteriormente, foi realizado um balanço hídrico sequencial decendial do período de tempo estudado para avaliação da deficiência hídrica no período (Figura 37).

Figura 37 - Extrato de balanço hídrico sequencial do solo no período entre agosto de 2011 e abril de 2013. Fazenda Vitória, Beberibe (CE)

Pode ser observado que, confirmando a tendência do balanço hídrico normal apresentado anteriormente, durante a maior parte do período houve deficiência hídrica severa, caracterizando um clima semiárido típico. Observa-se que em períodos muito curtos se registraram excedentes hídricos em função dos acúmulos de precipitações ocorridas.

4.2 Lâminas de irrigação

Na Tabela 13 constam as lâminas de água (irrigação e precipitação) (L_i) aplicadas por período (Pd) em cada uma das 7 idades de corte (Id_i). O tratamento I_0 , sem irrigação, recebeu apenas a precipitação no período (19,1 a 67,6 mm) e os tratamentos de irrigação receberam lâminas entre 57,8 mm e 2312,6 mm, referente aos tratamentos I_1 e I_6 , respectivamente.

Tabela 13 - Precipitação (Pt, mm) e lâminas de irrigação (I_0 a I_6 , mm) e de água (precipitação e irrigação - L_0 a L_6 , mm) aplicadas por período (Pd, dias) de avaliação durante o experimento com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em sete idades de corte (Id , número de dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Id	Pd	j=0	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6
		I_0 (Pt)	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
i	dias	0%	40%	54%	100%	135%	148%	200%
1	0 a 46	19,1	57,8	78,0	144,0	194,4	213,6	288,4
2	0 a 82	19,1	154,9	209,1	385,9	521,0	572,6	773,0
3	0 a 112	20,3	224,1	302,6	558,3	753,7	828,4	1.118,3
4	0 a 139	21,6	274,6	370,7	684,1	923,5	1.015,1	1.370,3
5	0 a 170	41,5	335,8	453,4	836,6	1.129,4	1.241,3	1.675,8
6	0 a 203	55,5	397,3	536,3	989,7	1.336,1	1.468,5	1.982,4
7	0 a 231	67,6	463,4	625,7	1.154,5	1.558,6	1.713,0	2.312,6
i	Pd	L_0 (Pt)	$L_{1,i}$	$L_{2,i}$	$L_{3,i}$	$L_{4,i}$	$L_{5,i}$	$L_{6,i}$
1	0 a 46	19,1	76,9	97,1	163,1	213,5	232,7	307,5
2	0 a 82	19,1	174,0	228,2	405,0	540,1	591,7	792,1
3	0 a 112	20,3	244,4	322,9	578,6	774,0	848,7	1.138,6
4	0 a 139	21,6	296,2	392,3	705,7	945,1	1.036,7	1.391,9
5	0 a 170	41,5	377,3	494,9	878,1	1.170,9	1.282,8	1.717,3
6	0 a 203	55,5	452,8	591,8	1045,2	1.391,6	1.524,0	2.037,9
7	0 a 231	67,6	531,0	693,3	1.222,1	1.626,2	1.780,6	2.380,2

4.3 Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio

4.3.1 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio

Pela Figura 38 pode-se observar os diagramas de caixas (*boxplot*) para a produção de biomassa seca de capim-elefante (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função da idade de corte, fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio, ou seja, a BMS foi calculada considerando a interferência das doses de nitrogênio e de lâmina de água (irrigação e precipitação) simultaneamente. Os valores são apresentados da seguinte forma: valores mínimos; valores correspondentes ao 1º quartil (25% dos menores valores), 2º quartil (50% dos valores, ou mediana) e 3º quartil (75% dos valores); valores máximos; e valores médios referentes à produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon).

Figura 38 – *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁ 46; Id₂ 82; Id₃ 112; Id₄ 139; Id₅ 170; Id₆ 203 e Id₇ 231 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.3.2 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água

Pela Figura 39 se observa os valores (*boxplot*) de produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte fixando a lâmina de água, sendo que a produtividade de biomassa seca foi calculada, para cada lâmina de água (irrigação e precipitação), utilizando os seis valores de dose de nitrogênio.

Figura 39 – *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id: 46, 82, 112, 139, 170, 203 e 231 dias após o corte de equalização) para as seis lâminas de água: 40 [A], 54 [B], 100 [C], 135 [D], 148 [E] e 200 [F] % da ETc. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.3.3 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a dose de nitrogênio

Pela Figura 40 se observa os valores (*boxplot*) de produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte fixando a dose de nitrogênio, sendo que a produtividade de biomassa seca foi calculada, para cada dose de nitrogênio, utilizando os seis valores de lâmina de água (irrigação e precipitação).

Figura 40 – *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id: 46, 82, 112, 139, 170, 203 e 231 dias após o corte de equalização) para as seis doses de nitrogênio: 44 [A], 200 [B], 400 [C], 600 [D], 800 [E], 1000 [F] $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.3.4 Análise estatística

Os valores de biomassa seca obtidos nas diferentes idades de corte (dias após corte de equalização) em função dos tratamentos referentes às doses de nitrogênio e lâmina de água (precipitação e chuva) estão representados nas Tabelas 14, 15 e 16.

Pelos resultados das análises, pode-se observar nesse experimento que houve incremento significativo de produtividade de capim-elefante em função do aumento da idade de corte, sendo os maiores valores de biomassa seca obtidos aos 231 dias de idade de corte (Id₇). Entretanto, a partir do quinto corte (Id₅), em função da elevada altura, do alto peso das plantas e constante presença de vento, houve acamamento de capim-elefante. Na prática, este fato afetará o desempenho da colheita mecanizada e a qualidade da matéria prima para queima, pois haverá necessidade de ajuste da altura do corte de base da colhedora, aumentando o teor de impurezas minerais. Quanto maior o teor de impurezas minerais, maior o custo do transporte e do processamento da matéria prima. Portanto, para as condições do experimento, não é recomendado colheita de capim-elefante a partir dos 169 dias após o corte de equalização.

Os valores médios obtidos neste experimento (Tabela 14), considerando dois cortes por ano, ou seja, produtividade entre 40 e 50 Mg/ha⁻¹, estão próximos aos obtidos por Mazzarela (2010), porém, abaixo do potencial de 100 Mg/ha⁻¹ citado por Urquiaga, Alves e Bodddey (2004) em condições próximas das ideais, e do valor obtido aos 84 dias (14,96 Mg/ha⁻¹) por Lopes (2012).

Tabela 14 - Número de repetições (Nr) e valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg/ha⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id_i, dias)

Id	Dias	BMS ¹	Nr
1	46	4,20e	36
2	82	10,77d	36
3	112	14,33d	36
4	139	20,15c	36
5	169	22,24bc	36
6	202	24,08b	36
7	231	28,77a	42
CV ²		29,94	
DMS ³		3,75	

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg/ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

Ao comparar os efeitos da irrigação com os da adubação nitrogenada isoladamente nas produtividades de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo (Tabela 15 com a Tabela 16), observa-se que, a partir do tratamento L₄ (135% ETc), a irrigação proporcionou maior incremento de BMS. Nos tratamentos de lâminas de água inferiores a L₄, a adubação nitrogenada proporcionou maior incremento de BMS, provavelmente causado pela menor lixiviação de nitrogênio nas lâminas mais baixas e maior restrição ao crescimento em função do déficit hídrico.

Tabela 15 - Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id_i, dias) e das lâminas de água (L_i, mm). (Nr: número de repetições = 6)

Id _i	BMS ¹					
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
1	2,70d	3,17d	3,88d	4,28d	5,35e	5,83d
2	5,15d	7,79cd	10,06c	12,24c	14,20d	15,08c
3	7,81cd	9,55c	13,82c	15,54c	20,81c	18,49c
4	10,81bc	13,09bc	19,43b	25,37b	25,66bc	26,68b
5	11,06bc	16,01b	21,94b	28,60b	24,34bc	29,24b
6	14,31b	18,25ab	23,64b	30,78b	29,88b	29,84b
7	20,70a	23,10a	31,86a	43,33a	39,87a	40,11a
CV ²	28,27	23,96	14,73	15,00	15,63	14,89
DMS ³	5,34	5,67	4,78	6,26	6,51	6,41

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

Tabela 16 - Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função da idade de corte após corte de equalização (Id_i, dias) e das doses de nitrogênio (N_i, kg.ha⁻¹). (Nr: número de repetições = 6)

Id _i	BMS ¹					
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
1	3,78 f	4,06 d	4,22 d	4,18 d	3,91 e	5,05 d
2	9,67 e	10,37 c	11,13 cd	9,66 cd	11,50 de	12,29 c
3	12,42 de	14,17 c	14,99 bc	15,97 bc	13,73 cd	14,73 c
4	16,81 cd	20,14 b	19,79 bc	20,21 b	21,82 bc	22,27 b
5	18,93 bc	20,38 b	22,44 ab	22,82 b	23,85 ab	24,43 b
6	21,79 b	24,75 b	23,27 ab	24,13 b	26,09 ab	25,01 b
7	31,41 a	33,41 a	30,68 a	34,07 a	33,69 a	36,72 a
CV ²	15,36	16,61	28,45	28,39	26,17	19,15
DMS ³	4590,0	5502,6	9372,8	9684,5	9103,1	7005,9

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

4.3.5 Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina de água e a dose de nitrogênio

Por meio das Figuras 41, 42, 43, 44, 45 e 46 se observa, para os 36 tratamentos realizados, as curvas de acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função do tempo fixando a lâmina total de água (irrigação e precipitação) e doses de nitrogênio. Para tal, foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$BMS = \alpha_1.Id^{\beta_1} \quad (10)$$

em que BMS se refere à biomassa seca de capim-elefante ($kg.ha^{-1}$) e Id à idade de corte (número de dias após o corte de equalização de capim-elefante - dias).

Para a lâmina total de água (irrigação e precipitação) referente à 40% da ETc (L_1), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 100,84; 109,19; 42,539; **125,7**; 45,246 e 105,35 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$ correspondentes às doses de nitrogênio de 44; 200; 400; **600**; 800 e 1000 $kg.ha^{-1}$, respectivamente.

Para a lâmina total de água referente à 54% da ETc (L_2), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 120,91; **122,94**; 110,02; 37,071; 90,959 e 113,02 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$ correspondentes às doses de nitrogênio de 44; **200**; 400; 600; 800 e 1000 $kg.ha^{-1}$, respectivamente.

Para a lâmina total de água referente à 100% da ETc (L_3), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 121,6; 122,02; 137,75; 122,51; **175,97** e 155,69 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$ correspondentes às doses de nitrogênio de 44; 200; 400; 600; **800** e 1000 $kg.ha^{-1}$, respectivamente.

Para a lâmina total de água referente à 135% da ETc (L_4), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 155,57; 196,41; **239,85**; 228,58; 175,44 e 173,56 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$ correspondentes às doses de nitrogênio de 44; 200; **400**; 600; 800 e 1000 $kg.ha^{-1}$, respectivamente.

Para a lâmina total de água referente à 148% da ETc (L_5), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 134,58; 155,75; 110,48; 190,41; **197,23** e 184,55 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$

correspondentes às doses de nitrogênio de 44; 200; 400; 600; **800** e 1000 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Para a lâmina total de água referente à 200% da ETc (L₆), os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 46 e 231 dias após o corte de equalização, foram de 162,87; 156,8; 138,73; 174,66; **195,93** e 174,31 kg.ha⁻¹.dia⁻¹, correspondentes às doses de nitrogênio de 44; 200; 400; 600; **800** e 1000 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Esses valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante se referem aos valores de coeficiente angular oriundos da análise de regressão linear com os mesmos dados usados para caracterização da variação temporal da biomassa seca de capim-elefante fixando a lâmina total de água (irrigação e precipitação) e a dose de nitrogênio (Figuras 41, 42, 43, 44, 45 e 46).

Em função do resultado obtido (maioria dos expoentes do modelo de caracterização utilizados superiores a 1), verifica-se que não foi atingida a produtividade máxima de biomassa seca de capim-elefante, visto que não foi observada a redução da taxa de acúmulo. Isso provavelmente poderia ter sido observado se houvesse determinações posteriores a 231 dias após o corte de equalização. Porém, cabe ressaltar que houveram alguns casos com expoente inferior à unidade, como por exemplo, L₁N₃ e L₁N₅ (Figura 41), L₂N₄ (Figura 42) e L₆N₃ (Figura 46), indicando, nestes casos, que a taxa de acúmulo de BMS diminui em função do aumento da idade de corte.

Figura 41 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 40% da ETc (Lâmina 1 – L₁) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 42 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 54% da ETc (Lâmina 2 – L₂) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 43 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 100% da ETc (Lâmina 3 – L₃) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 44 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 135% da ET_c (Lâmina 4 – L₄) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 45 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 148% da ETc (Lâmina 5 – L₅) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 46 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id, dias) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para o tratamento de irrigação com 200% da ETc (Lâmina 6 – L₆) (L: lâmina de água - irrigação e precipitação. N: dose de nitrogênio). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.4 Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando lâmina de água e a idade de corte

4.4.1 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando a idade de corte

Pela Figura 47 se observa os diagramas de caixas (*boxplot*) para a produção de biomassa seca de capim-elefante (BMS, kg.ha⁻¹) em função de doses de nitrogênio, fixando a lâmina de água e a idade de corte, ou seja, a BMS foi calculada considerando a interferência da idade de corte e da lâmina de água (irrigação e precipitação), simultaneamente. Os valores são apresentados da seguinte forma: valores mínimos; valores correspondentes ao 1º quartil (25% dos menores valores), 2º quartil (50% dos valores, ou mediana) e 3º quartil (75% dos valores); valores máximos; e valores médios referentes à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon).

Pela Figura 47 é possível observar que não houve resposta da produtividade de BMS em função das doses de nitrogênio e que houve uma grande variação na produtividade de BMS. Esta variação pode ser explicada pelo efeito dos tratamentos de lâminas de água (irrigação e precipitação), que variam de 40% a 200% da ETc, associado às falhas de brotação (*stand*) do capim-elefante, que também explicam o decréscimo da produtividade de BMS dos tratamentos entre as idades de corte.

Figura 47 – Boxplot referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha⁻¹ de N) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.4.2 Análise estatística

Os valores de biomassa seca obtidos nos diferentes tratamentos referentes às doses de nitrogênio por idade de corte, nas 7 avaliações estão representados na Tabela 17. Pelos resultados das análises, pode-se observar que, nesse experimento, exceto na idade de corte 1 (Id₁) onde a dose de N mais baixa diferiu da mais alta, as diferentes doses de nitrogênio não influenciaram significativamente a produção de biomassa seca de capim-elefante em nenhuma das idades de corte,

Tabela 17 - Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função das doses de nitrogênio (N) e das idade de corte (Id, dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições = 24)

N	BMS ¹						
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆	Id ₇
1	3,78b	9,67 a	12,42 a	16,81 a	18,93 a	21,79 a	31,41 a
2	4,06ab	10,37 a	14,17 a	20,14 a	20,38 a	24,75 a	33,41 a
3	4,22ab	11,13 a	14,99 a	19,79 a	22,44 a	23,27 a	30,68 a
4	4,18ab	9,66 a	15,97 a	20,20 a	22,82 a	24,13 a	34,07 a
5	3,91ab	11,50 a	13,73 a	21,82 a	23,85 a	26,09 a	32,69 a
6	5,05a	12,28 a	14,73 a	22,26 a	24,43 a	25,01 a	36,71 a
CV ²	37,48	41,29	43,55	43,44	39,28	37,79	43,44
DMS ³	1322,9	3721,7	5226,9	7287,7	6695,1	7624,2	9647,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

De maneira geral, pode-se observar que não houve resposta significativa às doses de nitrogênio. Essa ausência de resposta à adubação nitrogenada também foi observada por Magalhães et al. (2006) em estudos com capim-elefante (cv. Napier), utilizando as seguintes doses: 100, 300 e 450 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

Nos estudos conduzidos por Morais et al. (2009b), os genótipos de capim-elefante avaliados não apresentaram resposta significativa à adubação nitrogenada na maioria das variáveis avaliadas. Essa ausência de resposta à adubação nitrogenada pode ter relação com um eficiente sistema de obtenção de nitrogênio do ar via FBN (fixação biológica de nitrogênio) relatados em alguns genótipos de capim-elefante (MORAIS et al., 2009b; QUESADA, 2005). Morais et al. (2009b) descreveram elevadas contribuições da FBN, variando ao redor de 45%.

4.4.3 Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função de doses de nitrogênio fixando a idade de corte e a lâmina de água

As Figuras 48, 49, 50, 51, 52, 53 e 54 apresentam, para 36 tratamentos realizados, as curvas de acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função de dose de nitrogênio fixando a lâmina total de água (irrigação e precipitação) e idade de corte. Para tal, foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$\text{BMS} = \alpha_2 \cdot N^{\beta_2} \quad (11)$$

em que BMS se refere à biomassa seca de capim-elefante ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e N à dose ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de nitrogênio.

Para a colheita (idade de corte, Id_1) ocorrida 46 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, foram de 0,194; 0,8256; 1,0672; 1,671; 0,8982 e 0,3405 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_2) ocorrida 82 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, foram de 1,738; -3,7421; 0,6178; 3,3617; 5,1484 e 5,7381 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_3) ocorrida 112 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, foram de -0,6994; -0,5786; 1,044; 0,6832; 5,1359 e 4,0135 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_4) ocorrida 139 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, foram de -1,3361; -1,3171; 10,085; 0,6545; 5,4416 e 14,564 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id₅) ocorrida 170 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, foram de 2,3178; -1,3859; 2,1942; 12,444; 7,5901 e 12,166 kg.ha⁻¹.kg⁻¹ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id₆) ocorrida 203 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, foram de -0,404; -6,5946; 4,3266; 0,9175; 9,8685 e 7,4115 kg.ha⁻¹.kg⁻¹ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc, respectivamente (Figura 53).

Para a colheita (idade de corte, Id₇) ocorrida 231 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 44 e 1000 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, foram de -2,9442; -5,2498; 11,362; 0,0894; 15,383 e 5,1335 kg.ha⁻¹.kg⁻¹ de nitrogênio referentes às lâminas totais de água (precipitação e lâmina de irrigação) correspondentes a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc, respectivamente.

Esses valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante se referem aos valores de coeficiente angular oriundos da análise de regressão linear com os mesmos dados usados para caracterização da variação temporal da biomassa seca de capim-elefante fixando a lâmina total de água (irrigação e precipitação) e a idade de corte (Figuras 48, 49, 50, 51, 52, 53 e 54).

Em função do resultado obtido (maioria dos expoentes do modelo de caracterização utilizado próximo a 0), verifica-se que não foi observado o efeito esperado da adubação nitrogenada em termos de produtividade de biomassa seca de capim-elefante. Isso provavelmente ocorreu devido a perdas como imobilização microbiológica, lixiviação, volatilização e denitrificação, principalmente. Porém, cabe ressaltar que houveram alguns casos com expoente inferior a zero (expoente negativo), como por exemplo L₂ e L₃ (idade de corte 2) (Figura 49), L₃ (idade de corte 3) (Figura 50), L₂ (idade de corte 4) (Figura 51), L₂ (idade de corte 5) (Figura 52), L₁ e L₂ (idade de corte 6) (Figura 53) e L₁ e L₂ (idade de corte 7) (Figura 54) indicando, nestes casos, que a taxa de acúmulo de BMS diminui em função do

aumento da idade de corte. Estes valores negativos estão relacionados às falhas de brotação do capim-elefante, e interferiram na produtividade de BMS.

Figura 48 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 46 dias (idade de corte 1) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 49 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 82 dias (idade de corte 2) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 50 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 112 dias (idade de corte 3) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 51 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 139 dias (idade de corte 4) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 52 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg·ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg·ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 170 dias (idade de corte 5) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 53 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 203 dias (idade de corte 6) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 54 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) e lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc para colheita aos 231 dias (idade de corte 7) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.5 Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a dose de nitrogênio e a idade de corte

4.5.1 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a idade de corte

Pela Figura 55 se observa os diagramas de caixas (*boxplot*) para a produção de biomassa seca de capim-elefante (BMS, kg.ha⁻¹) em função de lâminas de irrigação, fixando as doses de nitrogênio e a idade de corte, ou seja, a BMS foi calculada considerando a interferência da idade de corte e da adubação nitrogenada, simultaneamente. Os valores são apresentados da seguinte forma: valores mínimos; valores correspondentes ao 1º quartil (25% dos menores valores), 2º quartil (50% dos valores, ou mediana) e 3º quartil (75% dos valores); valores máximos; e valores médios referentes à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon).

Pela Figura 55 é possível observar que, conforme esperado, houve resposta da produtividade de BMS em função das lâminas de irrigação, principalmente até o tratamento L₄ (135% ETc). A partir deste não houve diferença significativa conforme comprovado pela análise de variância (p=0,05). Este fato pode ser explicado pelo aumento das perdas de nutrientes (lixiviação) e pelo excesso de umidade no solo nos tratamentos referentes às lâminas mais altas (L₅ 154% e L₆ 200% ETc). Observa-se ainda que, da mesma forma que nos gráficos de BMS em função de doses de nitrogênio, houve uma grande variação na produtividade de BMS. Esta variação pode ser explicada pelo efeito dos tratamentos de doses de nitrogênio, que variaram de 44 a 1000% kg.ha⁻¹ de N, associados às falhas de brotação (*stand*) do capim-elefante.

Figura 55 – *Boxplot* referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâminas de água (precipitação e irrigação - 40, 54, 100, 135, 148 e 200 % da ETc) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.5.2 Análise estatística

Os valores de biomassa seca obtidos nos diferentes tratamentos referentes às lâminas de água (precipitação e irrigação), nas 7 idades de corte avaliadas estão representados na Tabela 18. Pode-se observar que houve resposta significativa às lâminas de irrigação, sendo que o aumento de BMS aumentou 16,5 vezes entre os tratamentos extremos ($L_0 = 2,43$ e $L_6 = 40,11 \text{ kg.ha}^{-1}$) aos 231 dias após o corte de equalização.

Pode-se observar ainda que, com exceção da primeira idade de corte (Id_1), não houve diferença significativa entre os tratamentos L_4 (135% da ETc), L_5 (148% da ETc) e L_6 (200% da ETc), e em todos os períodos analisados foram os que obtiveram as maiores produtividades de BMS de capim-elefante, sendo recomendado, portanto, a utilização do tratamento L_4 como referência para a implantação de projetos de irrigação.

Tabela 18 - Valores médios de produtividade de biomassa seca (BMS, Mg.ha^{-1}) de capim-elefante em função das lâminas de água (L_i , precipitação e irrigação) e das idades de corte (Pd , dias) em função da idade de corte (Id_i , dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)

L_i	BMS ¹						
	Id_1	Id_2	Id_3	Id_4	Id_5	Id_6	Id_7
0	-	-	-	-	-	-	2,43 e
1	2,70 d	5,15 d	7,81 d	10,65 d	11,06 d	14,31 c	20,70 d
2	3,22 cd	7,84 cd	9,96 cd	13,10 cd	18,25 c	16,01 bc	23,10 cd
3	3,88 cd	10,06 bc	13,82 bc	18,71 bc	21,94 bc	23,63 ab	31,86 bc
4	4,29 bc	12,21 ab	15,58 ab	25,32 ab	28,60 ab	30,78 a	43,33 a
5	5,35 ab	14,20 a	20,49 a	25,66 ab	24,33 abc	29,88 a	39,87 ab
6	5,83 a	15,08 a	18,28 ab	26,68 a	29,24 a	29,84 a	40,11 ab
CV ²	37,48	41,29	43,55	43,44	39,29	37,79	43,44
DMS ³	1322,9	3721,7	5226,9	7287,7	6695,1	7624,2	10789,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha^{-1} de biomassa seca - BMS).

4.5.3 Caracterização do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água fixando a dose de nitrogênio e a idade de corte

As Figuras 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62 apresentam, para 36 tratamentos realizados, as curvas de acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina total de água

(irrigação e precipitação), fixando o tempo e doses de nitrogênio. Para tal, foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$\text{BMS} = \alpha_3 \cdot L^{\beta_3} \quad (12)$$

em que BMS se refere à biomassa seca de capim-elefante ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e L à lâmina total de água (irrigação e precipitação).

Para a colheita (idade de corte, Id_1) ocorrida 46 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 19,1 e 307,5 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 12,9; 11,771; 18,236; 11,835; 11,107 e 15,731 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_2) ocorrida 82 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 19,1 e 792,1 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 5,6734; 13,937; 43,546; 14,183; 41,79 e 18,309 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_3) ocorrida 112 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 20,3 e 1138,6 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 9,7849; 8,8549; 13,287; 21,713; 14,083 e 13,444 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_4) ocorrida 139 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 21,6 e 1391,9 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 9,1141; 9,0767; 17,882; 18,572; 22,743 e 17,803 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_5) ocorrida 170 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 41,5 e 1717,3 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 3,806; 6,6561; 6,0126; 19,949; 13,788 e 8,8471 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_6) ocorrida 203 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 55,5 e 2037,9 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 6,8321; 6,3471; 13,957; 11,732; 18,187

e $10,823 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N, respectivamente.

Para a colheita (idade de corte, Id_7) ocorrida 231 dias após o corte de equalização, os valores médios de taxa de acúmulo diário de biomassa seca de capim-elefante, entre 67,6 e 2380,2 mm de lâmina de água (Tabela 11), foram de 13,291; 14,864; 15,719; 18,506; 19,441 e $17,031 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ de lâmina total referentes às doses de nitrogênio correspondentes a N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 kg.ha^{-1} de N, respectivamente.

Esses valores médios de crescimento diário de biomassa seca de capim-elefante por unidade de lâmina de água aplicada se referem aos valores de coeficiente angular oriundos da análise de regressão linear com os mesmos dados usados para caracterização da variação temporal da biomassa seca de capim-elefante fixando a dose de nitrogênio e a idade de corte (Figuras 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62).

Em função do resultado obtido (alguns expoentes do modelo de caracterização utilizado apresentaram valores próximos a 1 - Figuras 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62), verifica-se que não foi atingida a produtividade máxima de biomassa seca de capim-elefante, visto que não foi observada a estabilização da produtividade.

Figura 56 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 46 dias (idade de corte 1) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 57 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 82 dias (idade de corte 2) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 58 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 112 dias (idade de corte 3) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 59 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 139 dias (idade de corte 4) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 60 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 170 dias (idade de corte 5) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 61 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 203 dias (idade de corte 6) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 62 - Curva de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâmina total de água (precipitação e lâmina de irrigação correspondente a L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc e doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 kg.ha⁻¹ de N) para colheita aos 231 dias (idade de corte 7) após o corte de equalização. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.6 Caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e da dose de nitrogênio

4.6.1 Produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e da dose de nitrogênio fixando a idade de corte

Pela Figura 63 se observa os diagramas de caixas (*boxplot*) para a produção de biomassa seca de capim-elefante (BMS, kg.ha⁻¹) em função de lâminas de irrigação e da dose de nitrogênio, ou seja, a BMS foi calculada considerando a interferência da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada, simultaneamente. Os valores são apresentados da seguinte forma: valores mínimos; valores correspondentes ao 1º quartil (25% dos menores valores), 2º quartil (50% dos valores, ou mediana) e 3º quartil (75% dos valores); valores máximos; e valores médios referentes à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon).

Figura 63 - Boxplot referente à produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) para os 42 tratamentos (T) (Tabela 10) em função da lâmina total de água (irrigação e precipitação) (com 40, 54, 100, 135, 148 e 200% da ETc) e de doses de nitrogênio (44, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg.ha^{-1} de N) para as sete idades de corte (Id: 46 [A], 82 [B], 112 [C], 139 [D], 170 [E], 203 [F] e 231 [G] dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.6.2 Análise estatística

Os valores de BMS obtidos nos diferentes tratamentos referentes à lâmina de água (precipitação e irrigação) e à dose de nitrogênio, nas sete avaliações podem ser observados pelas Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

Visando facilitar a identificação dos tratamentos que mais responderam às lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, em cada uma das idades após corte de equalização, foi elaborado um *ranking* (Rk) de classificação. Os tratamentos receberam uma pontuação entre 1 e 42, sendo que o de maior produtividade de BMS de capim-elefante recebeu a pontuação 1, o segundo colocado recebeu a pontuação 2 e assim por diante até a pontuação 42 para o de menor produtividade. Esta pontuação foi somada em cada uma das idades de corte e o tratamento que recebeu a menor pontuação foi o tratamento de maior produtividade acumulada entre as 7 idades de corte avaliadas.

Como pode ser observado pela Tabela 26 e Figura 64, os três tratamentos de menor pontuação, ou seja, de maior produtividade somada nas 7 idades de corte foram: 1º L₅N₄ (154% ETc e 800 kg.ha⁻¹ de N); 2º L₅N₆ (154% ETc e 1000 kg.ha⁻¹ de N); e 3º L₆N₆ (200% ETc e 1000 kg.ha⁻¹ de N).

Tabela 19 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 37,48%) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (primeira idade de corte – 46 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	2,24 b	4	36
8	1	2	3,52 ab	4	23
9	1	3	2,33 ab	4	35
10	1	4	2,59 b	4	33
11	1	5	2,40 b	4	34
12	1	6	3,12 ab	4	30
13	2	1	2,88 b	4	31
14	2	2	2,67 b	4	32
15	2	3	3,43 ab	4	25
16	2	4	3,83 ab	4	20
17	2	5	3,25 ab	4	29
18	2	6	3,31 ab	4	27
19	3	1	3,99 ab	4	17
20	3	2	3,27 ab	4	28
21	3	3	3,43 ab	4	24
22	3	4	3,62 ab	4	22
23	3	5	3,83 ab	4	18
24	3	6	5,12 ab	4	11
25	4	1	3,83 ab	4	19
26	4	2	4,09 ab	4	16
27	4	3	4,22 ab	4	15
28	4	4	3,32 ab	4	26
29	4	5	3,74 ab	4	21
30	4	6	6,54 ab	4	2
31	5	1	4,92 ab	4	13
32	5	2	5,22 ab	4	8
33	5	3	4,68 ab	4	14
34	5	4	6,19 ab	4	4
35	5	5	5,16 ab	4	9
36	5	6	5,91 ab	4	5
37	6	1	5,13 ab	4	10
38	6	2	5,63 ab	4	6
39	6	3	7,32 a	4	1
40	6	4	5,51 ab	4	7
41	6	5	5,08 ab	4	12
42	6	6	6,30 ab	4	3

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 4,41 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 20 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 41,29 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (segunda idade de corte – 82 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	4,49 cd	4	35
8	1	2	5,25 cd	4	33
9	1	3	3,75 d	4	36
10	1	4	5,94 bcd	4	31
11	1	5	4,63 cd	4	34
12	1	6	6,86 abcd	4	29
13	2	1	11,03 abcd	4	18
14	2	2	8,97 abcd	4	24
15	2	3	7,74 abcd	4	26
16	2	4	5,54 bcd	4	32
17	2	5	6,17 bcd	4	30
18	2	6	7,61 abcd	4	27
19	3	1	11,63 abcd	4	16
20	3	2	7,48 abcd	4	28
21	3	3	10,42 abcd	4	19
22	3	4	8,85 abcd	4	25
23	3	5	11,66 abcd	4	15
24	3	6	10,30 abcd	4	21
25	4	1	9,63 abcd	4	23
26	4	2	12,52 abcd	4	12
27	4	3	13,66 abcd	4	10
28	4	4	10,01 abcd	4	22
29	4	5	11,67 abcd	4	14
30	4	6	15,74 abcd	4	6
31	5	1	11,26 abcd	4	17
32	5	2	14,01 abcd	4	8
33	5	3	12,51 abcd	4	13
34	5	4	14,59 abcd	4	7
35	5	5	16,08 abcd	4	5
36	5	6	16,78 abc	4	3
37	6	1	10,32 abcd	4	20
38	6	2	13,98 abcd	4	9
39	6	3	17,92 ab	4	2
40	6	4	13,03 abcd	4	11
41	6	5	18,81 a	4	1
42	6	6	16,43 abc	4	4

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 12,41 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 21 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,55 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (terceira idade de corte – 112 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	6,09 cd	4	35
8	1	2	10,91 abcd	4	26
9	1	3	7,06 bcd	4	34
10	1	4	9,74 bcd	4	28
11	1	5	4,75 d	4	36
12	1	6	8,27 bcd	4	31
13	2	1	10,25 abcd	4	27
14	2	2	8,73 bcd	4	30
15	2	3	15,59 abcd	4	16
16	2	4	8,22 bcd	4	32
17	2	5	8,05 bcd	4	33
18	2	6	8,89 bcd	4	29
19	3	1	16,06 abcd	4	13
20	3	2	11,62 abcd	4	24
21	3	3	12,42 abcd	4	22
22	3	4	11,34 abcd	4	25
23	3	5	16,97 abcd	4	10
24	3	6	14,54 abcd	4	18
25	4	1	12,55 abcd	4	21
26	4	2	21,05 abc	4	5
27	4	3	12,28 abcd	4	23
28	4	4	15,67 abcd	4	14
29	4	5	16,34 abcd	4	11
30	4	6	15,60 abcd	4	15
31	5	1	18,41 abcd	4	8
32	5	2	20,39 abcd	4	7
33	5	3	20,44 abcd	4	6
34	5	4	23,59 ab	4	3
35	5	5	16,19 abcd	4	12
36	5	6	23,92 ab	4	2
37	6	1	13,57 abcd	4	20
38	6	2	14,34 abcd	4	19
39	6	3	22,48 abc	4	4
40	6	4	27,25 a	4	1
41	6	5	14,87 abcd	4	17
42	6	6	17,16 abcd	4	9

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 17,43 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 22 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,44 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (quarta idade de corte – 139 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	7,99 b	4	34
8	1	2	17,17 ab	4	22
9	1	3	6,64 b	4	36
10	1	4	13,58 ab	4	29
11	1	5	7,29 b	4	35
12	1	6	11,23 ab	4	32
13	2	1	15,22 ab	4	26
14	2	2	12,14 ab	4	31
15	2	3	14,80 ab	4	27
16	2	4	9,32 b	4	33
17	2	5	13,49 ab	4	30
18	2	6	13,60 ab	4	28
19	3	1	15,61 ab	4	25
20	3	2	16,20 ab	4	24
21	3	3	17,97 ab	4	20
22	3	4	16,98 ab	4	23
23	3	5	25,37 ab	4	11
24	3	6	20,11 ab	4	19
25	4	1	22,29 ab	4	16
26	4	2	26,75 ab	4	8
27	4	3	29,08 ab	4	5
28	4	4	23,32 ab	4	14
29	4	5	25,07 ab	4	12
30	4	6	25,42 ab	4	10
31	5	1	22,08 ab	4	17
32	5	2	26,29 ab	4	9
33	5	3	22,73 ab	4	15
34	5	4	28,83 ab	4	6
35	5	5	24,34 ab	4	13
36	5	6	29,66 ab	4	2
37	6	1	17,71 ab	4	21
38	6	2	21,32 ab	4	18
39	6	3	27,22 ab	4	7
40	6	4	29,20 ab	4	4
41	6	5	35,38 a	4	1
42	6	6	29,27 ab	4	3

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 24,29 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 23 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 39,29 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (quinta idade de corte – 170 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	9,02 de	4	34
8	1	2	11,47 bcde	4	31
9	1	3	7,02 e	4	36
10	1	4	9,69 cde	4	32
11	1	5	9,15 cde	4	33
12	1	6	14,27 abcde	4	29
13	2	1	15,72 abcde	4	28
14	2	2	16,89 abcde	4	26
15	2	3	22,95 abcde	4	12
16	2	4	8,37 de	4	35
17	2	5	13,69 abcde	4	30
18	2	6	20,24 abcde	4	19
19	3	1	20,77 abcde	4	18
20	3	2	16,83 abcde	4	27
21	3	3	22,18 abcde	4	14
22	3	4	16,91 abcde	4	25
23	3	5	27,11 abcde	4	8
24	3	6	18,41 abcde	4	22
25	4	1	17,76 abcde	4	24
26	4	2	21,49 abcde	4	16
27	4	3	32,39 ab	4	2
28	4	4	24,32 abcde	4	10
29	4	5	30,23 abcd	4	4
30	4	6	31,39 abc	4	3
31	5	1	18,53 abcde	4	21
32	5	2	17,91 abcde	4	23
33	5	3	21,92 abcde	4	15
34	5	4	29,89 abcd	4	5
35	5	5	23,98 abcde	4	11
36	5	6	22,88 abcde	4	13
37	6	1	18,61 abcde	4	20
38	6	2	24,95 abcde	4	9
39	6	3	21,33 abcde	4	17
40	6	4	35,49 a	4	1
41	6	5	28,40 abcde	4	7
42	6	6	29,86 abcd	4	6

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 22,32 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 24 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 37,79 %) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (sexta idade de corte – 203 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
7	1	1	14,54 bcd	4	32
8	1	2	19,19 abcd	4	27
9	1	3	6,93 d	4	36
10	1	4	18,35 abcd	4	28
11	1	5	9,07 cd	4	35
12	1	6	17,77 abcd	4	29
13	2	1	19,52 abcd	4	26
14	2	2	20,10 abcd	4	25
15	2	3	15,72 abcd	4	31
16	2	4	11,09 bcd	4	34
17	2	5	15,87 abcd	4	30
18	2	6	13,76 bcd	4	33
19	3	1	21,43 abcd	4	22
20	3	2	21,18 abcd	4	23
21	3	3	26,78 abcd	4	14
22	3	4	21,04 abcd	4	24
23	3	5	25,09 abcd	4	18
24	3	6	26,29 abcd	4	16
25	4	1	23,84 abcd	4	21
26	4	2	34,08 abc	4	4
27	4	3	35,54 ab	4	3
28	4	4	32,97 abc	4	5
29	4	5	30,41 abcd	4	9
30	4	6	27,84 abcd	4	13
31	5	1	24,82 abcd	4	19
32	5	2	27,97 abcd	4	12
33	5	3	24,06 abcd	4	20
34	5	4	32,55 abc	4	6
35	5	5	40,49 a	4	1
36	5	6	29,42 abcd	4	10
37	6	1	26,59 abcd	4	15
38	6	2	25,96 abcd	4	17
39	6	3	30,59 abcd	4	8
40	6	4	28,76 abcd	4	11
41	6	5	35,64 ab	4	2
42	6	6	31,52 abcd	4	7

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 25,42 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 25 - Valores médios de produtividade (Coeficiente de Variação: 43,33%) de biomassa seca (BMS, Mg.ha⁻¹) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água (L) (precipitação e irrigação) e dose de nitrogênio (N) (sétima idade de corte – 231 dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições) (Rk: *ranking*)

T	L	N	BMS ¹	Nr	Rk
1	1	1	2,19 de	4	40
2	1	2	2,17 de	4	41
3	1	3	2,66 cde	4	39
4	1	4	1,97 e	4	42
5	1	5	2,91 cde	4	37
6	1	6	2,68 cde	4	38
7	1	1	22,90 abcde	4	32
8	1	2	24,89 abcde	4	30
9	1	3	12,16 bcde	4	34
10	1	4	29,73 abcde	4	21
11	1	5	10,76 bcde	4	35
12	1	6	23,75 abcde	4	31
13	2	1	27,28 abcde	4	24
14	2	2	26,69 abcde	4	28
15	2	3	26,68 abcde	4	29
16	2	4	10,42 bcde	4	36
17	2	5	20,82 abcde	4	33
18	2	6	26,70 abcde	4	27
19	3	1	29,86 abcde	4	20
20	3	2	26,84 abcde	4	26
21	3	3	28,17 abcde	4	22
22	3	4	28,13 abcde	4	23
23	3	5	40,75 ab	4	11
24	3	6	37,43 abcd	4	16
25	4	1	36,67 abcde	4	17
26	4	2	43,75 ab	4	6
27	4	3	52,00 a	4	1
28	4	4	49,52 a	4	3
29	4	5	36,27 abcde	4	18
30	4	6	41,77 ab	4	8
31	5	1	33,71 abcde	4	19
32	5	2	40,02 ab	4	12
33	5	3	27,20 abcde	4	25
34	5	4	45,61 ab	4	4
35	5	5	42,86 ab	4	7
36	5	6	49,85 a	4	2
37	6	1	38,02 abc	4	14
38	6	2	38,32 ab	4	13
39	6	3	37,88 abc	4	15
40	6	4	41,00 ab	4	9
41	6	5	44,69 ab	4	5
42	6	6	40,76 ab	4	10

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Diferença mínima significativa: 35,38 Mg.ha⁻¹ de BMS.

Tabela 26 - Valores referentes ao *ranking* e classificação (CI) obtidos em cada tratamento e totais (Tt) nas sete avaliações referentes à produtividade de biomassa seca de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água e dose de nitrogênio

Idade de corte									
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆	Id ₇		
Número de dias após o corte de equalização									
T	46	82	112	139	170	203	231	Tt	CI
1	-	-	-	-	-	-	40	280	40
2	-	-	-	-	-	-	41	287	41
3	-	-	-	-	-	-	39	273	39
4	-	-	-	-	-	-	42	294	42
5	-	-	-	-	-	-	37	259	37
6	-	-	-	-	-	-	38	266	38
7	36	35	35	34	34	32	32	238	34
8	23	33	26	22	31	27	30	192	28
9	35	36	34	36	36	36	34	247	36
10	33	31	28	29	32	28	21	202	30
11	34	34	36	35	33	35	35	242	35
12	30	29	31	32	29	29	31	211	31
13	31	18	27	26	28	26	24	180	25
14	32	24	30	31	26	25	28	196	29
15	25	26	16	27	12	31	29	166	23
16	20	32	32	33	35	34	36	222	33
17	29	30	33	30	30	30	33	215	32
18	27	27	29	28	19	33	27	190	27
19	17	16	13	25	18	22	20	131	20
20	28	28	24	24	27	23	26	180	25
21	24	19	22	20	14	14	22	135	21
22	22	25	25	23	25	24	23	167	24
23	18	15	10	11	8	18	11	91	13
24	11	21	18	19	22	16	16	123	19
25	19	23	21	16	24	21	17	141	22
26	16	12	5	8	16	4	6	67	10
27	15	10	23	5	2	3	1	59	9
28	26	22	14	14	10	5	3	94	15
29	21	14	11	12	4	9	18	89	12
30	2	6	15	10	3	13	8	57	7
31	13	17	8	17	21	19	19	114	17
32	8	8	7	9	23	12	12	79	11
33	14	13	6	15	15	20	25	108	16
34	4	7	3	6	5	6	4	35	1
35	9	5	12	13	11	1	7	58	8
36	5	3	2	2	13	10	2	37	2
37	10	20	20	21	20	15	14	120	18
38	6	9	19	18	9	17	13	91	13
39	1	2	4	7	17	8	15	54	6
40	7	11	1	4	1	11	9	44	4
41	12	1	17	1	7	2	5	45	5
42	3	4	9	3	6	7	10	42	3

Figura 64 - *Ranking* obtido em cada tratamento (Tt, valor total resultante da soma dos *ranking* obtidos nas sete avaliações) de acordo com a produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante em função dos diferentes tratamentos (T) de lâmina de água e dose de nitrogênio (no caso dos tratamentos 1 a 7, os valores foram multiplicados por 7)

4.6.3 Caracterização (superfície de resposta) do acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina de água e dose de nitrogênio fixando a última idade de corte

Por meio da Figura 65 pode-se observar a caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de capim-elefante em função da lâmina de água (L, mm) e da dose de nitrogênio (N, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), aos 231 dias de idade após o corte de equalização (Id₇).

Figura 65 - Valores observados utilizados para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha^{-1}) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e da dose de nitrogênio (N, kg.ha^{-1} de nitrogênio) (idade de corte 7)

Pelo Teste F, pode-se afirmar que o modelo de caracterização da produtividade de biomassa seca de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água e dose de nitrogênio pode ser utilizado ao nível de significância inferior a 0,01% (Tabela 27). Na Tabela 28 constam os valores (estimativas) dos parâmetros empíricos do modelo de caracterização utilizado.

Tabela 27 – Análise da variância referente ao modelo utilizado para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e dose de nitrogênio (N, kg.ha⁻¹ de nitrogênio). CV: Causa da variação. GL: Graus de liberdade. SQ: Soma dos quadrados. QM: Quadrado médio. F: Valor F. α : Nível de significância

CV	GL	SQ	QM	F	α
Modelo de caracterização (equação 9)					
Modelo	4	2,844.10 ¹⁰	7,1109.10 ⁹	300,51	< 0,0001
Erro	259	6,1286.10 ⁹	23662391		
Total	263	3,457.10 ¹⁰			
Modelo linear (equação do plano)					
Modelo	2	2,761.10 ¹⁰	1,38.10 ¹⁰	571,50	< 0,0001
Erro	261	6,9624.10 ⁹	26675934		
Total	263	3,457.10 ¹⁰			

Em média, com base no ajuste do plano que melhor se adapta aos valores observados de acúmulo de biomassa seca de capim-elefante em função da lâmina total de água (irrigação e precipitação), fixando o tempo (idade de corte Id₇) e doses de nitrogênio, observou-se que: (i) há uma produção de 1,7 kg de BMS de capim-elefante para cada 1 m³ de água (irrigação e precipitação), ou 17,0 kg de BMS por mm aplicado, ou seja, há um consumo médio de 586 L de água por kg de biomassa seca de capim-elefante produzido e (ii) há uma produção de 5,5 kg de biomassa seca de capim-elefante para cada 1 kg de nitrogênio aplicado (Tabela 28).

Tabela 28 - Estimativa, erro padrão e intervalo de confiança (nível de significância de 95%) dos parâmetros empíricos do modelo utilizado para caracterização da produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (superfície de resposta) em função da lâmina de água (L, mm) e dose de nitrogênio (N, kg.ha⁻¹ de nitrogênio)

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)	
			Limite inferior	Limite superior
Modelo de caracterização (equação 12)				
δ_0	-4131,5	1935,1	-7942,0	-321,1
δ_1	389,6	197,8	0,1854	779,1
δ_2	0,6059	0,0623	0,4833	0,7285
δ_3	0,0331	0,1748	-0,3111	0,3773
δ_4	1,7290	0,7642	0,2240	3,2339
Modelo linear (equação do plano)				
δ_0	2218,7	645,5	929,8	3507,5
δ_1	17,0617	0,5630	15,9532	18,1702
δ_2	1	-	-	-
δ_3	5,5014	1,0682	3,3979	7,6048
δ_4	1	-	0,2240	-

4.7 Caracterização fitotécnica de capim-elefante

4.7.1 Altura de capim-elefante

4.7.1.1 Altura de capim-elefante em função da lâmina de água e da idade de corte

Em relação à altura, o capim-elefante respondeu ao aumento de lâminas de água (irrigação e precipitação) aplicadas em todos os tratamentos e em todas as idades de corte (Id).

A resposta de capim-elefante foi crescente em relação às lâminas de água aplicadas e em relação às idades de corte. O maior valor médio de altura foi de 3,96 m, obtido no tratamento L₆ aos 202 dias de idade (Id₆) (Tabela 29). Em função do acamamento de capim-elefante não foi possível avaliar a altura no último período, aos 231 dias de idade (Id₇).

Tabela 29 - Valores médios de altura (m) de capim-elefante em função de lâmina de água (irrigação e precipitação) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)

L	Altura ¹					
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆
1	0,96 c	1,29 c	1,51 c	1,81 c	2,10 b	2,16 c
2	1,05 c	1,49 c	1,76 c	2,09 c	2,35 b	2,66 c
3	1,21 b	1,81 b	2,19 b	2,78 b	3,16 a	3,32 b
4	1,38 a	2,12 a	2,62 a	3,09 ab	3,34 a	3,86 a
5	1,46 a	2,34 a	2,90 a	3,40 a	3,60 a	3,94 a
6	1,48 a	2,38 a	2,94 a	3,45 a	3,61 a	3,96 a
CV ²	14,78	18,12	21,58	22,40	20,30	20,91
DMS ³	0,16	0,29	0,42	0,52	0,51	0,58

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%). ³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

Pelas Figuras 66 e 67 podem-se observar, respectivamente, as curvas de altura de capim-elefante em função dos tratamentos de lâmina de água (precipitação e irrigação) e da idade de corte. Observa-se claramente a resposta de capim-elefante aos tratamentos, porém, com tendência de estabilização da altura nas lâminas mais altas e o rápido e constante crescimento. Após a última avaliação o capim-elefante acamou por completo, inviabilizando qualquer tipo de medição de altura posterior.

Figura 66 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de lâminas de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 67 – Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da lâmina de água (precipitação e irrigação - L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc) e da idade de corte (Id_1 : 46; Id_2 : 82; Id_3 : 112; Id_4 : 139; Id_5 : 169; Id_6 : 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.1.2 Altura de capim-elefante em função da dose de nitrogênio e da idade de corte

Em termos de altura, para cada idade de corte avaliada, o capim-elefante não respondeu ao aumento das doses de nitrogênio nas idades de corte avaliadas. A análise de variância (Tukey, $p=0,05$) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 30).

Tabela 30 - Valores médios de altura (m) de capim-elefante em função de doses de nitrogênio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N) e das idades de corte (Id, número de dias após o corte de equalização). (Nr: número de repetições = 24)

N	Altura ¹					
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆
1	1,29 a	1,99 a	2,39 a	2,84 a	3,16 a	3,48 a
2	1,27 a	1,97 a	2,38 a	2,89 a	3,08 a	3,44 a
3	1,25 a	1,92 a	2,37 a	2,79 a	3,05 a	3,16 a
4	1,25 a	1,82 a	2,13 a	2,62 a	2,85 a	3,27 a
5	1,22 a	1,84 a	2,28 a	2,64 a	2,89 a	3,13 a
6	1,27 a	1,90 a	2,36 a	2,82 a	3,13 a	3,43 a
CV ²	14,80	19,00	23,24	23,79	21,71	21,82
DMS ³	0,16	0,30	0,45	0,55	0,55	0,61

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%). ³ Diferença mínima significativa ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de biomassa seca - BMS).

Em termos de altura, para cada dose de nitrogênio avaliada, o capim-elefante respondeu linearmente com as idades de corte avaliadas (Figura 68), demonstrando crescimento em função do tempo, porém sem diferença significativa entre os tratamentos de dose de nitrogênio.

Figura 68 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 Kg.ha⁻¹ de N). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 69 - Altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio (N_1 : 44, N_2 : 200, N_3 : 400, N_4 : 600, N_5 : 800 e N_6 : 1000 $Kg.ha^{-1}$ de N) e da idade de corte (Id_1 : 46; Id_2 : 82; Id_3 : 112; Id_4 : 139; Id_5 : 169; Id_6 : 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.1.3 Relação entre produtividade de biomassa seca e altura de capim-elefante

Os 36 tratamentos realizados, as curvas de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante em função da altura (h, m) de planta, fixando a idade podem ser visualizados por meio da Figura 70. Para tal, foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$BMS = \alpha_4 \cdot h^{\beta_4} \quad (13)$$

em que α_4 (kg.ha⁻¹.m^{- β_4}) e β_4 (adimensional) se referem aos parâmetros empíricos do modelo.

A relação entre biomassa seca de capim-elefante e altura é importante por permitir a estimativa de produção por meio de um processo mais simples e prático. Por meio dos coeficientes de determinação (R^2), obtidos nas análises de regressão (Tabela 31) e do P-Valor calculado pela análise de variância da regressão (ANOVA), pode-se inferir que houve correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS) e altura de capim-elefante, sendo, portanto, recomendado utilizar a altura como variável na estimativa da BMS.

Tabela 31 - Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) em função da altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) em seis idades de corte

Coeficiente	BMS x Altura					
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆
R^2	0.6504	0.8307	0.7593	0.8210	0.7370	0.8142
P-Valor ¹	2.89E-09	1.14E-14	4.72E-12	2.96E-14	2.16E-11	5.62E-14

¹ Valores de P-Valor inferior a 0,05 indicam correlação entre as variáveis

Figura 70 - Produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da altura (m) para seis idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.2 Índice de área foliar de capim-elefante

4.7.2.1 Índice de área foliar de capim-elefante em função da lâmina de água e idade de corte

Em relação ao índice de área foliar o capim-elefante respondeu ao aumento da lâmina de água em todas as idades avaliadas, sendo os maiores valores médios (calculados a partir

dos 6 valores referentes aos tratamentos de doses de nitrogênio) obtidos nos tratamentos L₄ (135% ETc) e L₆ (200% ETc), sendo: 9,22 e 9,34 m².m⁻² aos 139 dias, respectivamente (Figura 70). Os valores absolutos de IAF dos tratamentos de lâmina de água, na mesma idade de corte, apresentaram variação de até 53,67% (Id₄), (Tabela 32). Porém, em função do acamamento de capim-elefante e do sombreamento das folhas mais velhas, a partir da idade de 169 dias (Id₅), houve redução do IAF em todos os tratamentos. Após o acamamento houve recuperação do IAF, principalmente no tratamento L₄. Nos tratamentos L₅ e L₆ provavelmente o excesso de água prejudicou a recuperação de capim-elefante (Figura 71).

Os índices de área foliar obtidos, entre 2,42 e 9,34 m².m⁻² (média entre os tratamentos) são compatíveis com os valores apresentados por Andrade et al. (2005) e por Veiga (1994), quando avaliaram o capim-elefante sob pastejo em diferentes idades e doses de nitrogênio.

Tabela 32 - Valores médios de índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de capim-elefante em função de lâmina de água (irrigação e precipitação) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)

L	IAF ¹						
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆	Id ₇
1	2,73 b	3,01 d	3,50 b	5,89 a	2,42 d	3,02 b	3,95 c
2	3,00 b	4,57 cd	3,83 b	6,51 a	4,17 bc	3,19 b	5,56 bc
3	3,44 b	5,17 bc	5,84 ab	8,57 a	4,90 ab	4,72 ab	7,58 ab
4	3,50 b	6,57 abc	5,96 ab	9,22 a	5,65 a	6,56 a	7,70 a
5	5,01 a	7,05 ab	7,45 a	8,20 a	4,35 cd	5,56 a	5,11 c
6	4,69 a	8,14 a	8,07 a	9,34 a	4,6 abc	5,51 a	5,70 abc
CV ²	36,63	42,02	49,79	53,67	34,92	47,12	41,61
DMS ³	1,14	2,02	3,37	3,58	1,23	1,88	2,07

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

Figura 71 - Índice de área foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de lâminas de água (precipitação e irrigação - L₁: 40%, L₂: 54%, L₃: 100%, L₄: 135%, L₅: 148% e L₆: 200% da ETc). Fazenda Vitória, Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 72 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de lâminas de água (precipitação e irrigação - L_1 : 40%, L_2 : 54%, L_3 : 100%, L_4 : 135%, L_5 : 148% e L_6 : 200% da ETc) e da idade de corte (Id_1 : 46; Id_2 : 82; Id_3 : 112; Id_4 : 139; Id_5 : 169; Id_6 : 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.2.2 Índice de área foliar de capim-elefante em função da dose de nitrogênio e da idade de corte

Em relação ao índice de área foliar (IAF), o capim-elefante não respondeu ao aumento de doses de nitrogênio aplicadas nos tratamentos até a idade de 112 dias (Id₃) após o corte de equalização. Porém, em função do acamamento de capim-elefante e do sombreamento das folhas mais velhas, a partir da idade de 139 dias (Id₄), houve redução do IAF em todos os tratamentos. Após o acamamento houve recuperação do IAF em todos os tratamentos, principalmente no tratamento N₆.

Tabela 33 - Valores médios de índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de capim-elefante em função de doses de nitrogênio (kg.ha⁻¹ de N) e dos períodos (Pd, dias) em função da idade de corte (Id, dias) após equalização. (Nr: número de repetições = 24)

N	IAF ¹						
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆	Id ₇
1	3,34 a	4,68 b	5,21 a	4,73 b	2,99 c	3,77 a	4,16 b
2	3,25 a	5,72 ab	5,51 a	7,32 ab	3,77 bc	5,14 a	5,92 b
3	3,95 a	5,99 ab	6,05 a	7,91 ab	4,27 ab	4,72 a	5,70 b
4	3,84 a	5,36 ab	7,03 a	8,33 a	4,45 ab	4,64 a	5,99 b
5	3,65 a	5,84 ab	4,61 a	9,44 a	4,69 ab	5,43 a	5,67 b
6	4,36 a	6,91 a	6,25 a	10,10 a	5,05 a	4,85 a	8,16 a
CV ²	37,72	41,96	74,21	51,76	35,53	46,74	41,87
DMS ³	1,18	2,02	3,59	3,45	1,25	1,87	2,07

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

² Coeficiente de variação (%).

³ Diferença mínima significativa (kg.ha⁻¹ de biomassa seca - BMS).

Figura 73 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função de doses de nitrogênio - N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ de N e da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e. Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

Figura 74 - Índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da idade de corte (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização) e de doses de nitrogênio (N₁: 44, N₂: 200, N₃: 400, N₄: 600, N₅: 800 e N₆: 1000 Kg.ha⁻¹ de N). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.2.3 Relação entre produtividade de biomassa seca e índice de área foliar de capim-elefante

A Figura 75 apresenta, para 36 tratamentos realizados em 6 diferentes idades de corte, as curvas de acúmulo de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante em função do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de planta, fixando a idade.

Para o cálculo da biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante em função do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²), foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$BMS = \alpha_5 \cdot IAF^{\beta_5} \quad (14)$$

em que α_5 (kg.ha⁻¹.(m².m⁻²)^{- β_5}) e β_5 (adimensional) se referem aos parâmetros empíricos do modelo.

A relação entre biomassa seca de capim-elefante e índice de área foliar é importante por permitir a estimativa de produção por meio de um processo mais simples e prático. Por meio dos coeficientes de determinação (R^2), obtidos nas análises de regressão (Tabela 34) e do P-Valor calculado pela análise de variância da regressão (ANOVA), pode-se inferir que houve correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS) e o IAF de capim-elefante, sendo, portanto, recomendado utilizar o IAF como variável na estimativa da BMS, principalmente até 112 dias de idade (Id₃), onde a correlação é mais forte.

Tabela 34 - Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre a produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) em função do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) em sete idades de corte

Coeficiente	BMS x IAF						
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆	Id ₇
R^2	0.8121	0.8954	0.8047	0.4804	0.4743	0.6399	0.5770
P-Valor ¹	6.80E-14	3.05E-18	1.31E-13	2.79E-06	3.43E-06	4.80E-09	7.80E-08

¹ Valores de P-Valor inferior a 0,05 indicam correlação entre as variáveis

Figura 75 - Produtividade de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) para sete idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202; e Id₇: 231 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.7.3 Relação entre índice de área foliar e altura de capim-elefante

A Figura 76 apresenta, para 36 tratamentos realizados, as curvas de índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante em função da altura (h, m) de planta, fixando a idade. Para tal, foi utilizado o seguinte modelo de caracterização:

$$\text{IAF} = \alpha_6.h^{\beta_6} \quad (15)$$

em que α_6 ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}.\text{(m)}^{-\beta_6}$) e β_6 (adimensional) se referem aos parâmetros empíricos do modelo.

A relação entre índice de área foliar e altura de plantas de capim-elefante é importante por permitir estimar a produção por meio de um processo mais simples e prático, que por sua vez é fundamental no planejamento de uma indústria termoelétrica. Por meio dos coeficientes de determinação (R^2), obtidos nas análises de regressão (Tabela 35) e do P-Valor calculado pela análise de variância da regressão (ANOVA), pode-se inferir que houve correlação entre o IAF e a altura de capim-elefante, sendo, portanto, recomendado utilizar o IAF como variável na estimativa da Altura e, conseqüentemente, na produtividade de capim-elefante nas idades de corte avaliadas.

Tabela 35 - Valores dos coeficientes de determinação R^2 da regressão e P-Valor calculado para a correlação entre o índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em função da altura (m) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) em seis idades de corte

Coeficiente	IAF x Altura					
	Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄	Id ₅	Id ₆
R^2	0.4495	0.6471	0.5843	0.3030	0.1782	0.4938
P-Valor ¹	7.68E-06	3.40E-10	5.76E-08	0,005	0,0103	1.77E-06

¹ Valores de P-Valor inferior a 0,05 indicam correlação entre as variáveis

Figura 76 - Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, cv. Cameroon) em função da altura (m) para seis idades de colheita (Id₁: 46; Id₂: 82; Id₃: 112; Id₄: 139; Id₅: 169; Id₆: 202 dias após o corte de equalização). Fazenda Vitória. Beberibe (CE). Safra 2012/2013

4.8 Considerações finais

4.8.1 Considerações gerais

Vários trabalhos ilustram que a absorção de nitrogênio é influenciada positivamente pela quantidade de potássio presente no solo. Portanto, seria interessante avaliar o efeito do potássio na absorção de nitrogênio e, conseqüentemente, na produtividade de biomassa seca de capim-elefante nas condições do experimento;

A adubação nitrogenada foi dividida em quatro aplicações, sendo a primeira no plantio e as outras três aplicações a cada 30 dias, sucessivamente. Dessa forma, apenas a partir da idade de corte Id_4 (139 dias após o corte de equalização) foi possível avaliar o efeito dos tratamentos com a dose completa. Como o solo é extremamente arenoso (92% de areia) e com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), o parcelamento da aplicação da adubação nitrogenada deveria ter sido realizado em quantidade igual ao número de tratamentos de idade de corte (Id_i)

O sistema de irrigação apresentou problemas de fabricação na tubulação de PVC soldável de 150 mm utilizada como adutora do sistema de irrigação. Foram sucessivos vazamentos causados por um defeito de fabricação na bolsa de união dos tubos, permitindo irrigar as mudas de capim elefante do experimento apenas 15 dias após o plantio. Esse atraso, associado ao ambiente seco, foi suficiente para causar falha de estande. Portanto, é de suma importância instalar, testar e comissionar o sistema de irrigação previamente ao plantio para não correr esse tipo de problema.

4.8.2 Nitrogênio

Foi considerado neste trabalho o nitrogênio total aplicado, como a maioria dos trabalhos o faz, desconsiderando as perdas do sistema em função da forma de aplicação (área total ou localizada e superfície ou incorporada) e fonte (fertilizante), como imobilização microbiológica, lixiviação, volatilização e denitrificação, principalmente. Para tal, seria necessário trabalhar com nitrogênio marcado e não havia recursos nem prazo suficientes.

4.8.3 Coeficiente de cultura

Foi adotado o K_c máximo de 1,54 para o experimento conforme apresentado por Allen et al. (1998): (i) condições semiáridas, (ii) plantas com altura superior a 3 m, (iii) índice de área foliar acima de $3 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, e (iv) solo arenoso por melhor representar as condições locais do experimento. Entretanto, é sabido que o K_c possui diferentes valores na literatura, pois

depende de uma grande quantidade de variáveis, como: população de planta, genótipo, arquitetura de planta, pragas e doenças. O ideal seria ter implantado um experimento prévio para determinar o K_c para as condições do experimento, por meio da instalação de lisímetros ou de outro mecanismo para monitoramento e mensuração das perdas e entradas de água no sistema o que não foi possível, devido, principalmente às dificuldades de mão de obra local, de verba e de prazo.

4.8.4 Lâmina de água (irrigação e precipitação) e água disponível no solo

Para análise dos efeitos da irrigação, foi considerada a precipitação do sistema de irrigação (*line source*) por não haver no local do experimento estrutura suficiente para a avaliação da umidade no perfil do solo em todos os tratamentos com a periodicidade necessária. Porém, com vistas em minimizar os impactos, os valores de precipitação foram determinados por meio de ensaio em campo, com aspersores instalados a 1,0 m e coletores a 0,5 m de altura. Portanto, as perdas entre o aspersor e o solo (evaporação e deriva) já estão consideradas, ou seja, a eficiência, em potencial, de aplicação. Também não foi observado, em nenhum tratamento, escoamento superficial. Para minimizar os impactos da percolação, foi adotado frequência de irrigação diária. Obviamente, havendo condições para instalação e leitura de tensiômetros ou de sondas eletromagnéticas, ou de algum outro mecanismo de monitoramento da umidade do solo, teria sido de grande utilidade para o experimento.

5 CONCLUSÕES

Em função do que foi observado e discutido, para as condições do experimento, pode-se concluir que: (i) biomassa seca versus tempo: (a) a produção de biomassa seca de capim-elefante respondeu ao aumento da adubação nitrogenada e das lâminas de irrigação nas 7 idades de corte avaliadas; (b) a maior resposta, em acúmulo de biomassa seca ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) de capim-elefante, ocorreu no tratamento (L_4 : 135% da ETc); N_3 (400 kg.ha^{-1} de N) com $239,85 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$; e (c) a idade de corte avaliada, 231 dias (Id_7) não foi suficiente para promover o decréscimo do acúmulo de BMS, e caracterizar o final do ciclo do capim-elefante; (ii) biomassa seca versus nitrogênio: (a) a produção de biomassa seca de capim-elefante não respondeu ao aumento da adubação nitrogenada isoladamente em seis idades de corte (Id_2 , Id_3 , Id_4 , Id_5 , Id_6 e Id_7); (b) houve resposta ao aumento da adubação nitrogenada isoladamente na idade de corte Id_1 (46 dias) entre as doses N_1 (44 kg.ha^{-1} de N) e N_6 (1000 kg.ha^{-1} de N), com 3.780 e 5005 kg.ha^{-1} de BMS, respectivamente; e (c) a maior resposta, em acúmulo de biomassa seca ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) de capim-elefante, ocorreu no tratamento N_5 (800 kg.ha^{-1} de N) aos 231 dias (Id_7) com $15,383 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ de N; (iii) biomassa seca versus lâmina de água: (a) a produção de capim-elefante respondeu ao aumento das lâminas de irrigação em todas as idades de corte analisados; (b) a maior resposta, em acúmulo de BMS ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) de capim-elefante, ocorreu no tratamento (L_3 100% da ETc); aos 82 dias (Id_2) com $43,456 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$; (c) as produtividades obtidas nos tratamentos L_4 (135% ETc), L_5 (154% ETc) e L_6 (200% ETc) nas idades de corte Id_2 (82 dias), Id_3 (112 dias), Id_4 (139 dias), Id_5 (169 dias), Id_6 (202 dias) e Id_7 (231 dias) foram as maiores e não diferiram significativamente, (iv) superfície de resposta: (a) as maiores respostas, em produtividade de biomassa seca de capim-elefante, por idade, foram: Id_1 (46 dias) com 7.319 kg.ha^{-1} , tratamento 39 (L_6 : 200% da ETc; N_3 : 400 kg.ha^{-1} de N); Id_2 (82 dias) com $18.810 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 41 (L_6 : 200% da ETc; N_5 : 800 kg.ha^{-1} de N); Id_3 (112 dias) com $27.248 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 40 (L_6 : 200% da ETc; N_4 : 600 kg.ha^{-1} de N); Id_4 (139 dias) com $35.378 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 41 (L_6 : 200% da ETc; N_5 : 800 kg.ha^{-1} de N); Id_5 (169 dias) com $35.490 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 40 (L_6 : 200% da ETc; N_4 : 600 kg.ha^{-1} de N) Id_6 (202 dias) com $40.990 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 35 (L_5 : 154% da ETc; N_5 : 800 kg.ha^{-1} de N) e Id_7 (231 dias) com $52.001 \text{ kg.ha}^{-1}$, tratamento 27 (L_4 : 135% da ETc; N_3 : 400 kg.ha^{-1} de N); (v) altura versus lâmina: (a) o capim-elefante respondeu, em termos de altura, às lâminas de água em todas as idades de corte avaliadas; (b) as alturas obtidas nos tratamentos L_4 (135% ETc), L_5 (154% ETc) e L_6 (200% ETc) em todas as idades de corte foram as maiores e não diferiram significativamente; e (c)

os maiores valores de altura foram obtidos no tratamento L₆ (200% da ETc): Id₁ 1,48 m; Id₂ 2,38 m; Id₃ 2,94 m; Id₄ 3,45 m; Id₅ 3,61 m; Id₆ 3,96 m; (vi) altura versus nitrogênio: (a) o capim-elefante não respondeu, em termos de altura, às lâminas de água em todas as idades de corte avaliadas; e (b) os maiores valores de altura foram obtidos no tratamento L₆ (200% da ETc): Id₁ 1,27 m; Id₂ 1,90 m; Id₃ 2,36 m; Id₄ 2,82 m; Id₅ 3,13 m; Id₆ 3,43 m; (vii) índice de área foliar (IAF) versus lâmina: (a) o capim-elefante respondeu, em termos de IAF, às lâminas de água em todas as idades de corte avaliadas; e (b) os maiores valores de IAF foram obtidos nos tratamentos Id₁, L₅ com 5,01; Id₂, L₆ com 8,14; Id₃, L₆ com 8,07; Id₄, L₆ com 9,34 Id₅, L₄ com 5,67; Id₆, L₄ com 6,56 e Id₇, L₄ com 7,70 m².m⁻²; (viii) índice de área foliar (IAF) versus nitrogênio: (a) o capim-elefante não respondeu, em termos de IAF, às lâminas de água em todas as idades de corte avaliadas; e (b) os maiores valores de IAF foram obtidos nos tratamentos Id₁, L₆ com 4,36; Id₂, L₆ com 6,91; Id₃, L₄ com 7,03; Id₄, L₆ com 10,10 Id₅, L₆ com 5,05; Id₆, L₅ com 5,43 e Id₇, L₄ com 8,16 m².m⁻²; (ix) biomassa seca (BMS) versus altura: a altura é uma variável viável para estimativa de produtividade de BMS do capim-elefante até 231 dias de idade (Id₇); (x) biomassa seca (BMS) versus índice de área foliar (IAF): o IAF é uma variável viável para estimativa de produtividade de BMS do capim-elefante até 112 dias de idade (Id₃); (xi) altura versus índice de área foliar (IAF): houve correlação entre o IAF e a altura de capim-elefante, sendo, portanto, recomendado utilizar o IAF como variável na estimativa da Altura.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras**: gramíneas e leguminosas. São Paulo: Nobel, 1983. 150 p.
- ALCÂNTARA, P.B.; ALCÂNTARA, V.B.G.; ALMEIDA, J.E. Estudo de vinte e cinco prováveis variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, n. 2, p. 279-302, jul./dez. 1980.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 326 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, O.A. Entupimento de emissores em irrigação localizada. Cruz das Almas: Embrapa, 2009. 61 p. (Documentos, 182).
- ALMEIDA, E.P.C.; ZARONI, M.J.; SANTOS, H.G. **Neossolo quartzarênicos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqarta66.html> Acesso em: 15 fev. 2014.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; LOPES, R.S.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; CECON, P.R.; QUEIROZ, D.S.; PEREIRA, D.H.; REIS, S.T. Análise de crescimento de capim-elefante 'Napier' adubado e irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 415-423, mar./abr. 2005.
- ANDRADE, J.B.; FERRARI JÚNIOR, E.; BEISMAN, D.A.; WERNER, J.C.; GHISI, M.A.A.; LEITE, V.B.O. Avaliação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) visando o carvoejamento. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100029&lng=en&nrm=abn> Acesso em: 6 mai. 2014.
- ATLAS OF FLORIDA VASCULAR PLANTS. *Pennisetum purpureum*. Disponível em: <<http://florida.plantatlas.usf.edu/Plant.aspx?id=1426>> Acesso em: 15 jan. 2014.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.
- BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence: ÉDISUD, 1985. 180 p.
- CANDIDO, M.J.D. **Métodos para medição da estrutura do pasto**. Viçosa: UFV, 2002. 20 p.
- COWIE, A.L.; GARDNER, D.W. Competition for the biomass resource: greenhouse impacts and implications for renewable energy incentive schemes. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, n. 1, p. 601-607, 2007.
- DANALATOS, N.G.; ARCHONTOULIS F.G.; MITSIOS, I. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, p. 145-152, 2007.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, Amsterdam, v. 30, p. 219-230, 2004.

DERESZ, F. **Utilização de capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne**. Juiz de Fora: Embrapa, 1999. 29 p. (Circular Técnica, 54).

EXXONMOBIL. **Panorama energético: perspectivas para 2040**. 2012. Disponível em: <http://exxonmobil.com.br/Brazil-Portuguese/PA/Files/Panorama_Energetico_Perspectivas2040.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2014.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; MORAIS, R.V.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CASAGRANDE, D.R.; COSTA, L.T. Características morfológicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 21-29, 2006.

FAO. **Yearbook of forest products: 1978-1993**. Rome, 1993. <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

_____. Disponível em <<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/Pf000301.HTM>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

FIKE, J.H.; PARRISH, D.J.; WOLF, D.D.; BALASKO, J.A.; GREEN, J.T. Long-term yield potential of switchgrass for biofuel systems. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 30 p. 198-206, 2006.

FLORES, R.A. **Produção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado: resposta a adubação nitrogenada e idade de corte**. 2009. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Riverside, v. 40, p. 426-429. 1976

HANKS, R.J.; SISSON, D.V.; HURST, R.L.; HUBBARD, K.G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Riverside, v. 44, p. 886-888. 1980.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Key world energy statistics**. 2011.

Disponível em:

<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,31287,en.html>>.

Acesso em: 12 abr.2014.

JACQUES, A.V.A. Caracteres morfo-fisiológicos e suas aplicações como manejo. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; CARVALHO, L.A. (Ed.). **Capim-elefante: produção e utilização**. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1994. p. 31-47.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1989. (Comunicação Técnica, 1797). 6 p.

KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEINA, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use: a review of the physiological basis and management influences. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 24, n. 6, p. 411-427. 2003.

KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBERSTEINER, M. Negative emissions from BioEnergy use, carbon capture and sequestration (BECS) - the case of biomass production by sustainable forest management from semi- natural temperate forests. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 24, p. 285-296, 2003.

LEMUS, R.; BRUMMER, E.C.; MOORE, K.J.; MOLSTAD, N.E.; BURRAS, C.L.; BARKER, M.F. Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 23, p. 433-442, 2002.

LIEBIG, M.A.; JOHNSON, J.D.; HANSON, J.D.; FRANK, A.B. Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 28, p. 347-354, Nov. 2005.

LIMA, F.M. **Desempenho agrônomo e valor nutritivo da capim-elefante submetido à diferentes doses de nitrogênio no solo**. 2010. 23 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.

LOPES, B.A. **O capim-elefante**. Viçosa: UFV, 2004. 56 p.

LOPES, E.A. **Produção de matéria seca do capim Cameroon Parnaíba - Piauí**. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=256>>. Acesso em: 19 maio 2012.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

MA, Z.; WOOD, C.W.; BRANSBY, D.I. Carbon dynamics subsequent to establishment of switchgrass. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 18, p. 93-104, Sept. 2000.

MAGALHÃES, J.A.; LOPES, E.A.; RODRIGUES, B.H.N.; COSTA, N.L.; BARROS, N.N.; MATTEI, D.A. Influência da adubação nitrogenada e da idade de corte sobre o rendimento forrageiro de capim-elefante. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 91-96, 2006.

MAZZARELLA, V. **Capim-elefante: capim-elefante produz energia**. Instituto de pesquisas tecnológicas. 2010. Disponível em: <<http://www.ipt.br>>. Acesso em: 15 out. 2012.

McKENDRY, P. Energy production from biomass (part. 1): overview of biomass.

Bioresource Technology, Amsterdam, v. 83, p. 37-46, July 2002.

MISTURA, C.; FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MOREIRA, L.M.; VITOR, C.M.T.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Disponibilidade e qualidade de capim-elefante com e sem irrigação adubado com nitrogênio e potássio na estação seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 372-379, 2006.

MONTI, A.; FAZIO, S.; LYCHNARASB, P.; SOLDATOS, P.; VENTURIA, G. A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, p. 177-185. 2007.

MORAIS, R.F.; SOUZA, B.J.; LEITE, J.M.; SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 133-140, Fev. 2009a.

MORAIS, R.F.; ZANETTI, J.B.; PACHECO, B.M.; JANTÁLIA, C.P.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Produção e qualidade da biomassa de diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 1103-1107, 2009b.

MOTA, V.J.G. **Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* shum.), cv. Pioneiro, no norte de Minas Gerais**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade de Montes Claros, Montes Claros, 2008.

OLIVEIRA FILHO, J.C.; OLIVEIRA, E.M.; OLIVEIRA, R.A.; CECON, P.R.; OLIVEIRA, R.M.; CÔSER, A.C. Irrigação e diferentes doses de nitrogênio e potássio na produção do capim Xaraés. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 255-262, 2011.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A.; RIBEIRO, K.G. Adubação nitrogenada de capim-elefante cv. Mott. 1. Rendimento forrageiro e características morfofisiológicas ao atingir 80 e 120 cm de Altura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1069-1075, 1998.

PANIAGO, R.; FERRAZ JÚNIOR, A.C.P.; ALMADA, F.Y.D.; NUSSIO, L.G.; SAIDEL, M.A.; JOSÉ, A.B.; MICERINO, F.J.; SEWELL, A.H.M.; REIS, T.V.M.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. Caracterização da cadeia produtiva de capim-elefante para geração de energia. In: CONGRESSO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 6., 2011, Fortaleza. **Anais...** Brasília: ANEEL, 2011. p. 1-8.

PEDREIRA, J.V.S.; MATTOS, H.B. Crescimento estacional de cultivares de capim elefante. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 39, n. 1, p. 29-41, 1982.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.183 p.

PEREIRA DA SILVA, M.M.; VASQUEZ, H.M.; SILVA, J.F.C.; BRESSAN-SMITH, R.E.; ERBESDOBLER, E.D.; SOARES, C.S. Composição bromatológica, disponibilidade de forragem e índice de área foliar de 17 genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sob pastejo, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 313-320, 2002.

QUESADA, D.M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal**. 2005. 65 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

QUESADA, D.M.; BODDEY, R.M.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa, 2004. 4 p. (Circular Técnica, 8).

QUESADA, D.M.; FRADE, C.; RESENDE, A.; POLIDODO, J.C.; REIS, V.M.; BODDEY, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; XAVIER, D. A fixação biológica de nitrogênio como suporte para a produção de energia renovável. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings...** Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100031&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 maio 2012.

RAGLAND, K.W.; AERTS, D.J. Properties of wood for combustion analysis. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 37, p. 161-168. Oct. 1990.

RAISON, R.J. Opportunities and impediments to the expansion of forest bioenergy in Australia. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v.30 p.1021-1024, 2006.

RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMANDA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 203-230.

RODRIGUES, L.R.A.; MONTEIRO, F.A.; RODRIGUES, T.J.D. Capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 203-224.

ROSSI, D.A. **Avaliação morfo-agronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) para fins energéticos no Norte**. 2010. 66 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2010.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C₄ perennial grasses for developing a global bioheat industry. **Plant Science**, Chicago, v. 24, p. 461-495, 2005.

SCHEMER, M.R.; VOGEL, K.P.; MITCHELL, R.B.; PERRIN, R.K. Net energy of cellulosic ethanol from switch grass. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 105, n. 2, p. 464-469, 2008.

SMEETS, E.M.W.; FAAIJ, A.P.C.; LEWANDOWSKI, I. The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production: applied for case studies in Brazil and Ukraine. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v.27, p.247-251, 2009.

SMEETS, E.M.W.; LEWANDOWSKI, I.M.; FAAIJ, A.P.C. The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 13, p. 1230-1245, 2009.

TCACENCO, F.A.; BOTREL, M.A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; CARVALHO, L.A. (Ed.). **Capim-elefante: produção e utilização**. Brasília: EMBRAPA, SPI; Juiz de Fora: EMBRAPA, 1997. p. 1-30.

UNITED NATIONS. **População mundial deve atingir 9,6 bilhões em 2050**. Disponível em: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.U0r1j_IdWGf>. Acesso em: 13 abr. 2014.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.; BODDEY, R. **Capim-elefante: uma nova fonte alternativa de energia**. 2004. Disponível em http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuário/artigo_agropecuário/capim_elefante%3A_uma_nova_fonte_alternativa_de_energia.html>. Acesso em: 12 abr. 2012.

VEIGA, J.B. Utilização de capim-elefante sob pastejo. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; CARVALHO, L.A. (Ed.). **Capim-elefante: produção e utilização**. Coronel Pacheco: EMBRAPA, CNPGL, 1994. p. 165-193.

VILELA, H.; CERIZE, D. **Capim-elefante: paraíso na geração de energia**. 2009. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso_geracao_energia.htm>. Acesso em: 20 nov. 2013.

VITOR, C.M.T. **Adubação nitrogenada e lâmina de água no crescimento de capim-elefante**. 2006. 77 p. Tese (Doctor Scientiae em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.N.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 435-442, 2009.

ZANETTI, J.B. **Identificação de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos**. 2010. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

ANEXOS

ANEXO A: Biomassa seca (BMS) *versus* Lâmina de água (L)

Figura 77 - Software SAS (*interaction plot*) - Produção de biomassa seca (BMS, kg·ha⁻¹) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização

ANEXO B: Índice de Área Foliar (IAF) versus Lâmina de água (L)

Figura 78 - Software SAS (*interaction plot*) – Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização

ANEXO C: Altura (h) versus Lâmina de água (L)

Figura 79 - Software SAS (*interaction plot*) - Altura (h, m) em função de lâmina de água (L, mm) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170 e [F] 203 dias após o corte de equalização (Valores de altura não disponíveis aos 231 dias após o corte de equalização)

ANEXO D: Biomassa seca (BMS) *versus* Dose de nitrogênio (N)

Figura 80 - Software SAS (*interaction plot*) - Produção de biomassa seca (BMS, kg.ha⁻¹) em função de doses de nitrogênio (N, kg.ha⁻¹) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização

ANEXO E: Índice de área Foliar (IAF) *versus* Dose de nitrogênio (N)

Figura 81 - Software SAS (*interaction plot*) – Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em função de doses de nitrogênio (N, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170, [F] 203 e [G] 231 dias após o corte de equalização

ANEXO F: Altura (h) versus Dose de nitrogênio (N)

Figura 82 - Software SAS (*interaction plot*) - Altura (h, m) em função de doses de nitrogênio (N, kg.ha⁻¹) nas diferentes idades: [A] 46, [B] 82, [C] 112, [D] 139, [E] 170 e [F] 203 dias após o corte de equalização (Valores de altura não disponíveis aos 231 dias após o corte de equalização)

ANEXO G: Biomassa seca (BMS) *versus* Idade de corte (Id)

Figura 83 - Software SAS (*interaction plot*) - BMS ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função da idade após o corte de equalização (Id, dias) nas diferentes doses de nitrogênio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N): [A] 44, [B] 200, [C] 400, [D] 600, [E] 800 e [F] 1000