



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Tese de Doutorado

FUNÇÕES DE RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR,  
FASE SOCA, A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E  
ADUBAÇÃO DE COBERTURA

GUSTAVO HENRIQUE FREIRE DE SOUZA

Campina Grande  
Paraíba

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**FUNÇÕES DE RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR, FASE SOCA, A NÍVEIS DE  
IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO DE COBERTURA**

GUSTAVO HENRIQUE FREIRE DE SOUZA

Tese apresentada ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Doutor.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem  
Linha de pesquisa: Manejo de Água e Solo  
Orientadores: Dr. José Dantas Neto  
Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo

Campina Grande - PB  
Dezembro, 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S729f

2007 Souza, Gustavo Henrique Freire de.

Funções de resposta da cana-de-açúcar, fase soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura / Gustavo Henrique Freire de Souza — Campina Grande, 2007.

113f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: José Dantas Neto e Hamilton Medeiros de Azevedo.

1. *Saccharum officinarum*. 2. Irrigação. 3. Adubação de Cobertura. I. Título.

CDU –633.61

**DIGITALIZAÇÃO:**

**SISTEMOTECA - UFCG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**TESE DE DOUTORADO**

**FUNÇÕES DE RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR, FASE  
SOCA, A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO DE  
COBERTURA**

**GUSTAVO HENRIQUE FREIRE DE SOUZA**

---

**Campina Grande-PB  
Dezembro, 2006**

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

GUSTAVO HENRIQUE FREIRE DE SOUZA

FUNÇÃO DE RESPOSTA DA CANA-DE-AÇUCAR, FASE SOCA, A NÍVEIS DE  
IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO DE COBERTURA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

José Dantas Neto  
Dr. José Dantas Neto - Orientador

APROVADO

Hamilton Medeiros de Azevedo  
Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo - Orientador

APROVADO

Francisco Assis de Oliveira  
Dr. Francisco de Assis Oliveira - Examinador

APROVADO

José Geraldo Rodrigues dos Santos  
Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos - Examinador

APROVADO

Vera Lúcia Antunes Lima  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima - Examinadora

APROVADO

Lúcia Helena Garófalo Chaves  
Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves - Examinadora

APROVADO

DEZEMBRO - 2006

Em memória da minha querida mãe Josefa Freire de Oliveira de Souza (Zefinha), exemplo de dedicação para com os filhos e com o próximo. Serei eternamente grato a Deus por ter-me dado a felicidade de ser filho de uma pessoa tão maravilhosa, repleta de amor e alegria.

Em memória de meus avós João Freire e Maria, Antonio de Souza e Álida, exemplos de sabedoria.

#### MINHA HOMENAGEM

A minha esposa Fabíola Nóbrega, pelo amor e apoio oferecido para realização deste trabalho, e aos meus filhos Vítor e Raquel, presentes de Deus para minha vida.

#### DEDICO

Ao meu pai Aldemir que juntamente com minha mãe foram responsáveis pela minha educação e formação intelectual, por serem exemplos de amabilidade para com os filhos, e aos meus irmãos Júnior, Sara e Neto, pela amizade e companheirismo.

#### OFEREÇO

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida e pelo seu amor, minha eterna gratidão.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao Diretor Superintendente da Destilaria Miriri, Gilvan Celso Cavalcanti de Moraes Sobrinho, pelo financiamento de todos os custos na condução da pesquisa em campo e pelo fornecimento de todas as informações tecnológicas necessárias ao desenvolvimento do trabalho.

Ao curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho, em especial aos professores da Área de Concentração em Irrigação e Drenagem pela transmissão de conhecimento durante a realização do curso.

Aos Orientadores Prof. Dr. José Dantas Neto e Prof. Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo, pelos ensinamentos, apoio e orientação durante a realização deste trabalho, sobretudo pela amizade, consideração e respeito.

Ao Gerente Agrícola da Destilaria Miriri, Gabriel Saturnino de Oliveira e sua equipe de campo, em particular ao Engenheiro Agrônomo Carlos Henrique de A. Farias e sua equipe de campo, ao Técnico Francisco Lourival de Souza e ao encarregado dos pivôs Geraldo Rodrigues, pelo apoio na implantação, condução do experimento e coleta dos dados de campo.

Aos colegas de curso, em especial a José Lins, Fred Antonio, Cira, Daniela, Maria Salydelânida, Vanda, Cláudia Germana (*in memoriam*), Lígia, Genival e Alexandre, pela valiosa companhia, amizade e dedicação durante todas as etapas do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade e da secretaria da COPEAG, pelos serviços prestados e amizade.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xi
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	xiii
<b>RESUMO</b>	xiv
<b>ABSTRACT</b>	xv
	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	4
2.1. Aspectos gerais da cana-de-açúcar	4
2.2. Análise de crescimento de plantas	8
2.3. Necessidade hídrica e rendimento da cultura	11
2.4. Necessidade nutricional	13
2.5. Função de resposta	18
2.6. Eficiência do uso da água (EUA)	23
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	26
3.1. Localização e caracterização da área experimental	26
3.2. Delineamento experimental	28
3.3. Condução do experimento e necessidade hídrica da cultura	30
3.4. Análise de crescimento	34
3.5. Variáveis analisadas	37
3.6. Função de resposta	38
3.7. Custos de produção	39
3.8. Eficiência do uso da água	41
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	43
4.1. Regime hídrico	43
4.2. Análise de crescimento para a quarta soca	46
4.2.1. Perfilhamento	46
4.2.2. Acúmulo e partição da matéria seca	48
4.2.3. Taxa de crescimento da cultura (TCC)	52
4.2.4. Taxa de crescimento relativo da cultura (TCR)	53



4.2.5. Razão de área foliar, área foliar específica e razão de peso de folha	55
4.3. Características biométricas	57
4.3.1 Perfilhamento ou número de colmos por metro linear	57
4.3.2. Comprimento do colmo	61
4.3.3 Diâmetro do colmo	65
4.4. Características agroindustriais	68
4.4.1. Produtividade agrícola (rendimento em colmos)	68
4.4.2. Produtividade industrial (Rendimento bruto de álcool e sua análise econômica)	74
4.4.2.1. Função de resposta para lâmina de água	75
4.4.2.2. Função de resposta para adubação de cobertura	82
4.5. Eficiência do uso da água (EUA)	88
<b>5. CONCLUSÕES</b>	94
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	96
<b>7. ANEXOS</b>	108

## LISTA DE TABELAS

Tabelas	Pág.
1	Quantidade de macronutrientes removida por colmos + folhas pela variedade CB 41-76, em cana-planta e cana-soca no 14 <sup>o</sup> mês e 12 <sup>o</sup> mês de idade, respectivamente (média de três solos) ..... 17
2	Análises químicas do solo da Fazenda Capim II, da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB, feitas pelo LIS (UFCG), após a colheita da terceira soca ..... 27
3	Análises físicas do solo da Fazenda Capim II, da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB, feitas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG ..... 28
4	Quantidades de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O por aplicação e por tratamento, em kg ha <sup>-1</sup> . 30
5	Aplicação de água do pivô central 2 da Fazenda Capim, Destilaria Miriri, Município de Capim-PB ..... 32
6	Períodos de desenvolvimento para cana-soca e respectivos valores de kc... 33
7	Custo da adubação de cobertura <sup>1</sup> (nitrogênio mais potássio), em R\$ ha <sup>-1</sup> .... 40
8	Custos de colheita e transporte <sup>1</sup> , em R\$ ha <sup>-1</sup> ..... 40
9	Custos fixos da cultura da cana-de-açúcar <sup>1</sup> , em R\$ ha <sup>-1</sup> ..... 41
10	Demanda hídrica da cultura por estágio de desenvolvimento durante os ciclos produtivos de terceira soca (safra 2003/2004) e quarta soca (safra 2004/2005). Capim - PB..... 45
11	Número de perfilhos por metro linear em função dos níveis de irrigação, ao longo de diferentes períodos de desenvolvimento do ciclo da 4 <sup>a</sup> soca..... 47
12	Acumulação de matéria seca (g.m <sup>-2</sup> ) da parte aérea da cana, sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos seus períodos de desenvolvimento. .... 49
13	Contribuição (%) de diferentes componentes da planta, nos diversos períodos de amostragem, em relação à produtividade próxima à colheita (373 DAC). .... 51
14	Taxa de crescimento da cultura, quarta soca, em cinco épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas..... 52
15	Taxa de crescimento relativo da cultura, quarta soca, em cinco épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas..... 54
16	Razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de peso de folha (RPF) da cana-de-açúcar sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos seus períodos de desenvolvimento..... 56

17	Resumo da análise de variância do perfilhamento, em número de colmos por metro linear, para as colheitas realizadas em 2004 e 2005, Capim-PB..	58
18	Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função das doses de adubação para o número de colmos por metro linear (NC), Capim - PB.	60
19	Análise de regressão das doses de adubação utilizadas em função das lâminas de água para o número de colmos por metro linear (NC), Capim - PB. ....	61
20	Resumo da análise de variância para o comprimento do colmo, em metro, para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim-PB.....	62
21	Resumo da análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o comprimento do colmo, em metro, Capim - PB, 2004, 2005.....	62
22	Resumo da análise de variância para o diâmetro do colmo, em centímetro, para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.....	66
23	Resumo da análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o diâmetro do colmo, em centímetro, Capim-PB, 2004, 2005.....	66
24	Valores médios da produtividade em colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 3ª soca. Capim - PB, 2004. ....	68
25	Valores médios da produtividade em colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 4ª soca. Capim - PB, 2005. ....	69
26	Resumo da análise de variância para os rendimentos de colmos, em $t\ ha^{-1}$ , para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.....	69
27	Análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o rendimento de colmos, em $t.ha^{-1}$ , Capim - PB, 2004.....	70
28	Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função dos níveis de adubação para o rendimento de colmos, em $t.ha^{-1}$ , Capim - PB, 2005.....	71
29	Análise de regressão das doses de adubação utilizadas em função das lâminas de água para o rendimento de colmos, em $t\ ha^{-1}$ , Capim - PB, 2005. ....	73
30	Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator lâmina de água dentro de cada nível de adubação de cobertura, 3ª soca.....	75
31	Produto físico marginal dos diferentes níveis de água fornecidos à cultura, correspondentes a doses de adubação de cobertura para 3ª soca.....	76
32	Produtividade e receita líquida para $L_m$ , $L^*$ e para as lâminas de água aplicadas na produção de álcool de cana-de-açúcar, 3ª soca. Capim-PB, 2004.....	79
33	Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator lâmina de água dentro de cada nível de adubação de cobertura, 4ª soca.....	80

34	Produividade e receita líquida para Lm, L* e para as lâminas de água aplicadas na produção de álcool de cana-de-açúcar, 4ª soca. Capim-PB, 2005.....	81
35	Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar (L.ha <sup>-1</sup> ) para o fator nível de adubação de cobertura dentro de cada lâmina de água, 3ª soca.....	82
36	Produtividade e receita líquida para Am, A* e para as doses de adubação aplicadas no experimento na produção de álcool, dentro dos níveis de lâmina de água, 3ª soca. Capim - PB, 2004.....	83
37	Produtividade média de álcool de cana-de-açúcar (L ha <sup>-1</sup> ) para o fator níveis de adubação de cobertura dentro de cada lâmina de água, 4ª soca.....	84
38	Produtividade e receita líquida para Am, A* e para as doses de adubação aplicadas no experimento na produção de álcool, dentro dos níveis de lâmina de água (2005).....	86
39	Produto físico marginal dos diferentes níveis de adubação de cobertura aplicados, correspondentes a cada lâmina de água (2005).....	87
40	Valores médios da eficiência do uso da água (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 3ª soca. Capim - PB, 2004.....	88
41	Valores médios da eficiência do uso da água (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 4ª soca. Capim - PB, 2005.....	88
42	Resumo da análise de variância da eficiência do uso da água, em função das lâminas de água e níveis de adubação para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.....	89
43	Resumo da análise de regressão da eficiência do uso da água em função das lâminas de água e das adubações, 3ª soca. Capim - PB, 2004.....	92
44	Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função das doses de adubação para eficiência do uso da água, 4ª soca. Capim - PB, 2005.....	92
45	Análise de regressão das doses de adubação utilizadas em função das lâminas de água para eficiência do uso da água, 4ª soca. Capim - PB, 2005.....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Pág.
1 Área irrigada da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB, e localização das bases dos pivôs 1 e 2 .....	27
2 Croqui do experimento .....	31
3 Detalhes das parcelas experimentais com 5 fileiras de plantas .....	31
4 Variação anual média da precipitação e da ETc, na safra agrícola 2003/2004, (3ª soca).....	44
5 Variação anual média da precipitação e da ETc, na safra agrícola 2004/2005, (4ª soca).....	44
6 Número de perfilhos durante o ciclo produtivo da quarta soca .....	47
7 Matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos períodos de desenvolvimento (g.m <sup>-2</sup> ).....	49
8 Acumulação de matéria seca em diferentes componentes da cana (% do total em cada data de amostragem), para as quatro lâminas de água aplicadas .....	50
9 Comportamento da TCC (4ª soca), ao longo das épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas .....	52
10 Comportamento da TCR (4ª soca), ao longo das épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas.....	54
11 Razão de área foliar na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem .....	56
12 Área foliar específica na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem .....	57
13 Razão de peso da folha na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem .....	57
14 Número de colmos por metro linear em função dos níveis de adubação dentro de cada lâmina de água no ciclo produtivo da terceira soca (2004)	59
15 Número de colmos por metro linear em função dos níveis de adubação dentro de cada lâmina de água no ciclo produtivo da quarta soca (2005).	60
16 Comprimento do colmo (m) em função da lâmina de água aplicada na 3ª soca, ano de 2004 .....	63
17 Comprimento do colmo (m) em função dos níveis de adubação na 3ª soca, ano de 2004 .....	63

18	Comprimento do colmo (m) em função da lâmina de água aplicada na 4ª soca, ano de 2005 .....	64
19	Comprimento do colmo (m) em função dos níveis de adubação na 4ª soca, ano de 2005 .....	65
20	Diâmetro médio do colmo em função dos níveis de adubação nos dois ciclos (3ª e 4ª socas) .....	67
21	Rendimento médio da cana em função dos níveis de adubação, 3ª soca...	70
22	Produtividade da cana ( $t \cdot ha^{-1}$ ) em função da lâmina de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura. 4ª soca.....	72
23	Produtividade da cana ( $t \cdot há^{-1}$ ) em função da adubação de cobertura, dentro de cada nível de lâmina de água, 4ª soca.....	74
24	Produtividade industrial de álcool ( $L \cdot ha^{-1}$ ), em função de diferentes lâminas de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura.....	75
25	Lâminas de água economicamente ótimas em função da relação entre o custo da água e o preço do litro de álcool.....	78
26	Produtividade industrial de álcool ( $L \cdot ha^{-1}$ ), em função de diferentes lâminas de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura.....	81
27	Produtividade industrial de álcool ( $L \cdot ha^{-1}$ ), em função de diferentes níveis de adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água, 3ª soca.	83
28	Produtividade industrial de álcool ( $L \cdot ha^{-1}$ ), em função de diferentes níveis de adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água.....	84
29	Níveis de adubação de cobertura economicamente ótimos em função da relação entre o preço do adubo e o preço do litro de álcool.....	87
30	Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função dos níveis de adubação de cobertura, 3ª soca. Capim – PB.....	90
31	Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função das lâminas de água, 4ª soca. Capim – PB.....	91
32	Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função dos níveis de adubação de cobertura, 4ª soca. Capim – PB.....	91

## LISTA DE ANEXOS

Anexos	Pág.
1	Determinação do requerimento de água a ser fornecido pela irrigação e quantidades de lâminas líquidas aplicadas por cada tratamento de irrigação, ciclo da terceira soca. Capim-PB..... 109
2	Determinação do requerimento de água a ser fornecido pela irrigação e quantidades de lâminas líquidas aplicadas por cada tratamento de irrigação, ciclo da quarta soca. Capim-PB..... 110
3	Determinação da precipitação efetiva durante o ciclo da terceira soca..... 111
4	Determinação da precipitação efetiva durante o ciclo da quarta soca..... 112
5	Médias do número de colmos por metro linear em função das lâminas de água e das doses de adubação (2004)..... 112
6	Médias do número de colmos por metro linear em função das lâminas de água e das doses de adubação (2005)..... 113
7	Médias do comprimento do colmo (m), em função das lâminas de água e das doses de adubação (2004)..... 113
8	Médias do comprimento do colmo (m), em função das lâminas de água e das doses de adubação (2005)..... 113
9	Médias do diâmetro do colmo (cm), em função das lâminas de água e das doses de adubação (2004)..... 113
10	Médias do diâmetro do colmo (cm), em função das lâminas de água e das doses de adubação (2005)..... 113

## FUNÇÕES DE RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR, FASE SOCA, A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO DE COBERTURA

Autor: Gustavo Henrique Freire de Souza

Orientadores: Dr. José Dantas Neto

Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo

### RESUMO

Com o objetivo de se avaliar a influência das lâminas de água, doses de adubação de cobertura e sua interação sobre o rendimento econômico do álcool, componentes de produção e de crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), cv SP 791011, conduziu-se um experimento, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, no período de 2003 a 2005, na Fazenda Capim, localizada em Capim, PB, pertencente à Destilaria Miriri. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e esquema fatorial 4 x 4. Os tratamentos constituíram-se da combinação de quatro lâminas de irrigação, aplicadas através de um sistema de irrigação tipo pivô central rebocável, em intervalos de 12 dias, nas quantidades:  $L_0$  (área de sequeiro);  $L_1$  (13,8 mm);  $L_2$  (27,5 mm) e  $L_3$  (41,3 mm). As adubações de cobertura foram compostas dos elementos N e  $K_2O$  nas quantidades:  $A_0 = 0$ ;  $A_1 = 90$ ;  $A_2 = 180$  e  $A_3 = 270$  kg.ha<sup>-1</sup>. Para fins de análise de crescimento, foram realizadas cinco coletas destrutivas de planta, ao longo do ciclo produtivo da quarta soca (safra 2004/2005), aos 74, 120, 210, 287 e 387 dias após o corte, para cada tratamento de água e um tratamento de adubação de cobertura ( $A_2$ ). Após análise dos resultados verificou-se que em condições severas de estresse hídrico há uma mudança no padrão de perfilamento da cana-de-açúcar e que o déficit hídrico reduziu a eficiência em exportação de assimilados produzidos nas folhas para outros órgãos da planta. Durante o ciclo da 3ª soca, a produtividade média de colmos foi influenciada significativamente pelos fatores lâmina de água e adubação de cobertura e não significativamente pela interação L x A. Já para o ciclo da 4ª soca, houve resposta significativa para irrigação, adubação e interação L x A. Os maiores rendimentos em colmos obtidos na 3ª soca propiciaram uma maior eficiência do uso da água (EUA) em comparação à 4ª soca. Observou-se que a EUA nos dois ciclos foram menores nos tratamentos não adubados ( $A_0$ ), demonstrando um efeito prejudicial da ausência de adubação na EUA. A função de resposta da cana, em relação à lâmina de água fornecida na 3ª soca, dentro de níveis de adubação, apresentou um ponto de máxima em  $L_m(A_3) = 1.360,12$  mm com rendimento em álcool de 9.243,54 L ha<sup>-1</sup>, proporcionando uma receita líquida de R\$ 4.434,12 ha<sup>-1</sup>. Já a máxima economia foi alcançada em  $L^*(A_3) = 1.341,37$  mm com produtividade de 9.234,82 L ha<sup>-1</sup>, que proporcionou uma receita líquida de R\$ 4.441,52 ha<sup>-1</sup>, para uma relação de custo  $C_I/C_Y = 0,93$ . Em função de níveis de adubação dentro de lâminas de água na 4ª soca, a função de resposta apresentou ponto de máximo em  $A_m(L_3) = 425,68$  kg ha<sup>-1</sup> com rendimento de 8.354,16 L ha<sup>-1</sup> proporcionando uma receita líquida de R\$ 4.568,51 ha<sup>-1</sup> e ponto de máxima economia  $A^*(L_3) = 382,10$  kg.ha<sup>-1</sup> com produtividade de 8.312,56 L ha<sup>-1</sup> e receita líquida de 4.610,57 ha<sup>-1</sup>, para a relação de custo  $C_A/C_Y = 1,91$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum officinarum*, irrigação, adubação de cobertura.



## RESPONSE FUNCTIONS OF THE SUGAR CANE, STAGE RATOON, TO IRRIGATION AND MANURING LEVELS

Author: Gustavo Henrique Freire de Souza

Advisers: Prof. Dr. José Dantas Neto

Prof. Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo

### ABSTRACT

With the objective of evaluating the influence of water depths, levels of manuring and its interaction on the economical income of alcohol, components of production and growth of the sugar cane (*Saccharum officinarum* L.), cv SP 791011, an experiment was carried out in a soil Red-Yellow Podzolic, in the period from 2003 to 2005, in the Farm Capim at the Miriri distillery, in the municipality of Capim, Paraíba State. The experimental design was randomized blocks, in 4x4 factorial with four repetitions. The treatments was constituted of the combination of four irrigation levels applied through an mobile center pivot irrigation system, in intervals of twelve days, in the amounts: L<sub>0</sub> (without irrigation); L<sub>1</sub> (13.8 mm); L<sub>2</sub> (27.5 mm) e L<sub>3</sub> (41.3 mm). The manurings were composed of the elements N and K<sub>2</sub>O, in the amounts: A<sub>0</sub> = 0; A<sub>1</sub> = 90; A<sub>2</sub> = 180 e A<sub>3</sub> = 270 kg ha<sup>-1</sup>. To growth analyzes five destructive collections of plant were accomplished, in cycle of fourth ratoon, in harvest 2004/2005, at 74, 120, 210, 287 and 387 days after cutting, for each water treatment and a treatment of manuring (A<sub>2</sub>). After analyzes of the results was verified that in severe conditions of water stress has a change in standard of tillering of the sugar cane and that the water deficit reduced the efficiency in exportation of assimilated produced in leaves for other parts of the plant. During the cycle of 3<sup>th</sup> ratoon the average productivity of stalks was significantly influenced by the factors water depth and manuring and not significantly for the interaction L x A. Already for the cycle of 4<sup>th</sup> ratoon, there was significant answer for irrigation, manuring and interaction L x A. The largest incomes in stalks obtained in the 3<sup>th</sup> ratoon had propitiated a larger water use efficiency (WUE) in comparison with to 4<sup>th</sup> ratoon. It was observed that to WUE in the two cycles had been smaller in the treatments not fertilized (A<sub>0</sub>), demonstrating a harmful effect of the absence of manuring in the WUE. The response function of the sugar cane, in relation to the water depth supplied in 3<sup>th</sup> ratoon, inside of manuring levels, presented a maximum point in L<sub>m</sub> (A<sub>3</sub>) = 1,360.12 mm with income in alcohol of 9,243.54 L.ha<sup>-1</sup>, providing a net revenue of R\$ 4,434.12 ha<sup>-1</sup>. Already the maximum economy was reached in L\* (A<sub>3</sub>) = 1,341.37 mm with productivity of 9,234.82 L.ha<sup>-1</sup>, that provided a net revenue of R\$ 4,441.52 ha<sup>-1</sup>, for a relation of cost C<sub>I</sub>/C<sub>Y</sub> = 0.93. In function of levels of fertilization inside of water depths in 4<sup>th</sup> ratoon, the response function presented point of maximum in A<sub>m</sub> (L<sub>3</sub>) = 425.68 kg.ha<sup>-1</sup> with yield of 8,354.16 kg.ha<sup>-1</sup> providing a net revenue of R\$ 4,568.51 ha<sup>-1</sup> and point of maximum economy A\* (L<sub>3</sub>) = 382.10 kg.ha<sup>-1</sup> with productivity of 8.312, 56 L.ha<sup>-1</sup> and net revenue of 4,610.57 ha<sup>-1</sup>, for the cost relation P<sub>A</sub>/P<sub>Y</sub> = 1,91.

**KEY WORDS:** *Saccharum officinarum*, irrigation, manuring.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar ocupa no Brasil uma área de aproximadamente 5,8 milhões de hectares, com produção estimada para a safra 2006/2007 em torno de 471,17 milhões de toneladas de colmos. Do total produzido, 238,39 milhões de toneladas (50,6%) são destinadas à fabricação de açúcar, 184,98 milhões (39,3%) são destinadas à produção de álcool e o restante, 47,80 milhões (10,1%), são destinadas para a fabricação de cachaça, alimentação animal, fabricação de rapadura, açúcar mascavo e outros fins (CONAB, 2006).

Com números tão expressivos, a atividade impulsiona a economia nacional e gera muitos empregos, principalmente no período de safra. Na Paraíba, a cana-de-açúcar não é só a principal cultura da região, mas a que mais emprega no setor primário. Em 2004, 80% dos postos formais de trabalho existente em todo o setor agrícola do Estado foram oriundos da cultura canavieira e em épocas de safra, o setor chega a empregar cerca de 40 mil trabalhadores.

Quando o programa Proálcool se tornou financeiramente inviável em 1995 com a queda do preço do barril de petróleo a patamares de 12 a 20 dólares, o setor sucroalcooleiro se viu diante do dilema de sustentar a produção de álcool combustível e do açúcar frente à demanda interna e externa, sem incentivo do governo. Como muitos segmentos da economia, a indústria canavieira começou a dar maiores saltos quando passou a andar com os próprios pés. Nos últimos 10 anos, o mercado passou por um processo de transformação tecnológica e organizacional generalizado, que não só levou o

país a ser líder isolado na produção de álcool combustível e açúcar, como também tornou a indústria canavieira um negócio competitivo e atraente (Girardi, 2006).

O parque industrial brasileiro compreende cerca de 370 unidades sucroalcooleiras, gerando US\$ 4,5 bilhões, com 1,4% do PIB, e emprego para cerca de 1,2 milhão de pessoas. Além disso, essa cultura é responsável por cerca de 15% do total de fertilizantes consumidos na área agrícola do país (Vitti, 2003). Em 2005/2006, a produção nacional de cana-de-açúcar passou de 384,8 milhões de toneladas para 386,6 milhões. Foram produzidos cerca de 25,8 milhões de toneladas de açúcar e 15,9 milhões litros de álcool combustível (CONAB, 2006).

A venda do álcool para o mercado externo está consolidado no aspecto ambiental, por contribuir para a diminuição de poluentes e representar alternativa de substituição do petróleo. A assinatura do protocolo de Kyoto (11/12/1997), que prevê o compromisso dos países signatários com a diminuição da emissão de poluentes no ar, estimula indiretamente a produção de álcool combustível, ao incentivar, em seu artigo 12, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Tal artigo reativou projetos de substituição de combustíveis fósseis pelos renováveis, que são menos poluentes. Este fato evidenciou a importância brasileira na questão das tecnologias de utilização do álcool como combustível e na sua mistura com a gasolina. A estimativa é de que, nos próximos 5 anos, a demanda mundial por álcool ultrapassará os 10 bilhões de litros, o que transformará o produto em uma commodity de grande aceitação no mercado internacional (CNA, 2006).

De acordo com os dados do IBGE (2004), dentre os maiores Estados produtores, a Paraíba ocupa o décimo primeiro lugar em quantidade produzida (4,98 milhões de toneladas) e em produtividade (47,20 t ha<sup>-1</sup>). Os principais fatores para essa baixa produtividade, segundo Azevedo (2002), são a baixa fertilidade dos solos e a pluviosidade insuficiente. No entanto, a cana-de-açúcar é o principal produto da agropecuária paraibana, com um valor bruto de produção anual em torno de 190 milhões de reais.

Dos fatores complementares da produção agrícola, a água e a adubação são aqueles que limitam os rendimentos com maior intensidade, considerando um bom material genético e um bom controle de pragas e doenças. Deste modo, a aplicação racional da irrigação e da adubação são fundamentais para o aumento da produtividade e do retorno econômico na agricultura. Esta aplicação racional tanto da adubação quanto da irrigação poderá ser conseguido quando se conhecer as funções de produção das culturas nas diferentes regiões produtoras do País (Bernardo, 1998). Estas funções permitem, portanto,

encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e da adubação na agricultura, além da previsão de rendimento.

Diante da importância em que a cultura da cana-de-açúcar apresenta no cenário regional, como geradora de emprego e renda, torna-se imprescindível avaliar os níveis de água e de adubação aplicados, considerando-se os aspectos econômicos, de forma a obter a produtividade máxima econômica com os recursos disponíveis, pois a falta de um manejo racional pode acarretar uma elevação nos custos através de maiores gastos com água, energia e adubação.

O presente trabalho tem como objetivo principal a obtenção de funções de resposta da cana-de-açúcar, terceira e quarta socas, tendo como variável dependente o rendimento bruto de álcool e, como variáveis independentes, os fatores de produção água e adubação de cobertura, de maneira que se possa definir os níveis de água e de adubação de cobertura que maximizem a produção com os melhores resultados econômicos.

Constitui como objetivos secundários: i) quantificar a produção, acúmulo e partição da matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, cultivar SP 791011, ao longo do seu ciclo biológico sob diferentes condições de suprimento hídrico; ii) estudar as respostas da cultura a diferentes lâminas de irrigação, através da análise de crescimento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos Gerais da Cana-de-Açúcar

Segundo Doorenbos & Kassam (2000), a cana-de-açúcar originou-se na Ásia, provavelmente na Nova Guiné. A maior parte da cana-de-açúcar comercial (de sequeiro e sob irrigação) é produzida entre as latitudes 35°N e 35°S do Equador. A cultura desenvolve-se bem sob estação quente e longa com incidência de radiação alta e umidade relativa adequada, seguida de período seco, ensolarado e medianamente frio, porém sem geadas, durante a maturação e a colheita.

Por ser planta de clima tropical e semi-perene, a cana-de-açúcar necessita de calor e umidade durante o período de crescimento. O desenvolvimento da cana é satisfatório quando a temperatura média é superior a 21 °C e a precipitação, nessa fase, atinge ou supera 1.200 mm. Em regiões onde a temperatura média, na fase de desenvolvimento, oscila entre 21 e 31 °C, a cana tem bom desenvolvimento. Na fase de maturação, porém, é necessário que haja deficiência hídrica, térmica, ou ambas para que ocorra a acumulação de sacarose (Silva et al., 2003)

No Brasil, o segmento do colmo a ser multiplicado vegetativamente recebe denominações regionais. Assim, nas regiões Norte e Nordeste, ele é denominado rebolo; nas regiões Setentrionais de Minas Gerais, ponta; e, na região Centro-Sul, tolete. Rebolo é, portanto, um segmento do colmo resultante do seccionamento, executado manualmente com o facão ou mecanicamente com a colheitadeira (Cesnik & Miocque, 2004).

Em plantios comerciais, a cana-de-açúcar é propagada assexuadamente através de rebolos de duas ou três gemas. Cada gema desenvolve-se em colmo primário, que, por sua vez, dá origem a colmos secundários, dos quais brotam colmos terciários e assim sucessivamente, formando touceiras. Esse processo é denominado perfilhamento. Ressalte-se que o perfilhamento da cana-de-açúcar é bastante afetado pelos seguintes fatores: luz, temperatura, água e nutrientes, espaçamento entre linhas, profundidade de plantio, doenças, pragas e época de plantio (Bacchi, 1983).

### **2.1.1. Sistema Radicular**

A cana-de-açúcar uma vez em contato com o solo e em condições favoráveis de umidade e temperatura brota por intermédio da gema, a qual irá formar os novos colmos. Ao mesmo tempo da brotação, as zonas radiculares, situadas nos nós da cana emitem raízes finas, numerosas e de natureza fibrosa. Nos novos colmos, na parte que está sob o solo, também surgirão raízes, que formarão um sistema radicular do tipo fasciculado, cujo tamanho e profundidade está diretamente ligado à variedade, ao preparo de solo, ao solo, à idade e número de cortes da planta, porém a maior parte das raízes se encontram nos primeiros 50 centímetros de profundidade (Fernandes, 1990).

O sistema radicular da cana-de-açúcar varia com a sua profundidade e com a sua distribuição no solo em função das condições hídricas e de textura do solo, da variedade e da fase fisiológica de crescimento da cultura. Após o corte da cana-planta, o sistema radicular mantém-se em atividade por determinado tempo e posteriormente há a substituição através dos sistemas radiculares dos perfilhos das soqueiras. Segundo Dillewijn (1952), as raízes das soqueiras são mais superficiais que as da cana-planta, pelo fato de que os perfilhos das soqueiras brotam mais próximos da superfície do que os da cana-planta. Assim, quanto maior o número de cortes, mais superficial fica o sistema radicular das soqueiras.

Wood & Wood (1967), estudando o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar, verificaram que, sob condições normais de chuva, as raízes ativas predominaram no espaço junto à touceira e superficialmente ao solo. As raízes remanescentes da cana-planta podem continuar em atividade até quatro meses após a colheita.

Conforme Silva et al. (2003), o corte da cana deve ser feito rente ao solo para que as soqueiras se formem somente dos rizomas e nunca dos pedaços de colmos aéreos, que dão origem a touceiras instáveis, facilmente tombadas pelo vento. As soqueiras normalmente são colhidas com 10 meses ou mais. O número de cortes no mesmo canavial depende da fertilidade do solo e dos tratos culturais, devendo ser superior a quatro, a fim de reduzir os custos de implantação. Para que as soqueiras brotem bem e tenham uniformidade, os veículos de transporte, tratores, etc. não devem passar com as rodas sobre a linha de cana, pois isso pode reduzir a produtividade da área em mais de 20%.

### 2.1.2. Colmo

O colmo é cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e entrenós (internódios); a altura varia de 1,0 a 5,0 m e o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 cm até 5,0 cm; os entrenós são a parte mais mole do colmo, apresentam uma quantidade de feixes fibrovasculares que é aproximadamente a metade da quantidade existente nos nós; e os nós apresentam elementos utilizados na identificação das variedades, entre eles as gemas (Graner & Godoy, 1964).

Do ponto de vista industrial, pode-se dizer que o colmo padrão compõe-se de 25% de partes duras e de 75% de partes moles, em virtude de sua resistência física-mecânica. O teor de fibra das partes duras situa-se em torno de 75% e a porcentagem de caldo corresponde a 25%, o que equivale a 20% do caldo total. Nas partes moles, com 8% de fibra e 92% de caldo, encontram-se os 80% restantes do caldo total. Para que a cana seja industrializada, é necessário que ela tenha no mínimo 10 meses; caso contrário, haverá redução muito grande na produtividade agrícola e na riqueza em açúcar (Silva et al., 2003).

O caldo por sua vez, segundo Lucchesi (2001), é composto de água (75 a 82%) e 18 a 25% de sólidos solúveis (brix), correspondendo em maior parte aos açúcares (principalmente sacarose) e outros elementos (sais minerais, gorduras e ceras, substâncias pécticas, gomas e mucilagens, materiais corantes, ácidos livres e substâncias nitrogenadas).

A sacarose é armazenada principalmente nos entrenós mais velhos, crescendo portanto do topo para a base da planta. A glicose tem relação inversa, o seu teor decresce em relação à base da planta (Alexander, 1973).

De acordo com Matherne & Irvine, citados por Machado (1987), o número de colmos por unidade do terreno é um dos componentes que mais afeta a produtividade da cana. Conforme Taupier & Rodrigues (1999) são necessários pelo menos 90 mil colmos por hectare para se atingir produtividades máximas.

### 2.1.3. Folha

As folhas da cana-de-açúcar são alternadas, opostas e fixas aos nós dos colmos, correspondendo uma folha a cada nó, de coloração verde característica, variando a tonalidade de acordo com a região da folha, sua idade e a cultivar. As folhas basicamente podem dividir-se em lâmina (ou limbo foliar), que é a parte superior, e a bainha, que é a parte inferior que envolve o colmo, cuja função básica é de fixar a folha ao colmo (Lucchesi, 2001).

A lâmina é uma estrutura alongada, plana, cujo comprimento varia de 0,50 a 1,50 m e cuja largura vai de 2,5 a 10,0 cm. É um pouco alargada na base, afinando-se em direção à extremidade; é fortalecida e sustentada pela nervura central, que se estende por todo o seu comprimento. Começando da nervura central, em ângulo, sai várias nervuras paralelas, cada uma delas contendo um feixe vascular. Entre essas nervuras são encontradas fileiras de estômatos, presentes em ambas as faces da folha. Esses estômatos são mais numerosos na superfície inferior e têm a função de desprender e absorver gases utilizados pela planta e agir como poros para transpiração de água (Bacchi, 1983).

As folhas mais velhas, ao secarem, podem ou não se destacar da bainha. A longevidade delas é característica específica de cada variedade, podendo se modificar com a comutação dos fatores externos e com a posição das mesmas em relação ao colmo. Uma folha tem durabilidade média de 60 a 90 dias. O tempo decorrido entre o aparecimento de duas folhas subseqüentes é de 5 a 8 dias. Folhas não caducas constituem um fator muito importante no mecanismo de armazenamento do açúcar pela planta, que é utilizado na formação da celulose e nos processos de respiração e maturação da mesma. O açúcar, por sua vez, sofre na planta uma translocação das folhas para o colmo, acumulando-se neste, que é o fornecedor da matéria-prima a ser industrializada (Cesnik & Miocque, 2004).

Segundo Lucchesi (2001), a sacarose e os açúcares redutores (glicose e frutose), sintetizados nas folhas durante o dia, translocam-se dia e noite, por todas as partes da planta, através do floema. A sacarose é o principal açúcar translocado (80 a 90%) e a



velocidade de translocação pode atingir acima de  $2,5 \text{ cm min}^{-1}$  dependendo das condições ambientais. Parte da sacarose produzida durante o dia é armazenada temporariamente no limbo foliar e na bainha, que será utilizada na translocação noturna quando não está ocorrendo a fotossíntese.

#### **2.1.4. Inflorescência**

A cana-de-açúcar, sob determinadas condições de fotoperiodismo, temperatura e umidade, floresce emitindo uma panícula ou flecha. Embora seja uma característica desejável sob o ponto de vista do melhorista, trata-se de um fenômeno indesejável em áreas comerciais, uma vez que provoca perdas de sacarose nos colmos. Artificialmente o florescimento pode ser controlado através do manejo de água e nutrientes, bem como através de variações na época de plantio e de corte (Bacchi, 1983).

A inflorescência é uma panícula de tamanho e conformação variável, em razão da variedade, geralmente apresentando forma piramidal e coloração ligeiramente canela-prateada. Algumas variedades, após ou mesmo antes da emissão da panícula, apresentam colmos industrializáveis que, em parte, já têm tecido seco, como se fosse um isopor, daí o termo isoporização. O chochamento (ou isoporização) torna a cana-de-açúcar mais fibrosa e menos densa, resultando em menor produtividade por unidade de área e em menor quantidade por veículo, encarecendo o frete (Silva et al., 2003).

## **2.2. Análise de Crescimento de Plantas**

A análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos para o crescimento total. A partir dos dados de crescimento, pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar, de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas semelhantes crescendo em ambientes diferentes. A análise de crescimento para previsão de produções tem sido adotada na elaboração de modelos. Para isso, são necessárias séries de dados difíceis de serem obtidos porque exige condições ambientais semelhantes, o que é praticamente impossível. Apesar disso, tem sido possível, a partir de determinações realizadas em fases precoces do crescimento, detectar efeitos de

deficiências do meio, possibilitando a correção dos mesmos, a tempo de não se comprometer a produção final (Benincasa, 2003).

O crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar engloba o crescimento do caule e das folhas. O crescimento máximo acontece na panícula, decrescendo, em intensidade, das partes superiores para as inferiores. Quanto mais seiva elaborada for utilizada para o crescimento da planta, menor será a disponibilidade para a formação da sacarose. Durante o processo de maturação, o crescimento geral da planta deve ser progressivamente reduzido, para que uma quantidade crescente de matéria elaborada seja destinada à formação de sacarose em detrimento do crescimento (Cesnik & MIOCQUE, 2004).

O crescimento da cana-de-açúcar é variável, dependendo da época de plantio, tipo de muda e condições ambientais, mas, sabe-se que há uma produção média de 2 a 4 entrenós por mês, com 10 a 15 cm de comprimento cada um (Bacchi, 1983).

Para atender às exigências hídricas, é de grande importância o conhecimento dos modelos de crescimento e acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos. Dependendo da espécie, do ciclo e da parte da planta, o estudo para o atendimento das exigências hídricas pode ser bem distinto. Antes de se pensar num adequado manejo de irrigação, estes aspectos devem ser considerados, o que pode auxiliar de forma decisiva na viabilidade técnica e econômica em relação ao fornecimento e manejo da água para as plantas.

O crescimento de uma planta pode ser medido de várias maneiras. Em alguns casos, a determinação da altura é suficiente, mas, às vezes, maiores informações são necessárias, como por exemplo, o tamanho das folhas (comprimento e largura), área foliar e o peso seco total ou de órgãos individuais como raízes, caules, folhas e frutos. O fundamento da análise de crescimento é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica e a sua determinação é feita, normalmente, considerando-se o peso seco da planta (Magalhães, 1985).

A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada através da acumulação de matéria seca.

Orlando Filho & Zambello Júnior (1980), trabalhando com 3 tipos de solos do estado de São Paulo com a variedade CB 4176, obtiveram o crescimento em toneladas de matéria seca por hectare da cana planta e da cana soca. Para a cana-planta, os solos não afetaram a produção de matéria seca, sendo que esta aumentou até o 16º mês de idade.

Observaram ainda que a produção de matéria seca produzida pelas folhas foi maior que a produzida pelos colmos até o 10<sup>o</sup> mês de idade, ocorrendo situação inversa a partir do 12<sup>o</sup> mês. Para cana-soca, ocorreram diferenças de acordo com solos utilizados no estudo, sendo que houve elevação até o 12<sup>o</sup> mês para a produção de matéria seca pelos colmos. A produção de matéria seca pelas folhas manteve-se superior à dos colmos até o 6<sup>o</sup> mês de idade, tornando-se inferior a partir do 8<sup>o</sup> mês até o final do ciclo.

De acordo com Reis & Müller (1979), a análise de crescimento é a parte da fisiologia vegetal em que se usam modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas, muitos deles relacionados com atividade fotossintética. Nos estudos ecofisiológicos das plantas, não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais, como a luz, a temperatura, a concentração de CO<sub>2</sub> e as disponibilidades de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente as taxas de crescimento e razão de área foliar destas plantas.

Os elementos necessários na utilização desse método de análise são o peso da matéria seca e a área foliar respectiva da planta a ser analisada, em sucessivas épocas de amostragem. O peso da matéria seca é mais significativo, pois determina o aumento de material acumulado na formação de um órgão, ou da planta toda, sem levar em consideração o conteúdo em água. Através da área foliar é possível aquilatar-se a eficiência das folhas da planta em estudo, na captação da energia solar, na produção de matéria orgânica e na influência sobre o crescimento e o desenvolvimento da planta (Lucchesi, 1984).

A análise de crescimento se baseia fundamentalmente no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resultam da atividade fotossintética. O restante resulta da absorção de nutrientes minerais. Embora quantitativamente de menor expressão, os nutrientes minerais são indispensáveis ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Benincasa, 2003).

Em cana-de-açúcar, o estímulo dos padrões de crescimento e desenvolvimento da área foliar são de importância, pelo menos em três direções: a) em estudos ecofisiológicos, uma vez que a taxa de crescimento da cultura, observada em dado período, pode ser modelada conceitualmente a partir da quantificação dos estímulos e limitações provenientes das flutuações diárias de radiação, temperatura, disponibilidade hídrica, absorção de nutrientes, etc; b) na avaliação de práticas agrônomicas; c) na avaliação fitotécnica de variedades, desde que seja demonstrável uma associação entre caracteres de

crescimento, medidos precocemente, e componentes da produção final (Rossiello et al., 1983).

### 2.3. Necessidade Hídrica e Rendimento da Cultura

Segundo Scardua & Rosenfeld (1987), as necessidades de água da cana-de-açúcar são função do ciclo fenológico, do ciclo da cultura, da variedade, do clima e de outros fatores, como a disponibilidade de água no solo. Os referidos autores apresentam os resultados de consumo de água da cultura, determinados por vários autores em diversas regiões do mundo, cujo consumo máximo variou de 2,8 a 8,6 mm dia<sup>-1</sup>, o consumo mínimo de 0,5 a 4,8 mm dia<sup>-1</sup> e o médio de 2,5 a 5,8 mm dia<sup>-1</sup>.

Em estudos conduzidos em países africanos por Bassereau (1979), os requerimentos de água foram estimados em 15 a 18 mm t<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Um rendimento cultural de 100 t ha<sup>-1</sup> requereu aproximadamente 1500 a 1800 mm.

Uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo (incluindo o crescimento da cana) é diretamente proporcional à água transpirada. Dependendo do clima, as necessidades hídricas (ETm) da cana-de-açúcar são de 1.500 a 2.500 mm uniformemente distribuídos durante a temporada de desenvolvimento (Doorenbos & Kassam, 2000). Conforme Alfonsin et al. (1987), nas áreas canavieiras brasileiras a precipitação total anual é em torno de 1.100 a 1.500 mm ano<sup>-1</sup>.

A água e o dióxido de carbono são substâncias necessárias para a fotossíntese. Contudo, não é a pequena quantidade de água utilizada na fotossíntese que a torna um fator limitante significativo, mas sim, a grande quantidade necessária para manter a hidratação do protoplasma (Larcher, 2000). De acordo com Cesnik & Míocque (2004), a cultura da cana necessita de grandes quantidades de água para suprir as suas necessidades hídricas, uma vez que somente 30% de seu peso é representado pela matéria seca e 70% pela água.

A irrigação de cana-de-açúcar vem se firmando como técnica essencial e rotineira tanto no Nordeste como nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. O alto nível tecnológico atingido pelo setor canavieiro e a adaptação das técnicas de irrigação à realidade canavieira, impulsionada pela utilização de efluentes industriais, foram os fatores que contribuíram para a incorporação dessa técnica ao processo produtivo (Giacomini et al., 1996).

A produtividade de cana irrigada varia muito com a idade e o ciclo da cultura, variedade, tipo de solo e clima sendo os acréscimos de produtividade em relação à cana não irrigada somente avaliados para regiões com irrigação suplementar, para verificar sua viabilidade, uma vez que nas regiões áridas e semi-áridas, irrigação é uma prática obrigatória. (IAA, 1986).

Os resultados da irrigação suplementar, de brotação ou ainda de salvação, consistem não só de aumento de produtividade das soqueiras irrigadas, mas também do canavial como todo, devido ao melhor manejo de corte, melhor manejo varietal e viabilização do plantio de cana de ano antecipado (Giacomini et al., 1996).

A renovação de uma área com cana-de-açúcar não irrigada normalmente se realiza em três ou quatro anos, quando, então, a produtividade é muito baixa, inferior a 50 toneladas de cana por hectare. Em áreas irrigadas, a vida útil dos canaviais é aumentada devido à manutenção da produtividade de aproximadamente 100 toneladas de cana por hectare, entre os ciclos de cana-planta e soca (Sousa et al., 1980).

A resposta da cana-de-açúcar à irrigação durante o período vegetativo e o início da formação da colheita é maior do que durante a última parte do período de formação da colheita, quando a área foliar ativa está diminuindo e a cultura apresenta menor capacidade de resposta à luz solar. Durante o período de maturação, os intervalos de irrigação são ampliados ou a irrigação é suspensa para que a cultura atinja a maturação, reduzindo a taxa de crescimento vegetativo, desidratando a cana e forçando a transformação de todos os açúcares em sacarose recuperável. Com a paralisação do crescimento vegetativo, aumenta também a relação entre a matéria seca armazenada como sacarose e a utilizada para novo crescimento. Durante o período de formação da colheita, a irrigação freqüente tem efeito acelerador sobre a floração, o que leva à redução da produção de açúcar (Doorenbos & Kassam, 2000).

Com o uso da irrigação, torna-se possível controlar a quantidade de água necessária durante todas as fases de desenvolvimento da cultura, compatibilizando-se a idade fisiológica com a idade cronológica, resultando em maiores produtividades. Portanto, com a irrigação será possível plantar na época ideal, ter o crescimento da cultura no período adequado, sem preocupações maiores com a presença ou regularidade das chuvas (Sousa et al., 1980).

Soares et al. (2004), avaliando as variedades SP 841431 e SP 87344, verificaram que a primeira variedade apresentou respostas nos dois ciclos da cultura, enquanto a

segunda mostrou resposta apenas em cana-soca. Essa constatação mostra a importância de se levar em consideração a variedade a ser cultivada em áreas irrigadas, onde há demanda de altos investimentos, mas nem sempre com altos retornos econômicos.

Segundo Robertson & Donaldson (1998), em observações feitas em 37 experimentos realizados na África do Sul, no período de 1966 a 1995, a suspensão da irrigação por ocasião da colheita aumentou em 10% o rendimento em peso fresco de cana-de-açúcar.

Thompson & Collings (1973), em seis experimentos de irrigação suplementar, por aspersão, realizados na província de Natal (África do Sul), onde realizaram 17 colheitas, obtiveram um aumento médio de 29,6 t ha<sup>-1</sup> de cana, com 14% de sacarose, representando 4,32 t de açúcar a mais. A quantidade média da água suplementar utilizada para produzir esses aumentos foi de 350 mm.

Barreto et al. (1971) constataram aumentos médios atribuídos à irrigação de 46 e 44,30 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de cana-planta e primeira soca, respectivamente. Semelhantemente, as produções médias de açúcar também acusaram aumentos significativos de 6,1 e 6,4 t ha<sup>-1</sup>.

Coelho et al. (2002), avaliando a variedade RB 845257, relatam aumentos de rendimento em colmos de 84% com irrigações mensais, realizadas durante todo o ciclo, exceto nos meses de chuvas suficientes.

Em condições adequadas de distribuição e aplicação da água, um aumento da eficiência de irrigação economizará água. Deste modo, é possível aumentar a superfície irrigada e aumentar conseqüentemente a produção total por unidade de água disponível para seu uso na agricultura (eficiência do uso da água). Em condições de fornecimento limitado, um aumento da eficiência de irrigação também economizará água, traduzindo-se em uma redução dos déficits de água para os cultivos, que se pode produzir durante diferentes períodos de desenvolvimento, aumentando conseqüentemente a produção por área (rendimento) por unidade de água (Valero & Mañas, 1993).

#### **2.4. Necessidade Nutricional**

Segundo Lucchesi (2001), a cultura da cana-de-açúcar desenvolve-se melhor em solos de boa fertilidade, profundos, argilosos, com boa capacidade de retenção de água, mas sem ocasionar encharcamento, e com pH de 6,0 a 6,5. Encontram-se cultivos de cana-

de-açúcar em solos com pH desde 4,0 até 8,5, apresentando, no entanto, diminuição na produtividade na medida em que caminha para índices extremos.

A cana-soca tem um comportamento peculiar em relação à adubação. Em primeiro lugar, ela se beneficia do efeito residual de nutrientes como cálcio e magnésio, provenientes da calagem, e de fósforo da adubação fosfatada de plantio, os quais não são facilmente removidos da zona de absorção das raízes. Por outro lado, mesmo os nutrientes mais lixiviáveis poderão ter um efeito indireto no desenvolvimento da soqueira, já que o mesmo depende em alto grau do nível de desenvolvimento do ciclo anterior (IAA, 1986).

A cultura da cana-de-açúcar apresenta gastos elevados com fertilizantes. A área de soqueira representa cerca de 80% do total em cultivo, justificando-se um controle racional quanto ao uso da adubação de forma a minimizar as despesas de produção (Penatti et al., 1986). Apesar dessa representatividade, conforme Weber et al. (2001), recomendações de adubação para soqueiras têm sido pouco estudadas, sobretudo tendo em vista que atualmente se pretende aumentar a eficiência e diminuir custos do sistema de produção dessa cultura.

De acordo com Cesnik & Miocque (2004), os fertilizantes possuem grande influência sobre a elaboração da sacarose. O nitrogênio aumenta a taxa de assimilação e, conseqüentemente, o crescimento. Quando o nitrogênio é aplicado após o período de vegetação, ele prejudica e retarda o progresso de maturação, porque não permite a redução da atividade clorofiliana. O fósforo é de assimilação muito lenta durante o período de crescimento da cana-de-açúcar e age como catalisador na elaboração da sacarose. Os canaviais com teores de fósforo muito baixo apresentam uma riqueza menor do que os com riqueza mais alta. O potássio, por sua vez, acelera a elaboração da sacarose e possui uma função importante na transformação entre as hexoses e a sacarose, bem como ativa a translocação da sacarose no colmo. Entretanto, as dosagens elevadas, aplicadas pela irrigação descontrolada de restilo, durante muitos anos seguidos, pode interferir negativamente na formação da sacarose. Esse fato foi observado principalmente em solos argilosos.

Segundo Stewart (1980), um exame mais minucioso das relações entre a água e os nutrientes, mostra que a água é de importância fundamental para cada um dos três mecanismos de absorção de nutrientes: captação pelas raízes, fluxo de massa e difusão. A captação pelas raízes depende do desenvolvimento delas, que, por sua vez, depende de um

nível adequado de conteúdo de água. A captação pelas raízes é especialmente importante para os nutrientes relativamente imóveis, tais como o cálcio e o magnésio.

O fluxo de massa de água para dentro das raízes é o resultado das perdas de água pelas folhas, que dão início a uma complexa série de “gradientes de concentração” desde a superfície das folhas, que se estende através das incontáveis células da planta até chegar à superfície do sistema radicular. A água é sugada pelo gradiente de concentração e o fenômeno é chamado de fluxo de massa, carregando grandes quantidades de nutrientes solúveis. Os nitratos e os sulfatos são dois dos nutrientes solúveis absorvidos principalmente por este mecanismo.

A difusão é o terceiro mecanismo de absorção e é importante para a absorção do fósforo e do potássio. Aparece um gradiente de concentração quando os íons de parte da superfície das raízes são absorvidos, causando, com isso, uma menor concentração adjacente à superfície das raízes. Na presença de água, os íons situados mais longe tendem a ser arrastados para perto. Este processo de difusão é mais rápido em solos com alto teor de umidade.

De maneira geral, a resposta de nitrogênio em cana-soca é mais freqüente do que em cana-planta. De acordo com Silva & Casagrande (1983), está comprovado que a produtividade da cana aumenta com o incremento de doses de nitrogênio, porém essas canas apresentam maior conteúdo de umidade. Ocorre marcante correlação positiva entre a absorção de nitrogênio e a umidade, de modo que as canas com bom suprimento de água e nitrogênio, sendo os demais fatores favoráveis, terão maior crescimento e, até certo ponto, maior rendimento.

Mutanda (1983) estudou a adubação nitrogenada em sete ensaios de cana-planta e 19 ensaios em soqueiras em solos do Quênia, tendo observado maiores respostas em produtividade agrícola nas soqueiras do que em cana-planta, com respostas à aplicação de até 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Observou que a quantidade acumulada de chuva, no período de máximo crescimento vegetativo, foi altamente correlacionada com as produtividades agrícolas dos ciclos da cultura.

Com as doses de N normalmente utilizadas em cana-de-açúcar no Brasil (inferiores a 100 kg ha<sup>-1</sup>), não é de se esperar depreciação na qualidade da cana, tal como a redução na pol% cana que ocorre sob condições de aplicação pesada de N (Orlando Filho et al., 1994).

Quanto ao fósforo, Korndorfer & Alcarde (1992) afirmam que a eficiência da cana em absorver fósforo do solo está diretamente relacionada à sua capacidade em explorá-lo.



Assim, a cana soca (12 meses), ainda que possua um ciclo menor do que a cana planta (18 meses), tem a vantagem de iniciar o crescimento com um sistema radicular já estabelecido e distribuído em maior volume de solo, sendo esta uma das possíveis razões para sua maior facilidade em aproveitar o fósforo disponível. Em vista disso, é provável que o nível crítico de fósforo no solo para cana soca seja inferior ao da cana planta.

Marinho (1974), no estado de Alagoas, estudou o comportamento da cana-soca (segundo corte) através de dados de oito experimentos, sendo que quatro receberam o terceiro corte e um foi colhido pela quarta vez. O autor constatou que no 2º corte houve uma resposta em 62% dos casos, enquanto que no 3º o índice dessas respostas foi 80%. As socarias apresentaram maior perspectiva de resposta ao potássio, onde as doses mais econômicas são também maiores, chegando até 186,55 kg de  $K_2O$  ha<sup>-1</sup>.

Para que as exigências nutricionais da cana-de-açúcar venham a serem satisfeitas de maneira racional, torna-se fundamental o conhecimento não apenas das quantidades de nutrientes necessários, mas também da época em que eles são requeridos com maior intensidade. Essas informações permitem a realização de adubações em níveis adequados, bem como sua execução nas épocas ideais de utilização pela cultura (Silva & Casagrande, 1983).

O primeiro passo no planejamento da adubação da cana-de-açúcar é saber quais elementos são necessários à cultura para o fornecimento via adubação. Definidos os nutrientes, deve-se saber quanto deles a planta extrai do solo.

Orlando Filho & Zambello Júnior (1980), trabalhando em três solos do Estado de São Paulo com a variedade CB 4176, apresentaram resultados de extração e remoção de nutrientes pela cana-de-açúcar. Segundo os autores, no quarto mês de idade, as quantidades de nitrogênio extraídas do solo por colmos + folhas já foram elevadas, tanto para cana-planta quanto para cana-soca, sugerindo a necessidade da adição de nitrogênio ao solo nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura.

A quantidade de fósforo extraída pela cana-de-açúcar foi pequena em contraste com a elevada quantidade normalmente adicionada ao solo, o que se deve ao fato desse nutriente ser altamente fixado na maioria dos solos ácidos tropicais, aliado às características da planta.

O potássio foi o nutriente extraído em maior quantidade, tanto para cana-planta como para cana-soca. O enxofre foi extraído em quantidade superior à do fósforo, e, considerando-se que esse macronutriente é perdido por volatilização por ocasião da queima

do canavial e do palhiço residual, torna-se evidente a necessidade da adição do mesmo em solos carentes.

A ordem de extração de macronutrientes tanto para cana-planta como para cana-soca, foi:  $K > N > Ca > Mg > S > P$ . Conforme observado na Tabela 1, apenas o fósforo e o potássio foram removidos em maiores quantidades pela cana-soca.

Tabela 1 - Quantidade de macronutrientes removida por colmos + folhas pela variedade CB 4176, em cana-planta e cana-soca no 14<sup>o</sup> mês e 12<sup>o</sup> mês de idade, respectivamente (média de três solos)<sup>1</sup>.

Nutriente	Cana-planta	Cana-soca
	kg ha <sup>-1</sup> colmo industrial	
N	166,57	148,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20,14	22,66
K <sub>2</sub> O	202,81	192,04
CaO	113,63	72,53
MgO	58,15	50,88
SO <sub>4</sub>	48,70	44,79

Fonte: Orlando Filho & Zambello Júnior (1980)

Segundo Cesnik & Miocque (2004), o potássio representa o nutriente de maior importância nessa cultura, uma vez que ele aparece, nas suas determinações de análises foliares, em maiores proporções do que os demais nutrientes. A exemplo do nitrogênio e do fósforo, a sua maior concentração se verifica nas folhas novas. As partes inferiores da planta possuem menos potássio do que as superiores, em todos os estágios da cultura. A sua importância se acentuou após a verificação da sua correlação positiva com o teor de sacarose. O potássio é muito importante na translocação de carboidratos e proteínas, bem como na absorção da água. É também um ativador de enzimas. A sua deficiência provoca um retardamento no crescimento dos colmos, o que provoca, conseqüentemente, a sua debilidade e o adelgamento dos mesmos.

Segundo Lucchesi (2001), ao mesmo tempo que atua no processo de crescimento a partir da síntese de proteínas, o potássio atua diretamente na turgescência celular, na abertura dos estômatos e na assimilação de CO<sub>2</sub> portanto, a deficiência desse nutriente pode acarretar baixo desenvolvimento.

O excesso de potássio, no entanto, prejudica a riqueza da cana em açúcar, fato observado nas usinas que aplicavam em excesso a vinhaça em seus campos de plantio quando o mesmo foi proibido de ser vertido nos mananciais de água. O excesso provoca

também um grande aumento de cinza no açúcar. É fato, porém, que a cana vegeta bem nesses campos, servindo de maneira excelente para mudas na formação de novos canaviais (Cesnik & Miocque, 2004).

Raij (1991) relata que as razões para o efeito depressivo do potássio são várias. A principal é o efeito salino do cloreto de potássio sobre as plântulas. Além disso, em solos ácidos, o cloreto de potássio aumenta os teores de alumínio e manganês em solução, agravando assim os problemas da toxidez desses elementos. Um outro problema que ocorre nas aplicações localizadas de potássio é a probabilidade de perdas maiores por lixiviação, por causa da concentração de altas quantidades de potássio em área restrita de solo. Uma das alternativas do modo de aplicação, quando as doses são elevadas, é aplicar parte do potássio incorporado antes do plantio ou em cobertura.

Evidências existem de que em cana-de-açúcar há uma correlação positiva entre a relação K/N e o acúmulo de sacarose no colmo. Níveis elevados de K podem minimizar alguns efeitos negativos do excesso de N, tais como a diminuição da concentração de aminoácidos e amidas solúveis através de um aumento na síntese protéica (Crocomo & Silveira, 1983). Níveis elevados de nitrogênio, induzem maior atividade bioquímica das células meristemáticas, promovendo maior crescimento vegetativo, acarretando maior dispêndio de energia proveniente de açúcares fotossintetizados (Lucchesi, 2001).

Com relação aos micronutrientes, não existe comprovação de resposta significativa da cana ao uso dos mesmos, porém, a tendência é de resposta a boro, cobre, manganês e zinco, fato esse que já ocorre em algumas regiões específicas, como nos tabuleiros terciários do litoral do Nordeste, com exceção do boro, que apresenta o fenômeno do “sal cíclico”, isto é, os respingos da precipitação sobre a água do mar levam o mesmo para as regiões mais próximas do litoral. Uma das hipóteses da não resposta aos micronutrientes é provavelmente a sua ocorrência nos calcários, principalmente os de origem sedimentar (Vitti & Martins, 2001; Vitti, 2003).

Principalmente nos solos de menor fertilidade, o cobre e o zinco são os micronutrientes mais limitantes para a cana-de-açúcar. Nos Estados do Nordeste do Brasil, suas deficiências são mais frequentes (Orlando Filho, 1993).

## **2.5. Função de Resposta**

Sempre que possível, os fatores de produção devem ser adequadamente manejados e gerenciados pelo homem através de sistemas de planejamento, execução e controle,

visando a maximização das produtividades econômicas. Portanto, o objetivo final de uma exploração agrícola comercial é o lucro, que deve ser maximizado, respeitando-se os aspectos sociais e ambientais (Orlando Filho et al., 1994).

A teoria da produção fornece os princípios básicos para a análise dos custos de produção, da oferta de bens e serviços e da demanda pelos fatores de produção. Ela trata do estudo da unidade produtiva da economia – a firma ou a empresa – e visa a proporcionar ao empresário a base racional necessária para suas decisões. Ela consiste na análise de como o empresário, dado um certo nível de tecnologia, combina vários insumos para produzir determinado produto de um modo economicamente eficiente (Hoffmann et al., 1984).

Segundo Noronha (1984), existe, na literatura econômica, um grande número de publicações na área específica de análise econômica de experimentos. Mesmo no Brasil, o número de estudos neste campo de pesquisa vem crescendo rapidamente, apesar das dificuldades técnicas e administrativas próprias deste tipo de pesquisa. As dificuldades aparecem porque a análise econômica de experimentos requer conhecimento de, pelo menos, três áreas distintas de especialização: estatística, área técnica da cultura envolvida (por exemplo: fertilidade do solo) e economia. Reconhece-se que é difícil, para qualquer pesquisador, dominar suficientemente bem estas três áreas de conhecimento, ao mesmo tempo. Os problemas envolvidos, e geralmente mencionados nas pesquisas de análise econômica, referem-se a:

- a) adequação (ou não) dos modelos estatísticos à análise econômica;
- b) falta de entrosamento entre pesquisadores, sobretudo das áreas de economia com os demais; e
- c) dificuldades de comunicação, por causa da especificidade da linguagem técnica de cada pesquisador.

Os modelos de produção das culturas têm sido largamente utilizados, particularmente por economistas agrícolas, sendo denominados de função de produção (Hexem & Heady, 1978; Vaux & Pruitt, 1983). Estas funções de produção têm permitido a análise de problemas que envolvem o uso dos recursos, normalmente em termos de um ou dois insumos. A produção agrícola depende tanto de fatores de ordem administrativa quanto dos insumos, além da irrigação ou precipitação pluviométrica. A relação da produção agrícola com a irrigação também depende da salinidade do solo e da água de irrigação, da uniformidade das aplicações dos sistemas de irrigação, da variabilidade

espacial das propriedades físicas dos solos, das características varietais da cultura, e das práticas agrícolas (por exemplo, controle de pragas e doenças, fertilidade, população de plantas, espaçamento e data de plantio).

De acordo com Scaloppi (1983), a alternativa de reduzir a quantidade de água aplicada para aumentar a eficiência de aplicação tem sido considerada, principalmente em condições de irrigação suplementar. Considerando a economia da irrigação para um determinado sistema de produção, Peri et al. (1979) introduziram o conceito de lâmina ótima, através do qual, a altura da lâmina a ser aplicada deveria ser determinada em função do máximo retorno líquido para uma determinada irrigação. Esta informação baseia-se no conhecimento de funções de produção da água estabelecidas para cada condição específica.

Segundo Queiroz et al. (1996), uma relação entre preço da água e preço do produto inferior a um é um indicativo da viabilidade econômica da irrigação. Quanto menor for essa relação, menor deverá ser o déficit de água no manejo da irrigação. Embora os resultados confirmem essa asserção, dependendo da situação, mesmo a aplicação da lâmina ótima pode não justificar o investimento com a irrigação.

Se a irrigação possibilita a elevação da produtividade da lavoura canavieira e, conseqüentemente, dos seus rendimentos brutos, não menos verdade é que implica, também, elevação dos custos de produção. Ora, um empresário, admitindo-se sua racionalidade em condições normais, somente adotará esta tecnologia, ou qualquer outra em condições semelhantes, se a mesma proporcionar-lhe melhores resultados financeiros que os obtidos na situação em que se encontra. Mister se faz, pois, verificar os possíveis custos e ganhos da receita, decorrentes da adoção das técnicas de irrigação (Sousa et al., 1980).

Na agricultura irrigada, o fator água deve ser otimizado possibilitando, sem maiores riscos, aumentar a utilização dos demais insumos de produção e, por conseqüência, obter-se maiores produtividades com uma melhor combinação dos insumos empregados. Para tanto, o conhecimento das funções de produção ou superfícies de resposta é fundamental para auxiliar nas decisões, haja vista que estas funções possibilitam determinar as interações entre os diversos fatores que afetam a produtividade, e escolher as soluções mais condizentes com a realidade regional, permitindo assim o manejo racional da irrigação em bases técnicas e economicamente viável (Bernardo, 1998).

Segundo Valero & Mañas (1993), a otimização dos sistemas de irrigação podem realizar-se com critérios bem distintos. Cada situação é um caso especial, embora cabe

destacar a existência de quatro estratégias: a) maximizar a produção por unidade de superfície irrigada; b) maximizar a produção por unidade de água aplicada; c) maximizar o benefício da exploração agrícola; e d) racionalizar ou minimizar as necessidades energéticas. A bibliografia existente acerca das funções de produção versus água caracteriza suas expressões pela diversidade das variáveis independentes que são utilizadas para analisar o insumo água. As mais comumente empregadas são: a) a água aplicada mediante irrigação; b) o conteúdo de água no solo ou a tensão de água no mesmo; e c) a evapotranspiração. A variável água aplicada mediante irrigação é a mais utilizada para estudos econômicos, embora não seja a utilizada realmente no cultivo.

Em princípio, pode-se afirmar que não existe, em um dado ambiente e para uma determinada espécie vegetal cultivada, uma única representação gráfica de relação produção-volume de água de irrigação, em que a variável dependente (rendimento) dependa exclusivamente da variável “volume de irrigação” (independente). Com efeito, na natureza estas correlações estão determinadas não somente com a espécie vegetal, mas também com a variedade, idade das plantas e com as condições ambientais, edáficas e culturais. Não obstante, a base de ensaios repetidos durante vários anos, em que se fixam as variáveis que podem interferir, tem-se obtido representações gráficas que são traçados médios das relações produção – quantidade estacional de água de irrigação, válidas geralmente para as condições geográficas em que foram obtidas (Valero & Mañas, 1993)

As aplicações das funções de produção água-cultura são freqüentemente criticadas por serem empíricas, específicas de um local e incompletas, omitindo efeitos de muitos outros fatores e suas interações com a água (Frizzone, 1998). Entretanto, conforme salientam Vaux & Pruitt (1983) e Howell et al. (1992), as funções de produção são necessárias para prever, sob condições dadas de clima, cultivo e operação, as produtividades físicas marginais da água a serem utilizadas nas análises econômicas.

Embora a evapotranspiração (ET) seja o parâmetro hídrico associado mais diretamente ao rendimento das culturas, a quantidade de água aplicada por irrigação é a variável independente que mais interessa aos engenheiros, aos irrigantes e aos economistas. O conhecimento da natureza da relação entre rendimento e água aplicada permite estabelecer o consumo ótimo econômico de água durante o ciclo da cultura. Por outro lado, a repartição dessa quantidade de água nos diferentes estádios fenológicos é indispensável ao planejamento e manejo da irrigação (Stewart & Hagan, 1973).

De acordo com Hexem & Heady (1978), os modelos matemáticos que melhor se ajustam à relação água-produtividade e que são mais comumente utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são: Quadrático, Raiz Quadrada, Mitscherlich-Spillman e Potência  $3/2$ . Estes mesmos autores analisando modelos polinomiais para determinar a função de produção de milho em grãos, em diferentes anos e locais dos Estados Unidos, verificaram que os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram obtidos quando foi ajustado o modelo polinomial quadrático.

A vantagem de se exprimir os resultados em forma de uma equação matemática é que as quantidades do insumo podem ser expressas por valores correspondentes de produção, através de uma relação contínua. O trinômio de segundo grau freqüentemente ajusta-se bem a curvas de respostas, principalmente se forem evitadas doses muito elevadas. Não se deve extrapolar além da faixa de dados experimentais, pois em geral os valores calculados nessas condições são incorretos. (Rajj, 1991)

Segundo Solomon (1985) a curva de produção versus água aplicada, tem uma zona de déficit de água (zona I) e outra zona após o ponto de máxima produção, que é a zona de excesso de água (zona II). Para Hargreaves & Samani (1984) o trecho da curva da relação produção versus água aplicada até 50% da quantidade que resulta na produção máxima, pode ser considerado uma reta; a partir daí, os acréscimos de água aplicados correspondem a acréscimos progressivamente menores na produção, até o ponto de máxima produção, a partir do qual os acréscimos na produção são negativos.

De acordo com English (1990) quanto mais a quantidade de água aplicada se aproxima da irrigação sem déficit, menos eficiente é a irrigação. O declínio da curva de produção a partir do ponto máximo deve-se à diminuição da aeração do solo, à lixiviação dos nutrientes e doenças associadas com o solo úmido (Stegman et al., 1980).

Segundo Frizzone (1993), a função de resposta ou de produção é uma relação física entre as quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se pode obter do produto, para uma dada tecnologia conhecida. Assim ao se supor que a função de resposta representa o máximo que se pode obter com o uso de cada combinação de insumos, está se definindo uma relação funcional entre os insumos e o produto. A função de resposta pode ser expressa matematicamente na forma:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

em que  $y$  é a quantidade produzida e  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , são os insumos que participam desse processo e se transformam em  $y$ .

As expressões “função de resposta” e “função de produção” têm o mesmo sentido técnico, na literatura. Mas, em geral, existe uma preferência pela expressão “função de resposta”, quando se trata de estudos baseados em dados experimentais, prefere-se, porém, a expressão “função de produção” nos outros casos (Noronha, 1984).

Sousa (1997) trabalhando com três variedades de cana (RB 72454, RB 765418 e SP 701011) irrigadas por aspersão tipo canhão, obtiveram produtividades de colmos máximas de 155,8; 126,9 e 141,9 t ha<sup>-1</sup> com lâminas totais (precipitação efetiva mais irrigação) de água 1.568, 1.424 e 1.589 mm, além de produtividades máximas de açúcar estimadas, de 20,7; 17,1 e 19,3 t ha<sup>-1</sup> para lâminas totais de água de 1.678, 1474 e 1.602 mm, respectivamente.

## 2.6. Eficiência do uso da água (EUA)

A relação entre a produção da cultura e a quantidade de água aplicada através da irrigação é importante para agrônomos, engenheiros, economistas e administradores de recursos hídricos. Esta importância é atualmente acentuada devido à competição entre usuários, redução das reservas de água subterrânea, diversidade de instituições jurídicas, e degradação da qualidade da água (Howell, 1990).

A eficiência do uso da água refere-se a um parâmetro de rendimento total da colheita por unidade de água utilizada e o maior objetivo das pesquisas nesta área está em conseguir altos valores de EUA, mantendo-se altas produtividades. No entanto, a ênfase dada à tolerância à seca é frequentemente relacionada à sobrevivência da planta durante períodos de déficit hídrico, resultante do baixo fornecimento de água e alta radiação, temperatura e demanda evaporativa da atmosfera (Hernandez, 1991).

A caracterização fisiológica e agrônômica da EUA é definida de forma diferente da definição da engenharia, na qual a EUA significa a razão entre a quantidade de água armazenada na zona radicular da cultura e a água fornecida para irrigação (Bos & Nugteren, 1978). A caracterização da EUA pela engenharia é normalmente expressa em termos percentuais de volume (Howell, 1990).

O agricultor que eleva a produtividade do seu solo mediante drenagem, calagem, subsolagem apropriada, adubação orgânica e fertilizantes, está ao mesmo tempo conseguindo maior produção vegetal para cada unidade de água utilizada, ou seja,



consegue-se eficiência máxima quando se atinge ótimo rendimento agrícola. Inversamente, quando os rendimentos são limitados por algum fator isolado ou por uma combinação deles, a eficácia fica reduzida, isto é, torna-se necessária maior quantidade de água para produzir um quilograma de tecido vegetal (Brady, 1989).

Existem inúmeras evidências de que a fertilização adequada, levando-se em conta o potencial de produção das variedades, as práticas culturais, como o controle das pragas, e a disponibilidade de água, podem aumentar a EUA. O resultado final consiste em mais produto por unidade de água disponível, devido principalmente ao uso de fertilizantes que: a) estimula o crescimento inicial, aumentando a superfície foliar para a fotossíntese; b) aumenta o desenvolvimento das raízes, muitas vezes para dentro de camadas mais profundas de solo, o que aumenta o fornecimento de água para as plantas e, c) aumenta a cobertura vegetal da cultura e, portanto, aumenta a infiltração de água das chuvas, e assim reduz as perdas por escoamento superficial (Stewart, 1980).

Geralmente, as variedades altamente produtivas são também as mais sensíveis em suas respostas à água, aos fertilizantes e a outros insumos agrícolas. Por outro lado, as variedades de produtividade baixa, com menor resposta à água, podem ser mais adequadas para a produção de culturas de sequeiro em regiões propensas à seca. Para se alcançar rendimentos altos em condições de irrigação é necessário utilizar variedades altamente produtivas e que dêem a maior resposta à aplicação de água, de modo que se obtenha alta eficiência de utilização da água para o rendimento colhido (Doorenbos & Kassam, 2000).

O conhecimento da EUA torna possível para o agricultor saber a quantidade exata de água que deve ser utilizada na irrigação de espécies cultivadas em lugares secos e a seleção de espécies e variedades apropriadas (Larcher, 2000).

A irrigação, entretanto, pode aumentar o índice de EUA onde a fertilização seja adequada. A época de irrigação pode ser tão importante, ou mais, do que quanto de irrigação se fez. No entanto, para as condições de muitas culturas, a água é fator limitante durante pelo menos uma parte do período de crescimento. Conseqüentemente, o uso de fertilizantes precisa sempre levar em conta a disponibilidade de água para a época de cultivo. Se não houver água disponível, a resposta da cultura pode ser muito menor do que se esperava (Stewart, 1980).

Os níveis de nutrientes no campo são normalmente maiores próximos à superfície do solo, que é a primeira parte do perfil do solo a ser seco durante os ciclos de secagem. Embora o sistema radicular das plantas possam penetrar à partes mais profundas e úmidas

do solo, a relativa ausência de nutrientes no subsolo e a indisponibilidade dos mesmos na superfície podem limitar o desenvolvimento e o rendimento das culturas mais que o próprio déficit hídrico do solo (Begg & Turner, 1976).

Robertson et al. (1997), utilizando o modelo APSIM-Sugar, mostraram que a eficiência do uso da água em cana-de-açúcar diferiu entre os locais analisados na África do Sul e Austrália, e entre condições de cultura irrigada e de sequeiro. As EUA simuladas para Mackay (Austrália) e Pongola (África do Sul), foram de 15,4 e 10,1 t ha<sup>-1</sup> 100 mm<sup>-1</sup> para irrigação completa e 12,8 e 5,3 t ha<sup>-1</sup> 100 mm<sup>-1</sup> para condições de sequeiro, respectivamente.

Ao analisar a EUA proporcionado pela irrigação, Olivier & Singels (2004) encontraram resultados diversos quando compararam tanto os sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão, quanto o tipo de programação (turno fixo e variável). O aumento em toneladas de cana por 100 mm de água aplicada foram : 4,6 t 100 mm<sup>-1</sup> (aspersão, turno fixo), 8,5 t 100 mm<sup>-1</sup> (aspersão, turno variável), 2,8 t 100 mm<sup>-1</sup> (gotejamento, turno fixo) e 7,5 t 100 mm<sup>-1</sup> (gotejamento, variável).

A EUA não pode ser usada diretamente como uma função de resposta à água de uma cultura porque não é possível relacioná-la à mudança na produção vegetativa provocada por variações na umidade do solo ou qualquer outra variável agrícola. Todavia, a EUA fornece uma indicação direta da quantidade do produto vegetal que pode ser alcançado por unidade de volume de água absorvido pelas plantas (Burman & Pochop, 1994).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização e Caracterização da Área Experimental**

O experimento foi realizado na Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, do Grupo UNIAGRO, situado no município de Capim, PB. O solo predominante na fazenda é uma associação de Argissolo Vermelho-Amarelo, variação Acinzentado (SUDENE, 1972).

A fazenda se situa na latitude de  $6^{\circ}56'$ , na longitude de  $35^{\circ}07'$  e tem uma área irrigada de aproximadamente 600 ha com dois pivôs centrais rebocáveis, que se deslocam em seis bases de 50 ha cada uma (Figura 1). A altitude local é de 100 m, a temperatura média anual é de  $28^{\circ}\text{C}$ , a precipitação média anual é de 1.000 mm, com seis meses secos; com clima quente e úmido, com chuvas de outono a inverno (As' segundo W. Koeppen), sendo o bioclima classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente, de seca atenuada (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO-PB & UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 1985).

As características químicas e físico-hídricas do solo da área experimental estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3

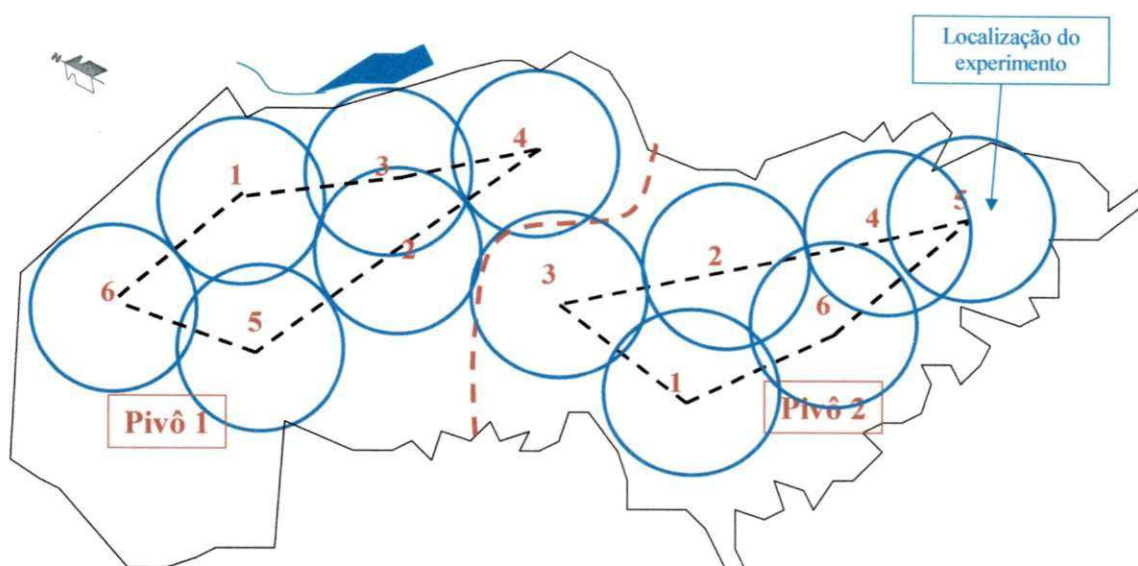


Figura 1 - Área irrigada da Fazenda Capim, da Destiladora Miriri, Município de Capim-PB, e localização das bases dos pivôs 1 e 2.

Tabela 2 - Análises químicas do solo coletado da Fazenda Capim II, da Destiladora Miriri, Município de Capim-PB, feitas pelo LIS (UFCG), após a colheita da terceira soca.

Características Químicas		Prof, cm
		0-20
Complexo Sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Cálcio	0,53
	Magnésio	1,03
	Sódio	0,17
	Potássio	0,09
	Alumínio	1,07
	Hidrogênio+ Alumínio	3,61
	Soma Bases	1,82
	CTC a pH 7,0	5,43
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausente	
Carbono Orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	13,8	
Matéria Orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	23,8	
Fósforo Disponível (mg kg <sup>-1</sup> )	17,69	
pH em água (1:2,5)	4,78	
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,02	

Tabela 3 – Análises físicas do solo da Fazenda Capim II, da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB, feitas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG.

Características Físico-hídricas	Profundidade do Solo (cm)		
	0-20	20-50	50-80
Granulometria(g kg <sup>-1</sup> )			
Areia	700	635	575
Silte	20	20	30
Argila	280	345	395
Classe textural	Média	Média	Argilosa
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,43	1,35	1,32
Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,70	2,70
Porosidade total (%)	46,66	50,06	51,00
Retenção de Umidade (g kg <sup>-1</sup> )			
0,10 atm	112,3	129,9	159,5
15,0 atm	63,0	81,4	100,4
Água disponível (g kg <sup>-1</sup> )	49,3	48,5	59,1
Água disponível (mm/cm de solo)	0,70	0,65	0,78
Água disponível na camada (mm)	14,10	19,64	23,40
Água disponível total (mm)	57,15		
Água aproveitável pela planta (75%), mm	42,86		

### 3.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições e esquema fatorial 4 x 4 (quatro lâminas de água e quatro níveis de adubação de cobertura), resultando em 16 tratamentos e totalizando 64 parcelas. As quantidades totais de água compreenderam a precipitação efetiva (Pe), mais lâminas de irrigação. As lâminas de irrigação foram aplicadas conforme o manejo adotado pela fazenda, em intervalos de 12 dias, nas quantidades: L<sub>0</sub> (área de sequeiro, sem fornecimento de água de irrigação); L<sub>1</sub> (13,8 mm correspondendo a 50% da lâmina de projeto; L<sub>2</sub> (27,5 mm, equivalente à lâmina de projeto utilizada na Fazenda Capim); e L<sub>3</sub> (41,3 mm referente à lâmina utilizada na Fazenda Capim, acrescida de 50%). Os níveis de adubação de cobertura (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) estão apresentados na Tabela 4.

- T<sub>1</sub> (L<sub>0</sub>A<sub>0</sub>) – Sequeiro (Pe) sem adubação de cobertura  
T<sub>2</sub> (L<sub>0</sub>A<sub>1</sub>) – Sequeiro (Pe) e 90 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>3</sub> (L<sub>0</sub>A<sub>2</sub>) – Sequeiro (Pe) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>4</sub> (L<sub>0</sub>A<sub>3</sub>) – Sequeiro (Pe) e 270 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>5</sub> (L<sub>1</sub>A<sub>0</sub>) – Lâmina 1 (13,8 mm + Pe) sem adubação de cobertura  
T<sub>6</sub> (L<sub>1</sub>A<sub>1</sub>) – Lâmina 1 (13,8 mm + Pe) e 90 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>7</sub> (L<sub>1</sub>A<sub>2</sub>) – Lâmina 1 (13,8 mm + Pe) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>8</sub> (L<sub>1</sub>A<sub>3</sub>) – Lâmina 1 (13,8 mm + Pe) e 270 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>9</sub> (L<sub>2</sub>A<sub>0</sub>) – Lâmina 2 (27,5 mm + Pe) sem adubação de cobertura  
T<sub>10</sub> (L<sub>2</sub>A<sub>1</sub>) – Lâmina 2 (27,5 mm + Pe) e 90 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>11</sub> (L<sub>2</sub>A<sub>2</sub>) – Lâmina 2 (27,5 mm + Pe) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>12</sub> (L<sub>2</sub>A<sub>3</sub>) – Lâmina 2 (27,5 mm + Pe) e 270 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>13</sub> (L<sub>3</sub>A<sub>0</sub>) – Lâmina 3 (41,3 mm + Pe) sem adubação de cobertura  
T<sub>14</sub> (L<sub>3</sub>A<sub>1</sub>) – Lâmina 3 (41,3 mm + Pe) e 90 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>15</sub> (L<sub>3</sub>A<sub>2</sub>) – Lâmina 3 (41,3 mm + Pe) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura  
T<sub>16</sub> (L<sub>3</sub>A<sub>3</sub>) – Lâmina 3 (41,3 mm + Pe) e 270 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura

Esta pesquisa abrangeu os dois últimos ciclos da cultura (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> socas), correspondendo ao período compreendido entre setembro de 2003 e outubro de 2005. A cultivar de cana (*Saccharum officinarum* L.) utilizada na pesquisa foi a SP 791011. A pesquisa foi iniciada com a implantação da cultura em agosto de 2000, cujos resultados obtidos com a colheita em setembro de 2001 foram utilizados para realização da tese de doutorado de Azevedo (2002). A colheita da primeira soca ocorreu em setembro de 2002, e serviu para produção das dissertações de Silva (2003) e Figueredo (2004). Nas dissertações de Silva (2003) e Carvalho (2003) podem ser observados os resultados oriundos da segunda soca.

Os tratamentos das adubações de cobertura foram compostas dos elementos N e K<sub>2</sub>O na proporção de 38,89% e 61,11%, respectivamente, tomando-se como base os níveis recomendados pela equipe de consultores da Destilaria Miriri (70 kg ha<sup>-1</sup> de N, 25 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), com base em parâmetros do solo e no rendimento econômico da cultura sob condições de sequeiro, considerando-se acréscimos que possibilitassem o desenho da curva que define a função de produção; e na quantidade de

nutrientes extraída do solo em kg por 100 t de colmos, segundo Orlando Filho (1978) e Orlando Filho & Zambello Júnior (1980). As fontes de nitrogênio, fósforo e potássio foram uréia, fosfato monoamônico (MAP) e cloreto de potássio, aplicados na terceira e quarta socas.

Tabela 4. Quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O por aplicação e por tratamento, em kg ha<sup>-1</sup>.

Níveis de adubação	Aplicações, kg ha <sup>-1</sup>							Total, kg ha <sup>-1</sup>	
	1 <sup>a</sup> . (2 meses AC <sup>1</sup> )			2 <sup>a</sup> . (4 meses AC)		3 <sup>a</sup> . (6 meses AC)			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N+K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
A <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	-	-	0	0
A <sub>1</sub>	35	25	55	-	-	-	-	90	25
A <sub>2</sub>	35	25	55	35	55	-	-	180	25
A <sub>3</sub>	35	25	55	35	55	35	55	270	25

<sup>1</sup>AC – após o corte

Após a colheita da 2<sup>a</sup> soca foi aplicada em todos os tratamentos:

- Matéria orgânica: 6 t ha<sup>-1</sup> de “gelosa” (subproduto da agroindústria);
- 1 t ha<sup>-1</sup> de gesso mais 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.

Na quarta soca não houve aplicações de gesso, de calcário e de adubações orgânica e fosfatada.

### 3.3. Condução do Experimento e Necessidade Hídrica da Cultura

O experimento foi instalado na base 5 do pivô 2 e os tratamentos em setores do pivô (Figura 2). As parcelas foram constituídas de 5 fileiras espaçadas de 1,2 m, comprimento de 16 m e com uma área total de 96 m<sup>2</sup>. A área útil da parcela era de 36 m<sup>2</sup>, compreendendo as três fileiras centrais com 10 m de comprimento cada uma, sendo a bordadura constituída de uma fileira de plantas de cada lado e de 1,0 m em cada extremidade da parcela útil (Figura 3). Os 4 m restantes foram destinados para as análises destrutivas de plantas para determinação de sua matéria seca.

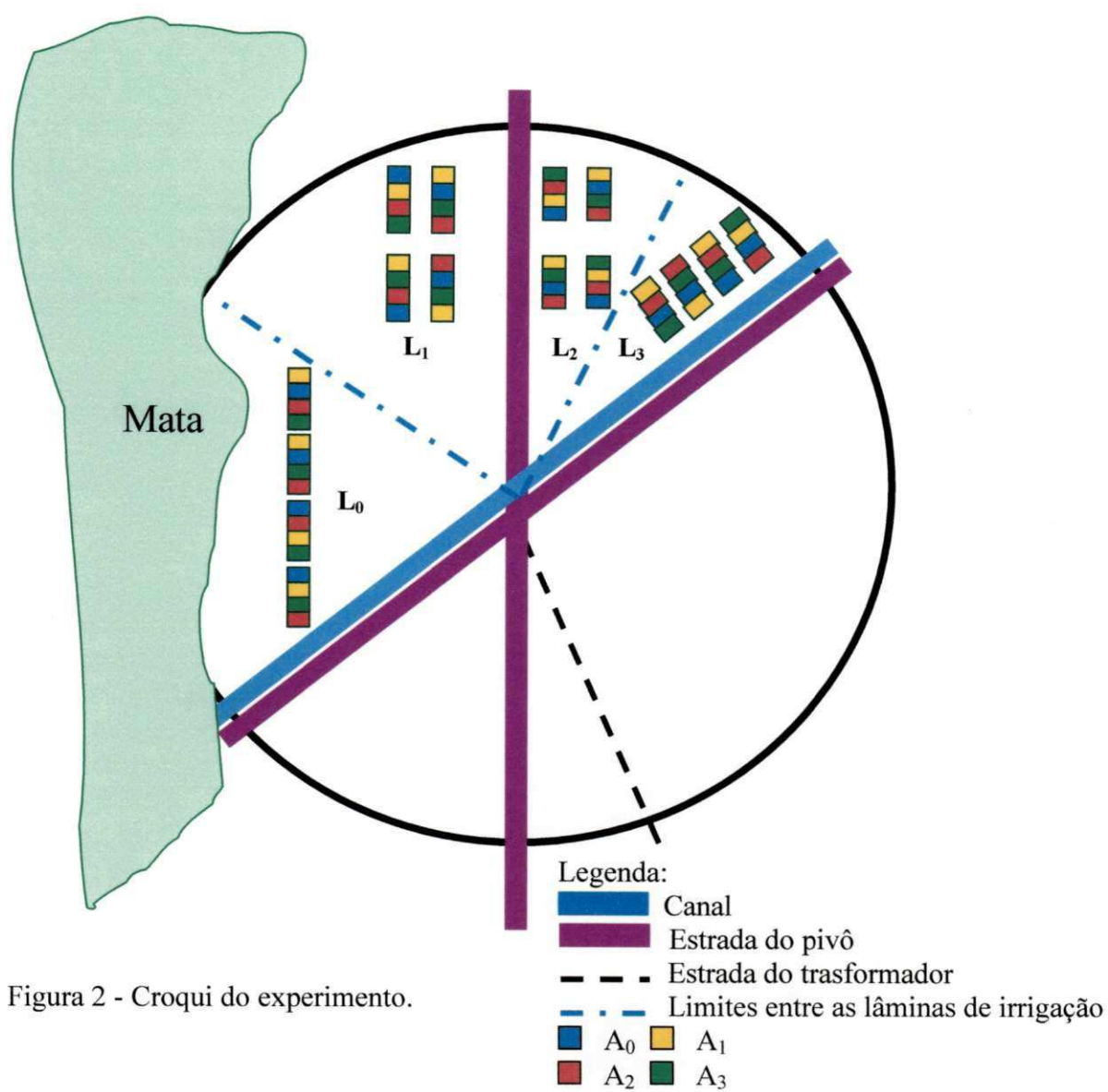


Figura 2 - Croqui do experimento.

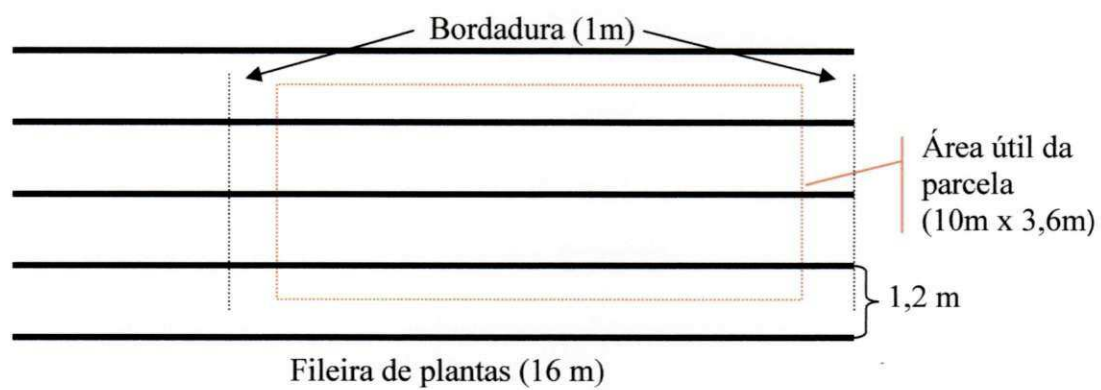


Figura 3. Detalhes das parcelas experimentais com 5 fileiras de plantas.



As lâminas foram aplicadas pelo sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central rebocável, variando-se as velocidades do equipamento, por setor, para se aplicar as diferentes lâminas dos tratamentos de irrigação, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5- Aplicação de água do pivô central 2 da Fazenda Capim, Destilaria Miriri, Município de Capim – PB

Leitura no Percentrômetro, %	Tempo por volta, h	Lâmina Bruta aplicada por volta, mm
10	98,0	70,5
<b>15</b>	<b>67,5</b>	<b>48,5 (41,3)</b>
17	57,4	41,3
20	49,0	35,3
<b>22</b>	<b>45,9</b>	<b>32,4 (27,5)</b>
25	39,0	28,2
30	33,0	23,5
35	28,0	20,2
40	25,0	17,6
<b>43</b>	<b>23,2</b>	<b>16,4 (13,8)</b>
50	20,0	14,1
70	14,0	10,0
80	12,0	8,8
90	11,0	7,8
100	10,0	7,0

( ) O valor entre parênteses representa a lâmina líquida

Sabendo-se que a demanda hídrica depende das condições meteorológicas, das características biológicas da cultura e dos seus estádios fenológicos, além das propriedades físicas do solo, estimou-se os parâmetros meteorológicos no sentido de avaliar como estes fatores (ambientais e fisiológicos) podem contribuir mais significativamente para incrementar o desenvolvimento e o rendimento agrícola, além de facilitar o estabelecimento de um manejo racional da água aplicada pela irrigação. Os dados mensais para determinação da demanda hídrica da cultura e do requerimento de irrigação encontram-se nos Anexos 1 e 2.

A quantidade de água aplicada em cada irrigação foi igual à evapotranspiração da cultura, calculada com base no tanque classe A, menos a precipitação efetiva. Os valores máximos aplicados em turnos de irrigação de 12 dias foram iguais ou menores que as lâminas líquidas por tratamento.

Os dados necessários para o estudo e determinações da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), foram obtidos da estação climatológica da própria fazenda. A Equação 2

foi utilizada para estimativa de  $ET_o$  pelo tanque classe A, de acordo com Doorenbos & Kassan (2000).

$$ET_o = k_t \cdot E_v \quad (2)$$

em que:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência (mm);

$E_v$  = evaporação do tanque ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );

$K_t$  = fator de transformação de  $E_v$  em  $ET_o$ .

A necessidade de água pela cultura, considerada igual a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), foi calculada a partir do produto entre a  $ET_o$  e o coeficiente da cultura ( $k_c$ ). Segundo Kuyper, citado por Doorenbos & Kassan (2000), os estádios fenológicos da cana-de-açúcar são: estágio I: estabelecimento; estágio IIa: intenso perfilhamento; estágio IIb: alongamento do caule; estágio IIIa: início de formação da colheita; estágio IIIb: fim de formação da colheita; e estágio IV: maturação (Tabela 6). Os valores dos coeficientes de cultura para cana-soca foram estimados a partir de tabelas (Brouwer & Heibloem, 1986).

Tabela 6 – Períodos de desenvolvimento para cana-soca e respectivos valores de  $k_c$ .

Idade da cultura (mês)	Estádio de desenvolvimento	Valor do $k_c$
0-1	Estabelecimento (I)	0,55
1-2	Intenso perfilhamento (IIa)	0,80
2-4	Alongamento do caule (IIb)	1,15
4-10	Início de formação da colheita (IIIa)	1,25
10-11	Fim de formação da colheita (IIIb)	0,95
11-12	Maturação (IV)	0,70

A precipitação efetiva foi estimada utilizando-se o método da razão entre a evapotranspiração de referência e a precipitação pluviométrica (Dastane, 1978). Para essa estimativa considerou-se  $ET_o$  menor que  $6 \text{ mm.dia}^{-1}$  e solo de textura média. Nos Anexos 3 e 4 encontram-se os cálculos para estimativa da precipitação efetiva nas safras agrícolas dos anos 2003/2004 e 2004/2005.

Para irrigação, pode-se definir precipitação efetiva como sendo a parte da precipitação que é utilizada pela cultura para atender sua demanda evapotranspirométrica.

Ou seja, é a precipitação total menos a parte que escoou sobre a superfície do solo e a parte que percola abaixo do sistema radicular da cultura (Bernardo, 1989).

De acordo com Brouwer & Heibloem (1986), em alguns casos, parte da necessidade hídrica de uma cultura (ETc) é fornecida pela água subterrânea através da ascensão capilar. Para o propósito deste trabalho, todavia, a contribuição por ascensão capilar não foi levada em consideração. Para cada intervalo de tempo do ciclo da cana-de-açúcar, o requerimento de irrigação pôde ser determinado a partir da Equação 3:

$$RI = ETc - Pe \quad (3)$$

em que:

RI = requerimento de irrigação (mm);

ETc = evapotranspiração da cultura (mm).

Vale destacar, no entanto, se toda a água necessária ao desenvolvimento ótimo da cultura for fornecida pela precipitação pluviométrica, a irrigação não será requerida e o RI será igual a zero (RI = 0). No caso de não haver precipitação durante determinado intervalo de tempo, toda a água deverá ser fornecida pela irrigação e conseqüentemente, RI = ETc.

O déficit hídrico foi calculado através da Equação 4:

$$DI = RI - LI \quad (4)$$

em que:

DI = déficit hídrico (mm);

RI = requerimento de irrigação (mm);

LI = lâmina de irrigação (mm)

### 3.4. Análise de Crescimento

Foram realizadas 5 coletas destrutivas de planta, ao longo do ciclo produtivo da quarta soca (safra 2004/2005), aos 74, 120, 210, 287 e 387 dias após o corte (DAC), para cada tratamento de água e um tratamento de adubação de cobertura (A<sub>2</sub>). Em cada data de amostragem, foi retirada a biomassa total correspondente a três plantas de cada parcela, sendo os respectivos pesos registrados, após secagem em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 70°C. Os efeitos dos tratamentos foram avaliados através da medição da produção de matéria seca total (MST), matéria seca de folhas (MSF), matéria

seca de colmos (MSC) e matéria seca de ponteiro mais bainhas (MSPB). Os ponteiros foram separados dos colmos no ponto de fragilidade ou facilidade de quebra do palmito.

Durante a coleta fez-se a contagem do número de perfilhos por metro linear, medindo-se 5 metros no interior da parcela útil e contando-se duas fileiras de plantas, totalizando 10 metros.

### 3.4.1. Índices de Crescimento Vegetal

#### a) Taxa de crescimento da cultura (TCC)

A partir das estimativas da produção total de biomassa seca, foi calculada a taxa média de crescimento da cultura (TCC), segundo a expressão de Hunt, citado por Rossiello et al. (1983):

$$TCC = \frac{MST_2 - MST_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

em que:

TCC = taxa de crescimento da cultura ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );

$MST_i$  = matéria seca total entre duas amostragens sucessivas ( $\text{g m}^{-2}$ );

$t_i$  = intervalo de tempo entre duas amostragens sucessivas (dia).

Segundo Lucchesi (1984), é um dos parâmetros mais importantes, pois retrata o incremento de matéria seca, por unidade de área do solo, por unidade de tempo, entre cada duas amostragens.

#### b) Taxa de crescimento relativo (TCR)

De acordo com Benincasa (2003), todo crescimento resultará da produção de material suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e ainda para armazenar e/ou construir novo material estrutural. Portanto, qualquer incremento em peso, altura ou área foliar ao longo de um determinado período estará diretamente relacionado ao tamanho alcançado no período anterior. Conceitualmente, a análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de matéria seca, está relacionado ao peso de matéria seca no instante em que se inicia o período de observação.

$$TCR = \frac{dMST}{dt} \quad (6)$$

Assim,

$$\text{TCR} = \frac{\ln \text{MST}_2 - \ln \text{MST}_1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

em que:

TCR = taxa de crescimento relativo ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

c) Razão de área foliar (RAF)

A área foliar, para cálculo da razão de área foliar, foi determinada pelo método de discos de diâmetro conhecido, com as folhas ainda frescas, utilizando furadores cilíndricos para obter amostras de áreas conhecidas (área da superfície do cilindro). Extraíram-se então discos de folhas em maior número possível e de várias partes da folha, sendo acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de aeração forçada e seca até peso constante. Os resíduos das folhas usadas para obtenção das amostras e aquelas que não foram usadas foram também acondicionadas em sacos e secas em estufa (Benincasa, 2003).

A área dessas folhas foi estimada a partir das relações entre matéria seca dos discos (MSD), área total dos discos (AD) e a matéria seca total das folhas (MSF) usadas, das folhas não usadas e dos discos:

$$\begin{array}{l} \text{MSD} \text{ ————— } \text{AD} \\ \text{MSF} \text{ ————— } \text{AF} \end{array}$$

em que:

AF = área foliar ( $\text{dm}^2$ )

Segundo Benincasa (2003), a RAF expressa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo uma componente morfo-fisiológica, pois é a razão entre área foliar (área responsável pela interceptação de energia luminosa e dióxido de carbono) e a matéria seca total (resultado da fotossíntese).

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF}}{\text{MST}} = \frac{\text{AF}}{\text{MSF}} \cdot \frac{\text{MSF}}{\text{MST}} \quad (8)$$

(AFE) (RPF)

em que:

RAF = razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ );

AFE = área foliar específica ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ );

RPF = razão de peso de folha ( $\text{g g}^{-1}$ ).

A área foliar específica (AFE) é o componente morfológico e anatômico da RAF, porque relaciona a superfície com o peso de matéria seca da própria folha. A superfície é o componente morfológico e o peso é o componente anatômico, pois está relacionado à composição interna (número e/ou tamanho das células do mesófilo foliar). A razão de peso de folha (RPF) é o componente fisiológico, já que é a razão entre o peso de matéria seca retida nas folhas e o peso de matéria seca acumulada na planta toda (no caso só foi considerada a parte aérea das plantas).

### 3.5 . Variáveis Analisadas

Em 06/10/04 e 18/10/05, foram realizadas, respectivamente, as colheitas da terceira e quarta socas. A colheita foi feita manualmente após a queima da cana. A avaliação da produção de colmos foi feita nas três fileiras centrais da área útil da parcela colhida, contado o número de colmos, pesada e calculada a produção, sendo esses valores convertidos para  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Porém, antes da colheita fez-se a contagem de todos os colmos industriais da parcela útil para determinação do número de colmos por metro linear, logo a seguir tomou-se ao acaso 12 colmos por parcela, nos quais foram feitas as medidas de comprimento e diâmetro médio. A mesma amostra foi enviada ao laboratório da destilaria Miriri onde foram determinadas as características tecnológicas da cana-de-açúcar, de acordo com Caldas (1998): sólidos solúveis (Brix, em %), sacarose (Pol do caldo, em %), fibra industrial na cana (%), pureza do caldo (%) e percentagem bruta de açúcar (PCC).

Os rendimentos brutos de álcool foram calculados de acordo com a metodologia apresentada por Caldas (1998) e utilizada na destilaria Miriri:

$$\text{Álcool} = ((\text{PCC} \cdot 1,052) + 0,7) \cdot 0,6475 \cdot \text{PC}/100 \quad (9)$$

em que:

Álcool = rendimento em álcool ( $\text{L ha}^{-1}$ );

PC = produtividade em colmos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### 3.6. Função de Resposta

Assumindo um único fator variável, a função de resposta da cultura é representada por uma função polinomial de segundo grau, expressa por:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (10)$$

em que Y é a produção da cana em kg de colmos ha<sup>-1</sup>; X é o fator variável em mm, quando se tratar do fator água, e em kg ha<sup>-1</sup>, quando o fator for adubação; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> são parâmetros da equação determinados através do software SISVAR.

A partir da Equação 10, obteve-se a quantidade do fator correspondente à máxima produtividade bem como a produtividade máxima (Frizzone, 1993), por intermédio das seguintes equações:

$$X_m = \frac{-b_1}{2 \cdot b_2} \quad (11)$$

$$Y_m = b_0 + b_1 \cdot X_m + b_2 \cdot X_m^2 \quad (12)$$

em que:

X<sub>m</sub> = lâmina ou nível de adubação correspondente à máxima produtividade;

Y<sub>m</sub> = máxima produtividade obtida.

No entanto, muito mais do que a produção máxima é importante determinar o nível econômico em função da lâmina de irrigação e da dose de adubação de cobertura, que proporcionam as máximas receitas líquidas. A quantidade do fator correspondente à máxima produtividade econômica e a máxima produtividade econômica foram obtidas a partir das Equações 13 e 14:

$$X^* = \frac{\frac{C_x}{P_y} - b_1}{(2 \times b_2)} \quad (13)$$

$$Y(X^*) = b_0 + b_1 \cdot X^* + b_2(X^*)^2 \quad (14)$$

em que: X\* = lâmina ou nível de adubação correspondente à máxima receita líquida econômica; C<sub>x</sub> = custo da unidade do fator (C<sub>L</sub> para água, em R\$ mm ha<sup>-1</sup> e C<sub>A</sub> para

adubação, em R\$ kg<sup>-1</sup>); P<sub>y</sub> = preço do produto agrícola; Y(X\*) = produtividade máxima econômica.

A receita líquida (R<sub>liq</sub>) pode então ser obtida através da Equação 15:

$$R_{liq} = P_y \cdot Y(X) - CF - (C_x \cdot X) \quad (15)$$

em que:

CF = custo fixo (R\$ ha<sup>-1</sup>);

Y(X) = produtividade obtida com a quantidade utilizada do fator.

Vale destacar que para determinação da produtividade e da receita líquida para o fator água, foram utilizadas a lâmina total (precipitação efetiva + lâmina líquida de irrigação) e a lâmina bruta de irrigação, respectivamente.

O produto físico marginal ou produtividade física marginal (PFM) do fator variável representa o aumento na produtividade decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator variável. O mesmo é obtido através da derivada primeira da função de produção, em relação ao fator considerado, ou seja, através da relação entre a variação da produtividade com a variação do fator variável, sendo representado pela seguinte equação:

$$PFM = \frac{dY}{dX} \quad (16)$$

em que:

dY/dX = derivada da função em relação ao fator considerado.

### 3.7. Custos de Produção

Para realização da análise econômica, foram fornecidos pela destilaria os dados referentes ao custo da lâmina de água (C<sub>L</sub>), custo do adubo (C<sub>A</sub>), custo fixo (CF) e preço do litro do álcool comercializado (P<sub>Y</sub>).

O custo da água foi obtido dividindo-se o valor do custo de energia elétrica (energia gasta x preço da energia) pela lâmina de água total aplicada no período, em mm (lâmina bruta de irrigação aplicada). Portanto, o custo unitário da água aplicada à cultura nas safras



2003/2004 (3ª soca) e 2004/2005 (4ª soca) foram de R\$ 0,79 mm<sup>-1</sup> e R\$ 0,82 mm<sup>-1</sup>, respectivamente.

O custo da adubação de cobertura (Tabela 7) foi composto pela aquisição dos fertilizantes no mercado local e o custo fixo compreendeu todos os custos de produção, excetuando-se os custos relacionados diretamente com os fatores estudados (água ou adubação) e os custos variáveis de colheita e transporte da cana (Tabela 8). Os preços de aquisição da uréia e do cloreto de potássio (KCl) foram, respectivamente, de R\$ 0,89 kg<sup>-1</sup> e R\$ 0,80 kg<sup>-1</sup> para a 3ª soca e de R\$ 1,07 kg<sup>-1</sup> e R\$ 0,86 kg<sup>-1</sup> para a 4ª soca.

Tabela 7 – Custo da adubação de cobertura<sup>1</sup> (nitrogênio mais potássio), em R\$ ha<sup>-1</sup>.

Descrição	3ª Soca			4ª Soca		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Adubação de cobertura	<b>145,42</b>	<b>290,84</b>	<b>436,26</b>	<b>165,16</b>	<b>330,32</b>	<b>495,48</b>
-Uréia	69,42	138,84	208,26	83,46	166,92	250,38
-Cloreto de potássio	76,00	152,00	228,00	81,70	163,40	245,10

<sup>1</sup> Fornecido pela Destilaria Miriri

Tabela 8 – Custos de colheita e transporte<sup>1</sup>, em R\$ ha<sup>-1</sup>.

Descrição	Níveis de Adubação			
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Colheita e transporte	<b>25,91</b>	<b>27,91</b>	<b>29,91</b>	<b>31,91</b>
-Operação de corte	6,74	7,74	8,74	9,74
-Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31
-Serviços prestados	0,00	1,00	2,00	3,00
-Transporte de pessoal	9,69	9,69	9,69	9,69
-Aluguel de veículos	0,46	0,46	0,46	0,46
-Aluguel de motos	0,70	0,70	0,70	0,70

<sup>1</sup> Fornecido pela Destilaria Miriri

O custo fixo para a safra agrícola 2003/2004 (3ª soca) apresentou-se maior do que a da safra agrícola 2004/2005 (4ª soca) porque foi acrescida dos custos relativos à aplicação da adubação orgânica (gelosa) e compra dos produtos MAP (fertilizante fosfatado), gesso e calcário dolomítico (Tabela 9). O custo fixo correspondente ao tratamento A<sub>0</sub> da 3ª soca foi obtido, subtraindo-se do custo fixo total os valores relacionados aos produtos citados anteriormente.

A depreciação, segundo Hoffman et al. (1984), é o custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados inúteis pelo desgaste físico (depreciação física) ou

quando perdem valor com o decorrer dos anos devido às inovações técnicas (depreciação econômica ou obsolescência).

Custo de exaustão é um tipo de custo que somente pode ser aplicado a recursos naturais exauríveis (finitos). Corresponde à perda de valor de uma reserva natural, decorrente da sua exploração com fins econômicos (equivale ao esgotamento dos recursos naturais disponíveis). Esse conceito deve ser aplicado em toda a cultura da qual seja extraído o caule, permanecendo apenas a raiz para formação da nova planta (Antunes e Ries, 1998).

Tabela 9 – Custos fixos da cultura da cana-de-açúcar<sup>1</sup>, em R\$ ha<sup>-1</sup>.

Descrição	Custo (R\$.ha <sup>-1</sup> )	
	3 <sup>a</sup> Soca	4 <sup>a</sup> Soca
<b>1. Insumos</b>	<b>640,79</b>	<b>128,10</b>
MAP	72,50	
Calcário	60,00	
Gesso	33,00	
Gelosa	360,00	
Herbicida	115,29	128,10
<b>2. Encargos</b>	<b>287,23</b>	<b>346,06</b>
Salários	197,64	238,12
Férias	22,34	26,92
13 <sup>o</sup> Salário	16,75	20,18
INSS	5,43	6,54
FGTS	28,02	33,76
EPI	17,05	20,54
<b>3. Materiais</b>	<b>44,02</b>	<b>50,03</b>
Combustíveis	32,90	37,39
Lubrificantes	11,12	12,64
<b>4. Remuneração do capital</b>	<b>2.227,97</b>	<b>2.531,78</b>
Depreciação	1.875,97	2.131,78
Exaustão	352,00	400,00
<b>Custo Fixo Total</b>	<b>3.200,01</b>	<b>3.055,97</b>

<sup>1</sup> Fornecido pela Destilaria Miriri

### 3.8. Eficiência do Uso da Água

A eficiência do uso da água (EUA) foi obtida pelo quociente entre o rendimento agrícola da cultura e a lâmina total de água fornecida (irrigação + precipitação efetiva) durante o ciclo da cultura, de acordo com a equação:

$$EUA = \frac{PC}{L} \quad (17)$$

em que:

EUA = eficiência do uso da água ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ );

PC = produtividade em colmos ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

L = lâmina total de água fornecida (mm).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Regime Hídrico**

A colheita da 3ª soca (safra agrícola 2003/2004) foi realizada no dia 06 de outubro de 2004, totalizando 381 dias, já a 4ª soca (safra agrícola 2004/2005), foi colhida no dia 18 de outubro de 2005, completando um ciclo de 378 dias. O ciclo da 3ª soca foi caracterizado pela ocorrência de elevadas precipitações pluviométricas que proporcionaram a suspensão da irrigação logo no início do mês de janeiro, sendo realizadas apenas 7 irrigações até esse mês. Nesse período as precipitações foram acima da média histórica do local, totalizando-se 1.761 mm. Enquanto a safra seguinte caracterizou-se por apresentar maior deficiência hídrica, cuja precipitação pluviométrica foi de apenas 1.104 mm e foram realizadas 15 irrigações.

Pode-se visualizar, nas Figuras 4 e 5, a evolução dos dados de precipitação pluviométrica e de necessidade de água da cultura (ETc), ao longo do tempo. Os maiores valores de ETc, no ciclo da 3ª soca, foram observados no período compreendido entre o fim da fase de intenso perfilhamento (IIa) e metade da fase de início de formação da colheita (IIIa). Os menores valores ocorreram nas fases de estabelecimento (I), fim de formação da colheita (IIIb) e maturação (IV). No ciclo seguinte, as máximas demandas de água da cultura ficaram entre as fases de intenso perfilhamento e início de formação da colheita, as menores foram no estabelecimento da cultura, fim da formação da colheita e maturação.

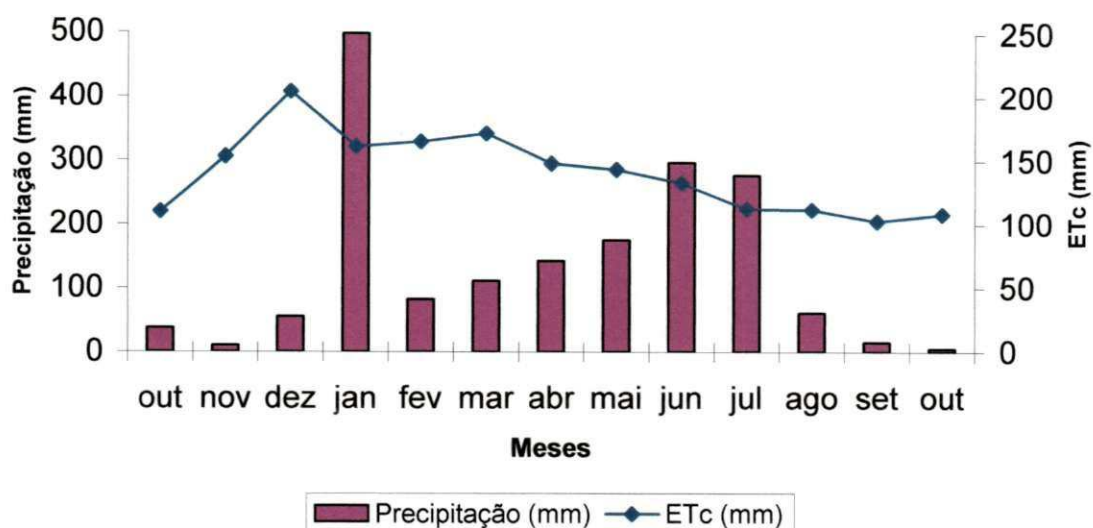


Figura 4 – Variação anual média da precipitação e da ETc, na safra agrícola 2003/2004, (3ª soca).

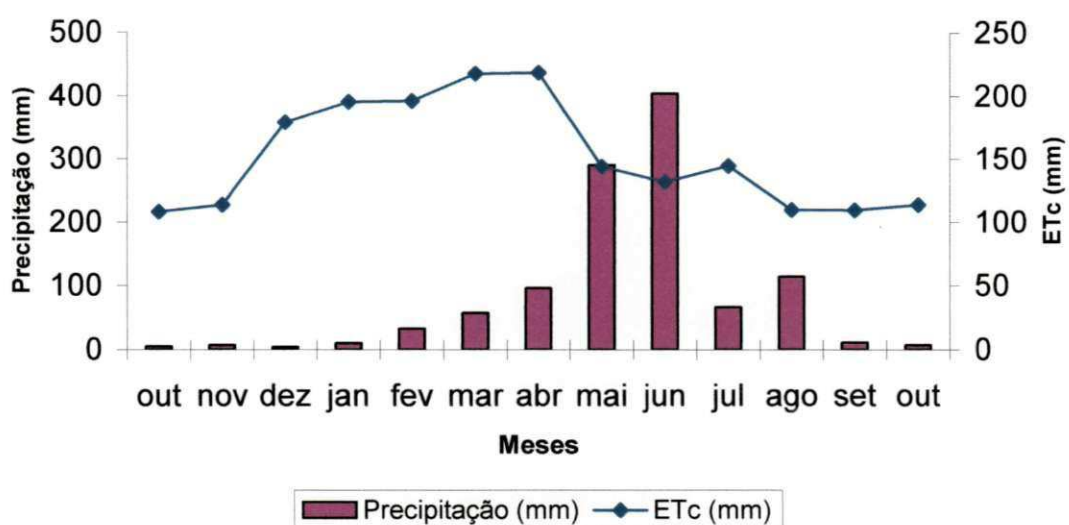


Figura 5 – Variação anual média da precipitação e da ETc, na safra agrícola 2004/2005, (4ª soca).

Na Tabela 10 encontram-se os dados de demanda hídrica por estágio de desenvolvimento da cultura com base no requerimento de água e nas lâminas líquidas de irrigação aplicadas.

Os maiores valores de requerimentos de irrigação foram verificados entre os períodos de perfilhamento e início de formação da colheita e na fase de maturação para ambos os ciclos, porém na 4ª soca houve um requerimento mais intenso, principalmente nos estádios de alongamento do caule (III) e início de formação da colheita (IV), onde a cana é mais sensível ao déficit hídrico. Os requerimentos de irrigação ou déficits hídricos nos tratamentos L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, para 4ª soca, foram aproximadamente 60,35; 52,63; 42,88 e 29,18% superiores registrados nos mesmos tratamentos do ciclo anterior, respectivamente.

Tabela 10 - Demanda hídrica da cultura por estágio de desenvolvimento durante os ciclos produtivos de terceira soca (safra 2003/2004) e quarta soca (safra 2004/2005).  
Capim - PB.

Parâmetros durante a 3ª soca (mm)	Estádios de desenvolvimento						Total
	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IV	
Requerimento de irrigação (L <sub>0</sub> )	74,2	121,3	196,9	219,1	32,9	126,5	<b>771,0</b>
Lâmina de irrigação L <sub>1</sub> (13,8 mm)	27,6	27,6	41,4	0,0	0,0	0,0	96,6
Déficit hídrico em L <sub>1</sub> (mm)	46,6	93,7	155,5	219,1	32,9	126,5	<b>674,4</b>
Lâmina de irrigação L <sub>2</sub> (27,5 mm)	55,0	55,0	82,5	0,0	0,0	0,0	192,5
Déficit hídrico L <sub>2</sub> (mm)	19,2	66,3	114,4	219,1	32,9	126,5	<b>578,5</b>
Lâmina de irrigação L <sub>3</sub> (41,3 mm)	82,6	82,6	123,9	0,0	0,0	0,0	289,1
Déficit hídrico em L <sub>3</sub> (mm)	0,0	38,7	73,0	219,1	32,9	126,5	<b>490,3</b>
Déficit hídrico em L <sub>0</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	2,5	3,9	3,2	1,20	1,06	2,69	
Déficit hídrico em L <sub>1</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	1,6	3,0	2,6	1,20	1,06	2,69	
Déficit hídrico em L <sub>2</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	0,6	2,1	1,9	1,20	1,06	2,69	
Déficit hídrico em L <sub>3</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	0,0	1,3	1,2	1,20	1,06	2,69	
Parâmetros durante a 4ª soca (mm)	Estádios de desenvolvimento						Total
	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IV	
Requerimento de irrigação (L <sub>0</sub> )	85,9	119,6	361,6	505,7	24,7	138,7	<b>1236,3</b>
Lâmina de irrigação L <sub>1</sub> (13,8 mm)	27,6	27,6	69,0	41,4	13,8	27,6	207,0
Déficit hídrico em L <sub>1</sub> (mm)	58,3	92,0	292,6	464,3	10,9	111,1	<b>1029,3</b>
Lâmina de irrigação L <sub>2</sub> (27,5 mm)	55,0	55,0	137,5	82,5	27,5	55,0	412,5
Déficit hídrico L <sub>2</sub> (mm)	30,9	64,6	224,1	423,2	0,0	83,7	<b>826,5</b>
Lâmina de irrigação L <sub>3</sub> (41,3 mm)	82,6	82,6	206,5	123,9	41,3	82,6	619,5
Déficit hídrico em L <sub>3</sub> (mm)	3,3	37,0	155,1	381,8	0,0	56,1	<b>633,3</b>
Déficit hídrico em L <sub>0</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	2,7	4,0	5,8	2,8	0,8	3,3	
Déficit hídrico em L <sub>1</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	1,8	3,1	4,7	2,6	0,4	2,6	
Déficit hídrico em L <sub>2</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	1,0	2,2	3,6	2,3	0,0	2,0	
Déficit hídrico em L <sub>3</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	0,1	1,2	2,5	2,1	0,0	1,3	

## 4.2. Análise de Crescimento para a Quarta Soca

### 4.2.1. Perfilhamento

Pode ser verificado, conforme Tabela 11 e Figura 6, que a cultura apresentou diferenças no número de perfilhos por metro linear entre os tratamentos irrigados e o de sequeiro em praticamente todas as épocas de amostragem, exceto aos 287 dias após o corte (DAC). No período inicial de desenvolvimento (até os 120 DAC), ocorreu, na área irrigada, um aumento acentuado no número de perfilhos, seguido de queda brusca logo a seguir (210 DAC). Essa queda durante a fase de pleno crescimento é uma característica da cultura, sendo ocasionada pela competição entre as plantas por água e nutrientes e pelo auto-sombreamento das plantas mais desenvolvidas. Todavia, o tratamento de sequeiro ( $L_0$ ) comportou-se de maneira diferente, não havendo intenso perfilhamento ao longo de todo período do seu desenvolvimento. Isto indica que em condições severas de estresse hídrico há uma mudança no padrão de perfilhamento da cana-de-açúcar, ao contrário do que afirmaram Thompson & Du Toit ; Gosnell e Planalsucar, citados por Machado et al. (1982), e confirmando as afirmações de Inman-Bamber & Smith (2005) de que pode ser necessário incluir os efeitos do estresse hídrico sobre a população de colmos e a área foliar no caso de estresse hídrico muito severo.

Este comportamento de intenso perfilhamento favorece o fechamento do dossel impedindo o desenvolvimento de plantas invasoras. Resende Sobrinho et al. (1984) observaram uma redução de 25% no número de colmos e de 17% na produção, em soqueira de primeiro corte infestada por essas plantas. Além disso, com o fechamento do canavial, tem-se oportunidade de efetuar aplicação de fertilizantes nitrogenados e potássicos, que são mais susceptíveis a perdas por lixiviação. Outro aspecto importante desse atraso no perfilhamento, é a perda de qualidade do caldo na sua industrialização, proveniente da diversidade de maturação da população de perfilhos (Cesnik & Miocque, 2004).

Embora não tenha sido medido o grau de infestação por plantas invasoras, observou-se no experimento que os tratamentos  $L_0$  e  $L_1$  apresentaram grande incidência dessas plantas, que provavelmente tenha contribuído, juntamente com o déficit hídrico, para os baixos números de plantas por metro linear.

Tabela 11 - Número de perfilhos por metro linear em função dos níveis de irrigação, ao longo de diferentes períodos de desenvolvimento do ciclo da 4ª soca.

Tratamentos	Número de perfilhos m <sup>-1</sup> linear				
	Dias após o corte (DAC)				
	74	120	210	287	373
L <sub>0</sub> (671 mm)	6,63	6,98	7,55	8,13	6,40
L <sub>1</sub> (880 mm)	11,25	15,38	9,98	7,98	8,11
L <sub>2</sub> (1084 mm)	11,80	14,43	10,38	9,20	9,56
L <sub>3</sub> (1289 mm)	11,90	14,58	10,28	9,63	9,47

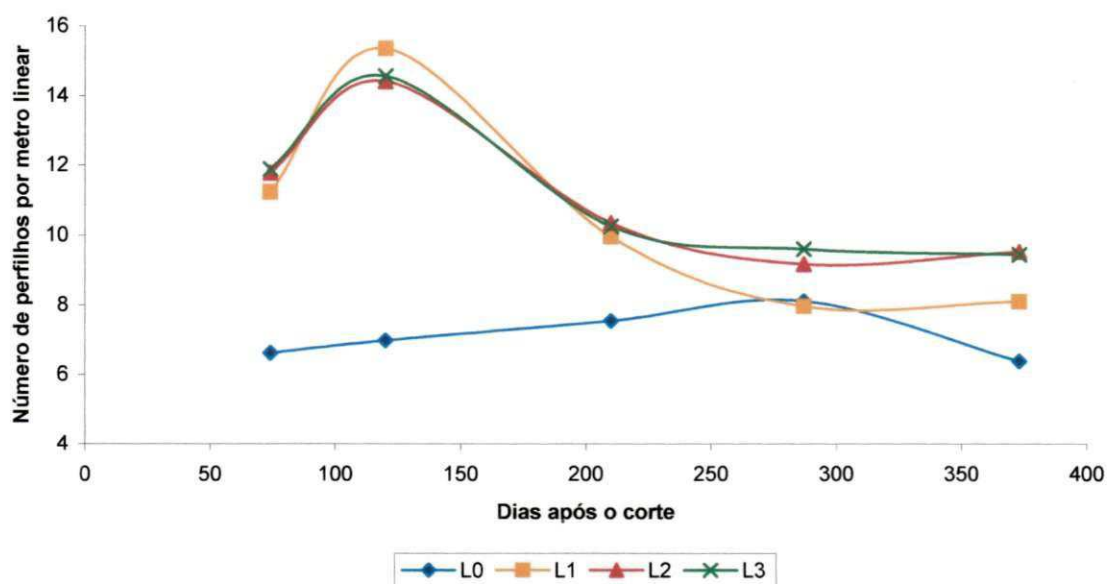


Figura 6 – Número de perfilhos durante o ciclo produtivo da quarta soca.

As reduções no número de plantas por metro linear, entre o período de máximo perfilhamento e a última data de coleta foram, para os tratamentos L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, de 21, 47, 33 e 35%, respectivamente (Tabela 11 e Figura 6). Considerando os valores referentes à última data de coleta, as reduções no tratamento de sequeiro em relação aos tratamentos L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> foram de 21, 33 e 32%, respectivamente.

Farias (2001), estudando a mesma cultivar (SP 791011), encontrou resultados que apontaram reduções no perfilhamento e no número final de colmos na área de sequeiro de 41,5 e 37,7%, respectivamente, quando comparado à área irrigada. De acordo com Silva et al. (2003), o número de colmos industriais por metro linear varia de 8 a 20, dependendo da variedade, da fertilidade do solo, do clima e dos tratos culturais. Dessa forma, os resultados encontrados demonstram que o tratamento L<sub>0</sub> está, no momento próximo à colheita, fora dos limites mínimos de número de plantas, enquanto os irrigados encontram-se dentro desse limite.



#### 4.2.2 Acúmulo e partição da matéria seca

Os valores de acúmulo de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ), para as quatro lâminas de água analisadas, nas diferentes épocas do ciclo biológico, estão apresentados na Tabela 12 e Figura 7. Observa-se que o acúmulo de matéria seca na parte aérea da planta apresentou comportamento diferenciado entre os tratamentos irrigados e o de sequeiro.

Verifica-se que no final da primeira fase de desenvolvimento (0 a 74 DAC), o tratamento de sequeiro já apresentava uma quantidade de matéria seca total inferior aos demais tratamentos. Durante a fase de intenso perfilhamento (74 a 120 DAC), quando a parte aérea da planta apresenta um elevado acúmulo de matéria seca, a diferença entre as áreas de sequeiro e irrigadas aumentaram de forma mais acentuada. Neste período, o tratamento de sequeiro aumentou apenas 21% de sua matéria seca, passando de  $66,21 \text{ g m}^{-2}$  para  $80,42 \text{ g m}^{-2}$ , enquanto isso, as lâminas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  aumentaram, respectivamente, em 189 %, 239 % e 345 % a quantidade de matéria seca por área de terreno.

Ainda na segunda fase, caracterizada como período de alongamento do colmo, entre os 120 e 210 DAC, observa-se que o acúmulo de matéria seca na área de sequeiro foi de 287 %, passando de  $80,42 \text{ g m}^{-2}$  para  $310,84 \text{ g m}^{-2}$ , já para os tratamentos  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , os aumentos foram de 21, 62 e 77%, respectivamente.

Esse aumento significativo de matéria seca na lâmina  $L_0$  coincide com o início das chuvas, que deve ter proporcionado melhores condições para o crescimento da cultura influenciada pela redução no déficit hídrico.

Com a continuidade e intensificação das chuvas, todos os tratamentos aumentaram consideravelmente o conteúdo de matéria seca, entre as amostragens realizadas aos 210 e 287 DAC, com a planta de sequeiro apresentando aumento de 244%, e as lâminas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  com incrementos de 156, 97 e 111%, respectivamente.

Na fase final de desenvolvimento (início da senescência e maturação), entre os 287 e 373 DAC, as plantas continuaram a aumentar sua massa seca total, no entanto, num ritmo menos intenso, que é característico dessa fase. A área de sequeiro acumulou apenas 16 %, enquanto as lâminas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  acumularam 50, 58 e 47%, respectivamente. Isto mostra que as plantas dos tratamentos irrigados continuaram a sintetizar carboidratos de maneira mais eficiente que as do tratamento de sequeiro durante essa última fase de desenvolvimento.

Tabela 12 - Acumulação de matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ ) da parte aérea da cana, sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos seus períodos de desenvolvimento.

Dias após o corte	Partes da planta	Lâminas de água			
		L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
74	Folha	42,65	76,33	89,06	75,30
	Colmo	-	-	-	-
	Ponteiro+Bainha	23,56	42,38	60,10	43,69
	Total	66,21	118,71	149,16	118,99
120	Folha	53,83	219,07	264,27	265,57
	Colmo	-	-	63,63	74,44
	Ponteiro+Bainha	26,59	124,13	177,53	189,07
	Total	80,42	343,20	505,43	529,08
210	Folha	166,73	181,13	270,61	252,30
	Colmo	66,90	143,93	412,16	553,75
	Ponteiro+Bainha	77,21	91,57	139,14	130,12
	Total	310,84	416,63	821,91	936,17
287	Folha	250,97	237,87	300,83	320,04
	Colmo	684,16	715,47	1.165,73	1.500,30
	Ponteiro+Bainha	134,53	112,97	153,27	155,43
	Total	1.069,66	1.066,31	1.619,83	1.975,77
373	Folha	210,61	215,78	266,95	271,49
	Colmo	916,98	1.276,14	2.123,50	2.486,36
	Ponteiro+Bainha	114,93	110,82	72,65	147,50
	Total	1.242,52	1.602,74	2.563,10	2.905,35

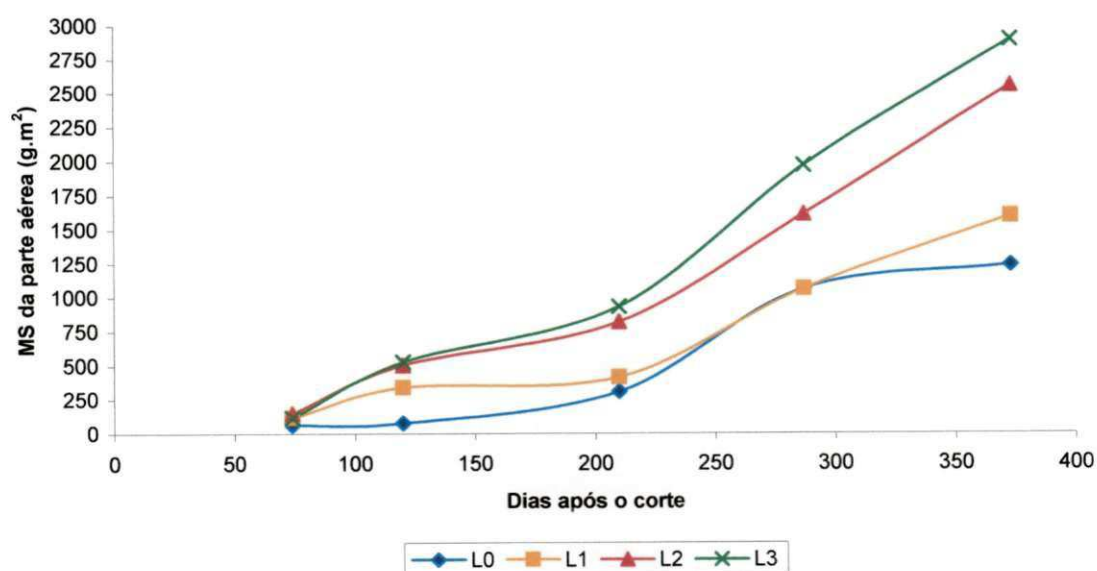


Figura 7 – Matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos períodos de desenvolvimento ( $\text{g.m}^{-2}$ ).

Para se ter uma idéia da influência do déficit hídrico, constatou-se uma redução percentual na acumulação de matéria seca total do tratamento L<sub>3</sub> quando comparado aos tratamentos L<sub>2</sub>, L<sub>1</sub> e L<sub>0</sub>, aos 373 DAC, na ordem de 11,78, 44,83 e 57,23%, respectivamente.

A contribuição percentual na produção de matéria seca de diferentes partes da planta (colmo, folha e ponteiro mais bainhas), em relação ao respectivo período de coleta, está representada na Figura 8. Nela podemos observar a variação no comportamento da planta nos tratamentos das áreas irrigadas e de sequeiro.

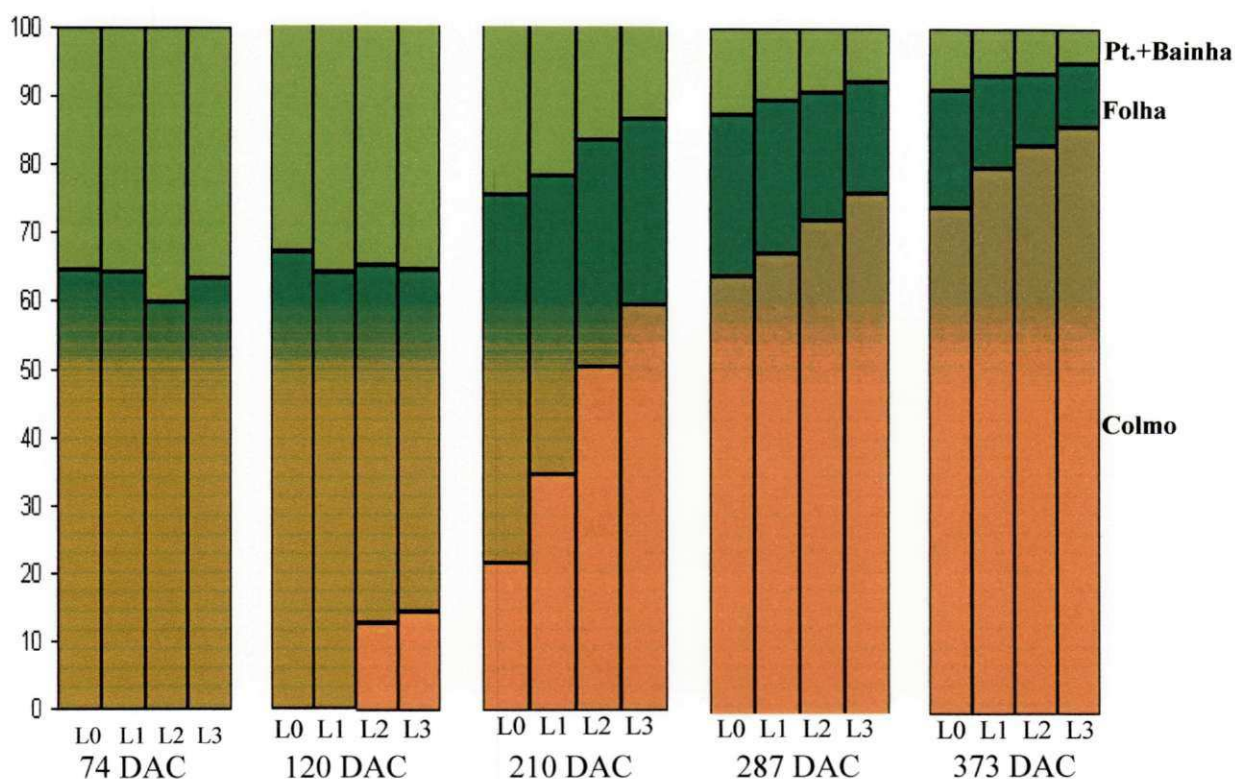


Figura 8 – Acumulação de matéria seca em diferentes componentes da cana (% do total em cada data de amostragem), para as quatro lâminas de água aplicadas.

Embora, ao longo do tempo, haja uma maior contribuição relativa das folhas para os tratamentos que receberam menos água (Figura 8), isso não quer dizer que ocorrerá o mesmo em termos quantitativos, verifica-se, portanto uma maior quantidade em peso da matéria seca das folhas à medida que aumenta a lâmina de irrigação (Tabela 12).

Com relação ao colmo, somente a partir da terceira coleta (210 DAC) é que se começa a contabilizar a sua participação nos tratamentos L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub>, já para os tratamentos L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, a ocorrência foi na segunda coleta (120 DAC). A contribuição percentual para o

colmo apresenta tendência inversa à observada para as folhas, assim, à medida que aumenta o fornecimento de água para as plantas, aumenta-se também a contribuição dos colmos em relação à matéria seca total. Nas datas subsequentes ao surgimento do colmo, a sua participação relativa, como receptor de matéria seca, torna-se maior que a das outros componentes da parte aérea da cana-de-açúcar. Observa-se, ainda, que houve contribuição para o crescimento do colmo, através da mobilização de matéria seca armazenada, tanto das folhas como dos ponteiros e bainhas (Figura 8).

Outra maneira de se verificar a acumulação de matéria seca das diferentes partes da planta, ao longo do tempo, é analisar a sua contribuição percentual em relação à produção total da última coleta (Tabela 13). Vê-se nessa tabela que o tratamento de sequeiro chega no período que antecede à maturação (287 DAC) com 86 % da matéria seca total produzida, que dará até a colheita um acréscimo de apenas 14 %, valor esse bem abaixo dos acréscimos de 33 %, 37 % e 32 % para L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, respectivamente.

Tabela 13 - Contribuição (%) de diferentes componentes da planta, nos diversos períodos de amostragem, em relação à produtividade próxima à colheita (373 DAC).

Dias após o corte	Componentes da planta	Lâminas de água			
		L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
74	Folha	3,43	4,76	3,47	2,59
	Colmo	-	-	-	-
	Ponteiro+Bainha	1,90	2,64	2,34	1,50
	Total	5,33	7,40	5,81	4,09
120	Folha	4,33	13,67	10,31	9,14
	Colmo	-	-	2,48	2,56
	Ponteiro+Bainha	2,14	7,74	6,93	6,51
	Total	6,47	21,41	19,72	18,21
210	Folha	13,42	11,30	10,56	8,68
	Colmo	5,38	8,98	16,08	19,06
	Ponteiro+Bainha	6,21	5,71	5,43	4,48
	Total	25,01	25,99	32,07	32,22
287	Folha	20,20	14,84	11,74	11,01
	Colmo	55,06	44,64	45,48	51,64
	Ponteiro+Bainha	10,83	7,05	5,98	5,35
	Total	86,09	66,53	63,20	68,00
373	Folha	16,95	13,46	10,41	9,34
	Colmo	73,80	79,62	82,85	85,58
	Ponteiro+Bainha	9,25	6,91	6,74	5,08
	Total	100,00	100,00	100,00	100,00

### 4.2.3. Taxa de crescimento da cultura (TCC)

As maiores TCC, conforme a Tabela 14 e Figura 9, ocorreram entre os 7 e 10 meses, período que coincidiu com os índices mais altos de pluviosidade da região. No tratamento L<sub>0</sub>, a TCC máxima foi de 9,85 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e a média, de 3,68 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em L<sub>1</sub> a TCC máxima foi de 8,44 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e a média, de 5,09 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em L<sub>2</sub> a TCC máxima foi de 10,97 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e a média, de 8,15 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, e no tratamento L<sub>3</sub>, a TCC máxima foi de 13,50 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e a média foi de 9,44 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Tabela 14 - Taxa de crescimento da cultura, quarta soca, em cinco épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas.

DAC	TCC (g m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )			
	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
74-120	0,31	4,88	7,75	8,92
120-210	2,56	0,82	3,52	4,52
210-287	9,85	8,44	10,36	13,50
287-373	2,01	6,24	10,97	10,81
Média	3,68	5,09	8,15	9,44

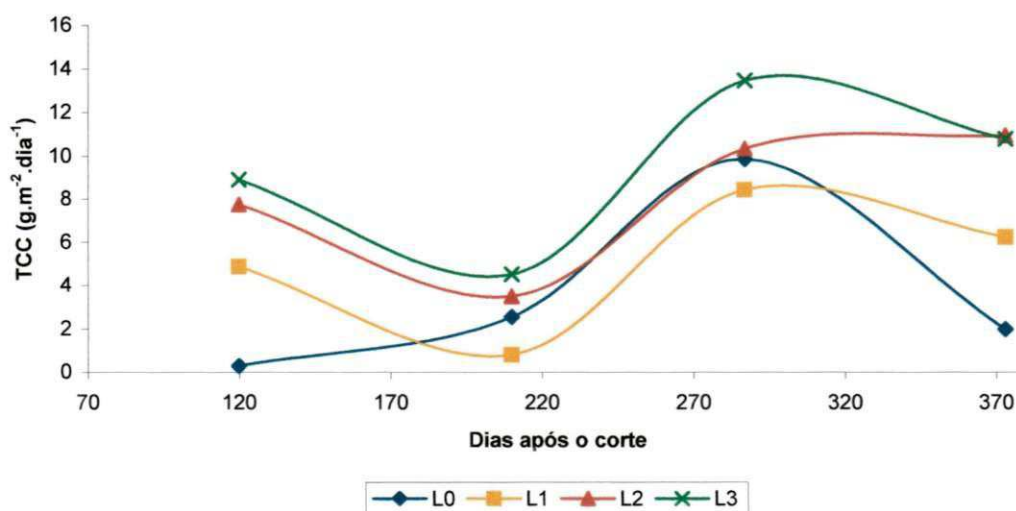


Figura 9 - Comportamento da TCC (4<sup>a</sup> soca), ao longo das épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas.

Com a regularidade e intensificação das chuvas, observada entre os 210 e 287 DAC, a TCC apresentou aumentos em torno de 3,85; 10,34; 2,95 e 2,98 vezes, nos tratamentos L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, respectivamente.

Verifica-se que a diferença na quantidade de água fornecida à cultura, proporcionada pela irrigação, foi fundamental para que houvesse um crescimento inicial mais acentuado nos tratamentos L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, em detrimento dos tratamentos L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub> que mais sofreram com o déficit hídrico. Essa fase coincide com o período de grande perfilhamento e de acumulação em massa seca da cultura, como pode ser observado na Tabela 11.

Machado et al. (1982), para a cultivar NA 5679, obtiveram taxas de crescimento máxima de 25 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, e média de 12 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, no entanto, Oliveira et al. (2004) obtiveram TCC máxima em torno de 15 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, para as cultivares RB 855113 e RB 855536, enquanto para a cultivar RB 72454 o valor foi de aproximadamente 24 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

#### 4.2.4. Taxa de crescimento relativo da cultura (TCR)

As variações da taxa de crescimento relativo ao longo do ciclo fenológico, em função de diferentes lâminas de água, são mostradas na Figura 10. Observa-se que os comportamentos entre as lâminas L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> foram bastante semelhantes, apresentando valores maiores no início do ciclo da cana-de-açúcar, ocorrendo redução na diferença entre ambos com o desenvolvimento da planta. O comportamento da TCR em L<sub>1</sub> acompanhou os verificados em L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> no início do ciclo até os 210 DAC, posteriormente o seu comportamento assemelhou-se mais ao observado no tratamento de sequeiro (L<sub>0</sub>), notadamente por não ter crescido suficientemente, devido o estresse hídrico severo, havendo um aumento acentuado da TCR, como ocorreu com L<sub>0</sub>, com o início do período chuvoso aos 220 DAC. Tanto o perfilhamento como o início da ocorrência de chuvas mais intensas afetaram diretamente os índices da TCR. De uma maneira geral, no início do desenvolvimento da cultura, há um maior acúmulo de matéria seca, seguido de um período de menores acréscimos.

A TCR geralmente diminui à medida que a planta cresce, devido, entre outros fatores, ao aumento de competição intra-específica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento vegetal, tais como luz, nutrientes e difusão de CO<sub>2</sub> dentro do stand (Gava et al., 2001). Segundo Lucchesi (1984), variedades mais produtivas, geralmente, são as que crescem mais rapidamente e que o efeito da TCR exerce maior influência durante a fase de desenvolvimento da área foliar. Todavia, o resultado do tratamento de sequeiro (L<sub>0</sub>), discordou dos relatados na literatura, que pode ser justificado por não ter apresentado um padrão de perfilhamento semelhante ao dos outros tratamentos

da área irrigada, devido a um estresse hídrico bastante severo, que também proporcionou menor acúmulo de matéria seca foliar.

As maiores TCR, conforme a Tabela 15 e Figura 10, ocorreram no início do desenvolvimento da cultura, para os tratamentos irrigados, e entre os 210 e 287 DAC, no tratamento da área de sequeiro, período esse que coincide com o começo do período chuvoso da região. No tratamento de sequeiro ( $L_0$ ), a TCR máxima foi de  $0,015 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e a média, de  $0,009 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ; em  $L_1$  a TCR máxima foi de  $0,016 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e a média, de  $0,011 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ; em  $L_2$  a TCR máxima foi de  $0,022 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e a média,  $0,012 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , e no tratamento  $L_3$ , a TCR máxima foi de  $0,028 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e a média de  $0,013 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

Estes resultados coincidem, em termos de valores, aos obtidos por Gava et al. (2001) e Silva et al. (2005), ao estudar a TCR em cana-soca.

Tabela 15 – Taxa de crescimento relativo da cultura, quarta soca, em cinco épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas.

DAC	TCR ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )			
	$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
74-120	0,003	0,016	0,022	0,028
120-210	0,014	0,007	0,009	0,010
210-287	0,015	0,015	0,010	0,010
287-373	0,005	0,005	0,005	0,005
Média	0,009	0,011	0,012	0,013

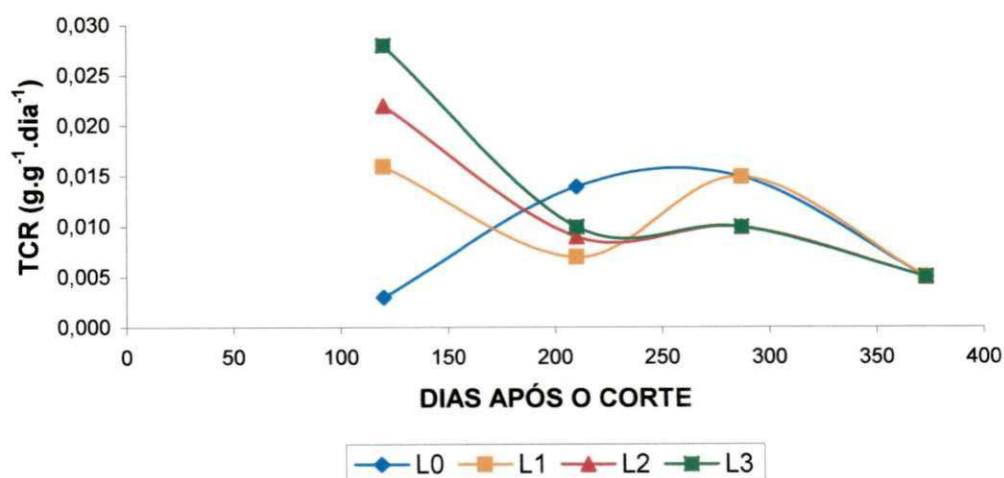


Figura 10 - Comportamento da TCR (4ª soca), ao longo das épocas de amostragem, para as diferentes lâminas de água aplicadas.

#### 4.2.5. Razão de área foliar, área foliar específica e razão de peso de folha

O conhecimento da área foliar se faz necessário toda vez em que a cana-de-açúcar é submetida à avaliações onde se comparam variedades, ou onde condições ambientais ou de manejo da cultura impliquem em alterações morfológicas, notadamente na dimensão das folhas da planta (Hermann e Câmara, 1999).

Na Tabela 16 e Figura 11, verifica-se que a razão de área foliar (RAF) para o tratamento de sequeiro ( $L_0$ ), a partir dos 120 DAC, foi superior aos demais tratamentos. Verifica-se ainda, entre 74 e 120 DAC, que os tratamentos  $L_0$  e  $L_1$  apresentaram um acréscimo na RAF, indicando que para esses tratamentos não houve interferência de folhas superiores sobre as folhas inferiores (auto-sombreamento), e a tendência foi de aumento na área foliar durante esse intervalo de tempo. Já com relação aos tratamentos  $L_2$  e  $L_3$ , houve um comportamento bastante semelhante, mostrando que seus máximos valores foram alcançados aos 74 DAC, decrescendo continuamente até aos 373 DAC.

Pode-se inferir, que a menor RAF das plantas cultivadas sob condições mais severas de estresse hídrico pode estar associado à redução no potencial de turgescência celular necessário ao crescimento (Hsiao, 1973). Com isso, há intensa redução da taxa de crescimento da área foliar, que se constitui num dos primeiros sintomas do estresse hídrico (Begg & Turner, 1976).

O comportamento observado para a área foliar específica (Figura 12) apresentou muitas distorções, principalmente nos tratamentos  $L_1$  e  $L_2$ , verificando-se oscilações em AFE que não foram verificadas em RAF. Segundo Benincasa (2003), essas oscilações resultam das taxas de crescimento das folhas individuais. Essas associações de crescimento são bastante complexas e difíceis de serem interpretadas.

Considerando-se que as folhas são os centros de produção de matéria seca (fotossíntese) e que o resto da planta depende da exportação de material da folha, a razão de peso de folha (RPF) expressa a fração de matéria seca não exportada das folhas (Benincasa, 2003). Dessa forma, verifica-se uma redução na eficiência em exportação da matéria seca produzida nas folhas para outros órgãos da planta à medida que diminui a lâmina de água aplicada (Figura 13).



Tabela 16 - Razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de peso de folha (RPF) da cana-de-açúcar sob a influência de diferentes lâminas de água, ao longo dos seus períodos de desenvolvimento.

LÂMINAS		DIAS APÓS O CORTE					MÉDIAS
		74	120	210	287	373	
RAF ( $\text{dm}^2\text{g}^{-1}$ )	L <sub>0</sub> (671 mm)	0,354	0,593	0,479	0,194	0,105	0,345
	L <sub>1</sub> (880 mm)	0,452	0,461	0,376	0,168	0,095	0,310
	L <sub>2</sub> (1084 mm)	0,445	0,426	0,227	0,152	0,082	0,266
	L <sub>3</sub> (1289 mm)	0,536	0,413	0,195	0,108	0,053	0,261
AFE ( $\text{dm}^2\text{g}^{-1}$ )	L <sub>0</sub> (671 mm)	0,549	0,887	0,844	0,777	0,607	0,733
	L <sub>1</sub> (880 mm)	0,701	0,724	0,856	0,745	0,697	0,745
	L <sub>2</sub> (1084 mm)	0,747	0,804	0,681	0,780	0,792	0,761
	L <sub>3</sub> (1289 mm)	0,844	0,800	0,710	0,670	0,575	0,720
RPF ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	L <sub>0</sub> (671 mm)	0,644	0,668	0,567	0,250	0,173	0,460
	L <sub>1</sub> (880 mm)	0,645	0,637	0,439	0,226	0,136	0,417
	L <sub>2</sub> (1084 mm)	0,596	0,530	0,334	0,195	0,103	0,352
	L <sub>3</sub> (1289 mm)	0,635	0,516	0,275	0,161	0,093	0,336

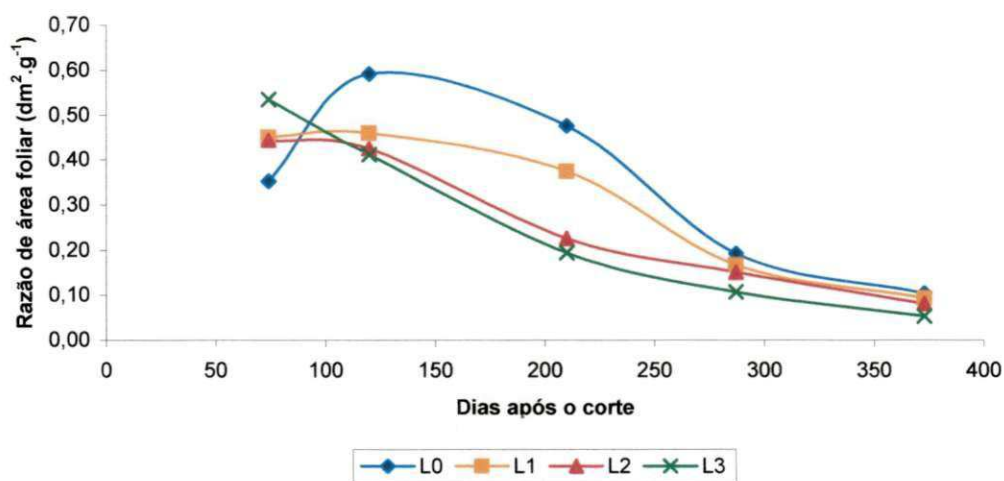


Figura 11 – Razão de área foliar na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem.

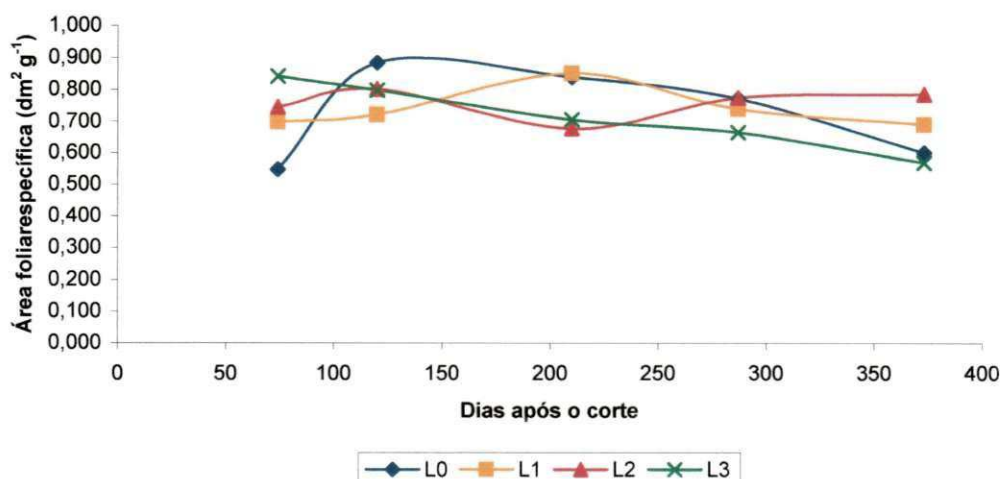


Figura 12 –Área foliar específica na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem

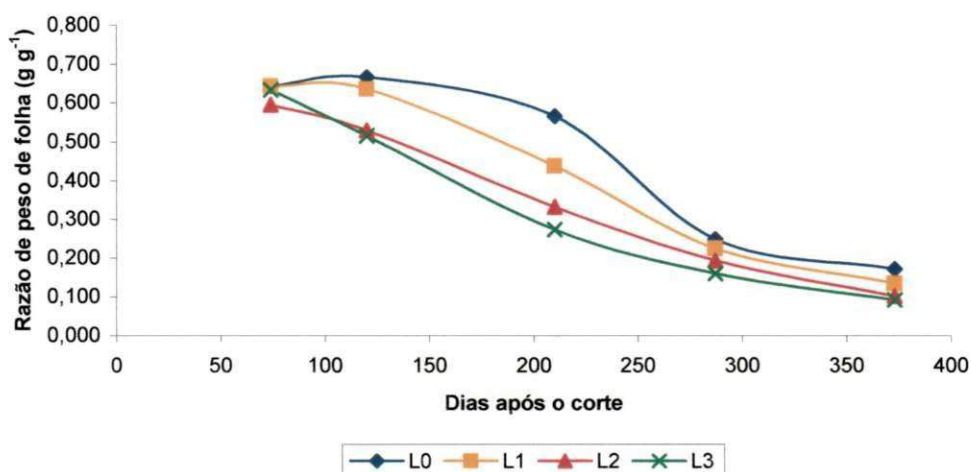


Figura 13 –Razão de peso da folha na quarta soca durante as cinco épocas de amostragem

### 4.3. Características Biométricas

#### 4.3.1. Perfilamento ou número de colmos por metro linear

O número médio de colmos por metro linear determinado por parcela, em função dos tratamentos lâminas de água e níveis de adubação de cobertura para as safras agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 são apresentados nos Anexos 5 e 6. De acordo com a análise de variância (Tabela 17), para a colheita realizada no ano de 2004, verificou-se ausência de influência das lâminas sobre o perfilamento e efeito significativo para adubação de cobertura e interação (L x A), em níveis de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Já para o ano de 2005, as lâminas de água aplicadas (L), as adubações de cobertura (A) e a interação (L x A), exerceram efeitos significativos, ao nível de 1% de probabilidade sobre o perfilamento.

O regime hídrico foi fundamental para que houvesse esta resposta diferenciada do fator lâmina de água entre os anos analisados. No primeiro ano avaliado (2003/2004) o déficit hídrico ocorreu de forma mais acentuada apenas no período inicial de desenvolvimento da cultura, enquanto no ano seguinte (2004/2005) essa deficiência hídrica foi mais severa, e se estendeu ao longo dos períodos inicial e de pleno crescimento, o que potencializou a resposta da cultura à irrigação.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância do perfilhamento, em número de colmos por metro linear, para as colheitas realizadas em 2004 e 2005, Capim-PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Perfilhamento (2004)	Perfilhamento (2005)
Lâminas (L)	3	0,67 <sup>ns</sup>	14,88 <sup>**</sup>
Adubação de cobertura (A)	3	23,74 <sup>**</sup>	4,41 <sup>**</sup>
L x A	9	0,89 <sup>*</sup>	2,38 <sup>**</sup>
Bloco	3	0,59 <sup>ns</sup>	4,27 <sup>**</sup>
Resíduo	45	0,38	0,79
CV (%)		7,33	11,51
Média Geral		8,45	7,74

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> Significativos, aos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Quando se avalia, para o ano de 2004, o comportamento das lâminas de água em cada nível de adubação de cobertura (Tabela 18), ao se realizar o desdobramento da interação (L x A), verifica-se que não houve efeito significativo das regressões linear e quadrática. Isso indica que as lâminas de irrigação, aplicadas no início do período de desenvolvimento, não contribuíram para manutenção de um maior número de colmos no momento da colheita, haja vista que houve apenas sete eventos de irrigação e com a intensificação das chuvas houve uma recuperação no padrão de perfilhamento nos tratamentos mais severamente afetados pelo déficit hídrico (L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub>).

Oliveira et al. (1999) encontraram resultados semelhantes, realizando irrigação de salvamento em soqueira, com uma única lâmina de 60 mm, aos 15 dias após o primeiro corte, em que constataram ausência de efeito da irrigação sobre o número de colmos por metro linear.

Ao analisar, na Tabela 18, o efeito das lâminas sobre o número de colmos em 2005, constata-se que o modelo linear foi altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) para lâminas dentro dos níveis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, não havendo efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para o nível A<sub>0</sub>. Assim, verifica-se que as maiores lâminas de água fornecidas às plantas proporcionaram aumentos no número de colmos nas parcelas adubadas. Diante deste fato e sabendo-se que as lâminas de irrigação não foram suficientes para alcançar o requerimento de água pelas plantas,

supõe-se que o aumento da frequência de irrigação possa contribuir para o aumento do número de colmos, principalmente diante das condições de intenso déficit hídrico ocorridas durante essa segunda fase do experimento.

De acordo com o desdobramento do fator adubação de cobertura dentro de cada nível de lâmina de água, para o ano de 2004 (Tabela 19), houve efeito quadrático nos níveis L<sub>0</sub> ( $p \leq 0,05$ ) e L<sub>1</sub> ( $p \leq 0,01$ ), e efeito linear nos níveis L<sub>2</sub> ( $p \leq 0,05$ ) e L<sub>3</sub> ( $p \leq 0,01$ ). Isto demonstra que nas parcelas onde o déficit hídrico foi menor, os níveis de adubação de cobertura adotados responderam de forma crescente quanto ao número de colmos por metro linear (Figura 14).

Em 2005, os resultados de regressão do fator adubação em cada nível de lâmina apresentaram efeito quadrático em L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>, em níveis de probabilidade de 5% e 1%, respectivamente. O efeito linear ( $p \leq 0,05$ ) foi observado nos níveis L<sub>0</sub> e L<sub>3</sub>. Em L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub> as maiores doses de adubação proporcionaram menor número de colmos quando comparado com o tratamento não adubado (Figura 15), provavelmente ocasionado pela falta de água para solubilizar e disponibilizar os nutrientes do adubo para a planta.

Broch et al., citados por Chueiri et al. (2004), realizaram experimentos de campo com a cultura do milho safrinha, estudando o comportamento da adubação potássica no sulco de semeadura, usando 38 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os resultados demonstraram uma redução de 36,5% no estande final, ocorrido por efeito salino, em relação à área não adubada. Dado relevante é que não houve precipitação do plantio até a avaliação dos dados

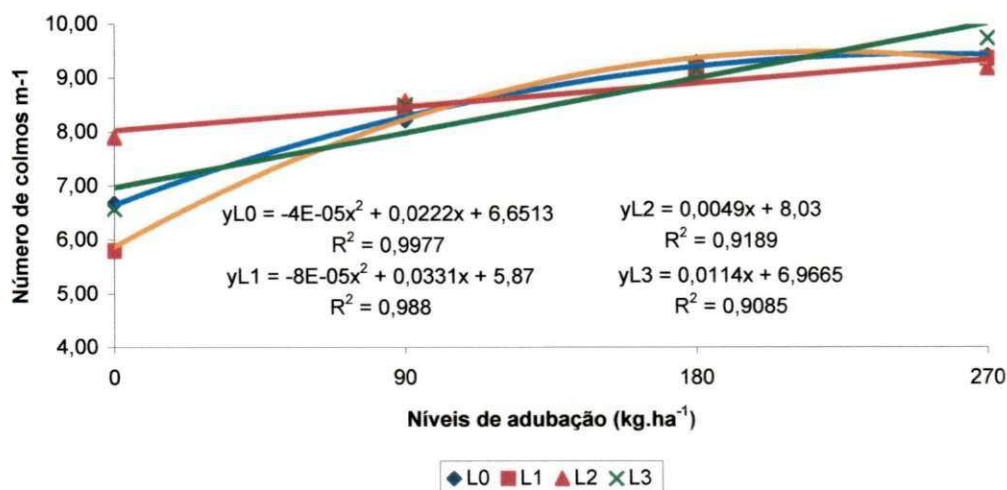


Figura 14 - Número de colmos por metro linear em função dos níveis de adubação dentro de cada lâmina de água no ciclo produtivo da terceira soca (2004).

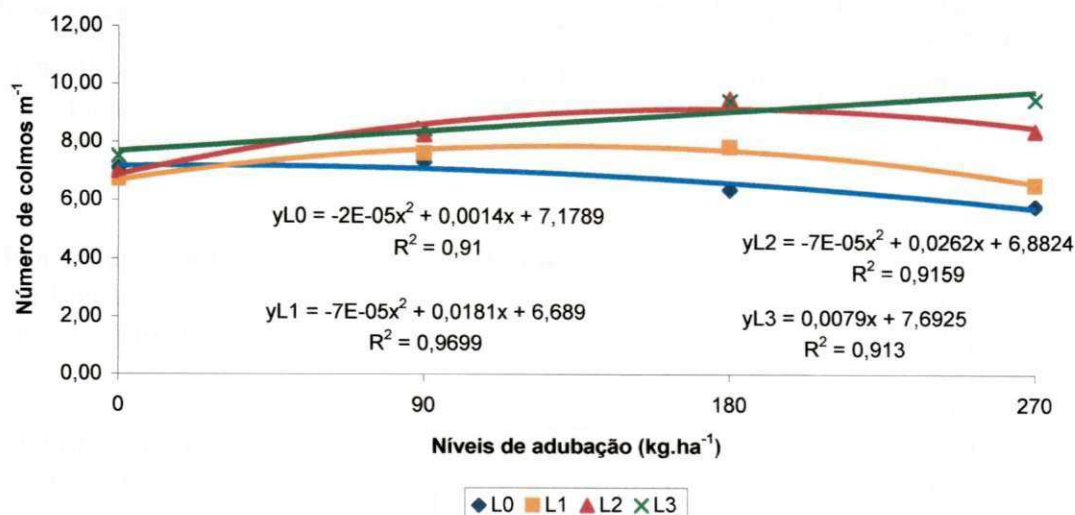


Figura 15 - Número de colmos por metro linear em função dos níveis de adubação dentro de cada lâmina de água no ciclo produtivo da quarta soca (2005).

Tabela 18 - Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função das doses de adubação para o número de colmos por metro linear (NC), Capim - PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		NC (2004)	NC (2005)
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>0</sub> (0 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>3,01<sup>*</sup></b>	<b>0,42<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	0,65 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	0,20 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
Desvio	1	8,19 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	0,48	0,84
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>1</sub> (90 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>0,09<sup>ns</sup></b>	<b>1,15<sup>**</sup></b>
Regressão Linear	1	0,18 <sup>ns</sup>	3,31 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	0,09 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,002 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	0,26	0,09
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>2</sub> (180 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>0,03<sup>ns</sup></b>	<b>8,97<sup>**</sup></b>
Regressão Linear	1	0,04 <sup>ns</sup>	23,72 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	0,04 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,002 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	0,21	0,96
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>3</sub> (270 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>0,21<sup>ns</sup></b>	<b>11,48<sup>**</sup></b>
Regressão Linear	1	0,13 <sup>ns</sup>	33,54 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	0,36 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,14 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	0,51	11,81

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, \* significativo a 5%, ns não significativo pelo teste F

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para o comprimento do colmo, em metro, para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim-PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Comprimento (2004)	Comprimento (2005)
Lâminas	3	0,35**	0,84**
Adubação	3	0,45**	0,07**
L x A	9	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,025 <sup>ns</sup>	0,22**
Resíduo	45	0,01	0,01
CV (%)		4,93	7,56
Média Geral		2,32	1,52

\*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

De acordo com a análise de regressão (Tabela 21), houve, na 3<sup>a</sup> soca (ano 2004), efeito quadrático das lâminas e das adubações, todos em nível de 1% de probabilidade, sobre o comprimento do colmo. Segundo as equações obtidas, a lâmina máxima estimada ocorre em 1.314,25 mm, a qual corresponde a um comprimento de 2,43 m (Figura 16). Já o efeito dos níveis de adubação, pode ser explicado por um modelo quadrático, com efeito significativo em nível de 5% de probabilidade. Conforme este modelo, o máximo comprimento, 2,46 m, seria obtido com a aplicação de 263,20 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de cobertura (Figura 17).

Tabela 21- Resumo da análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o comprimento do colmo, em metro, Capim - PB, 2004, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Comprimento (2004)	Comprimento (2005)
Lâminas	3	0,09**	0,21**
Regressão Linear		0,20**	0,57**
Regressão Quadrática		0,04**	0,0005 <sup>ns</sup>
Desvio		0,02*	0,06*
Resíduo		0,004	0,01
CV (%)		2,73	6,77
Adubação		0,11**	0,02**
Regressão Linear		0,30**	0,04**
Regressão Quadrática		0,03*	0,01*
Desvio		0,0002 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>
Resíduo		0,004	0,001
CV (%)		2,57	2,47

\* Significativo a 5%, \*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

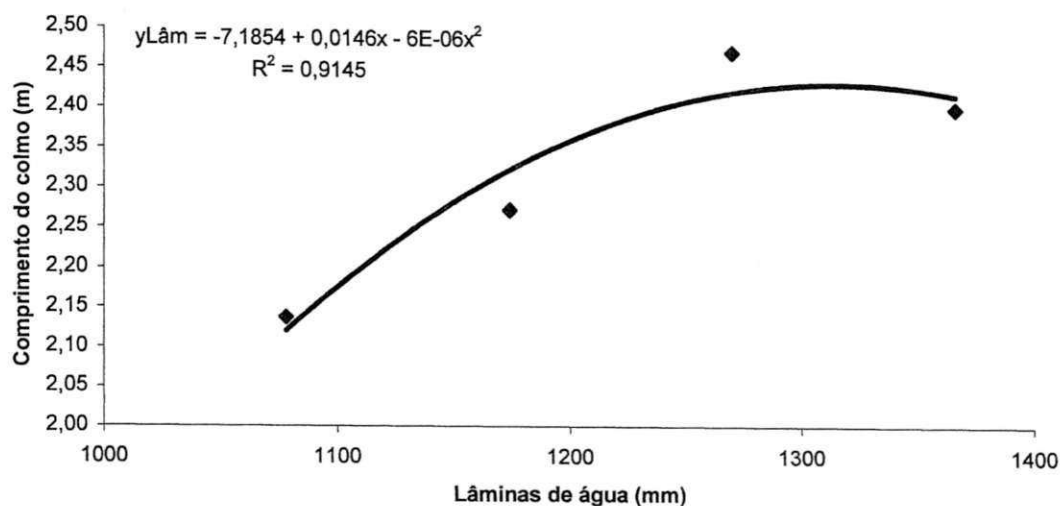


Figura 16 - Comprimento do colmo (m) em função da lâmina de água aplicada na 3ª soca, ano de 2004.

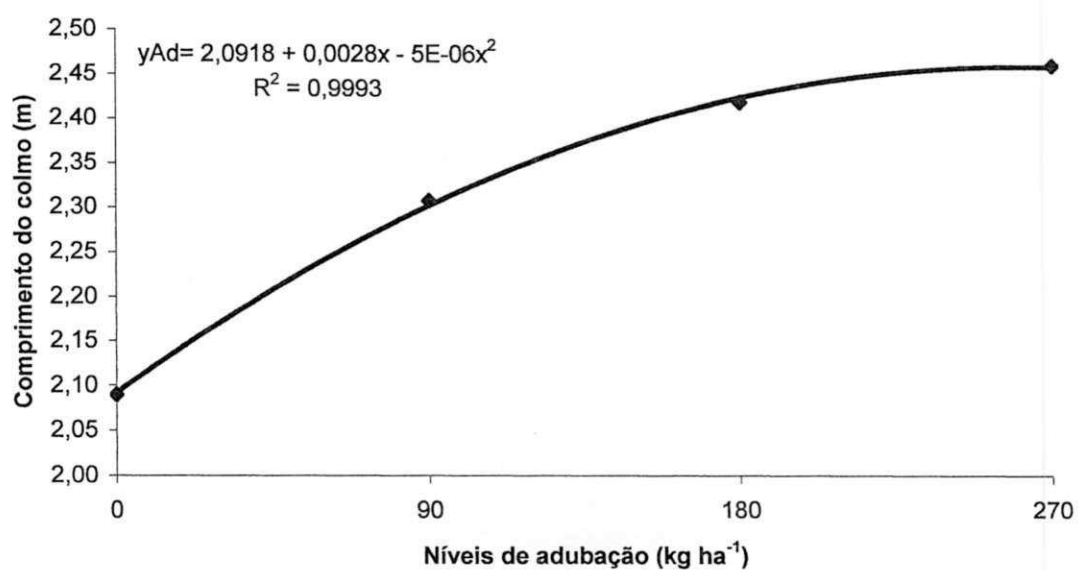


Figura 17 - Comprimento do colmo (m) em função dos níveis de adubação na 3ª soca, ano de 2004.

No ano seguinte, o efeito apresentado pelos incrementos de lâminas de água sobre o comprimento do colmo foi linear ao nível de 1% de probabilidade, enquanto as doses de

adubação propiciaram efeito quadrático ( $p \leq 0,05$ ). O estresse hídrico mais severo observado durante o ciclo da quarta soca resultou em uma redução mais acentuada no comprimento dos colmos, quando comparado com a terceira soca. De acordo com o modelo linear, para cada 100 mm de água aplicado ao solo, houve um incremento médio de 8,0 cm no comprimento de colmos (Figura 18). Conforme a equação ajustada para o fator adubação de cobertura (Figura 19), o máximo comprimento (1,57 m) seria alcançado ao se aplicar uma adubação de cobertura de 210,90 kg.ha<sup>-1</sup>.

Segundo Soares et al. (2004), o componente biométrico mais influenciado pelas irrigações mensais, realizadas no período de deficiência hídrica, foi a altura de colmos, que foi superior na área irrigada, para as duas variedades estudadas, tanto em cana-planta como em soqueira. Resultados semelhantes também foram obtidos por Vieira et al. (1983), Oliveira et al. (1999) e Ramesh e Mahadevaswamy (2000).

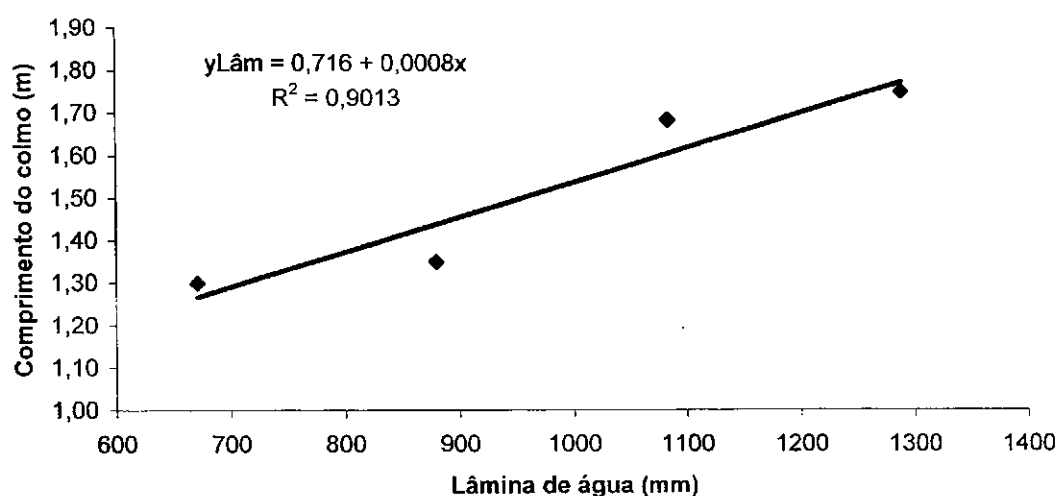


Figura 18 - Comprimento do colmo (m) em função da lâmina de água aplicada na 4<sup>a</sup> soca, ano de 2005.



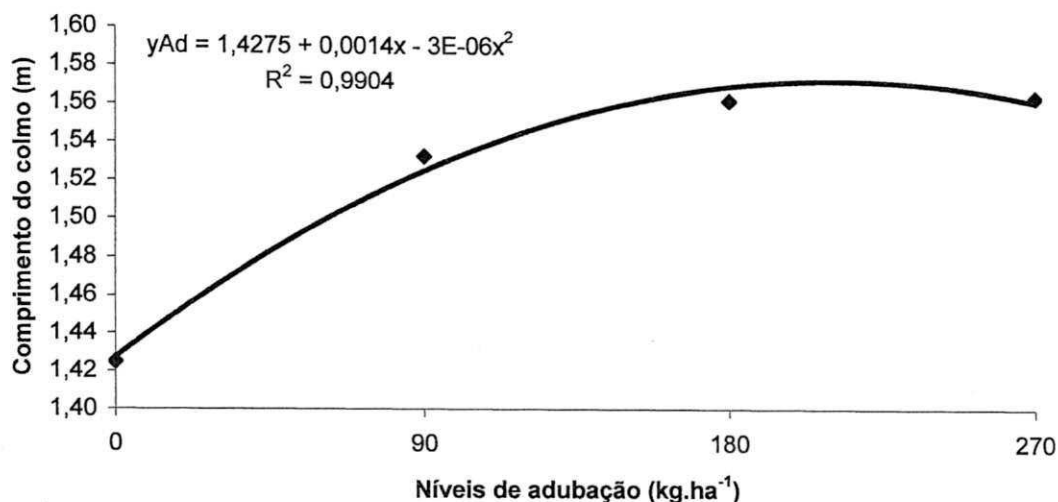


Figura 19 - Comprimento do colmo (m) em função dos níveis de adubação na 4<sup>a</sup> soca, ano de 2005.

#### 4.3.3 Diâmetro do colmo

Nos Anexos 9 e 10, constam, respectivamente, as médias obtidas para o diâmetro do colmo em cm, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005, em função das lâminas de água e dos níveis de adubação.

Pelas análises estatísticas realizadas para diâmetro de colmos (Tabela 22), observa-se que as lâminas de água, nos níveis estudados, independentemente dos níveis de adubação de cobertura, não proporcionaram respostas significativas no diâmetro de colmos, para o experimento conduzido na terceira soca (ano de 2004), entretanto, houve resposta significativa ( $p \leq 0,05$ ) na safra seguinte (2005). Quanto às adubações de cobertura, verificou-se respostas significativas ( $p \leq 0,01$ ), tanto na terceira como na quarta soca. Já o efeito das lâminas sobre o diâmetro não dependeu dos níveis de adubação, pois não houve efeito significativo para a interação (L x A).

Tabela 22 - Resumo da análise de variância para o diâmetro do colmo, em centímetro, para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Diâmetro (2004)	Diâmetro (2005)
Lâminas	3	0,02 <sup>ns</sup>	0,07*
Adubação	3	0,10**	0,11**
L x A	9	0,01 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,06*	0,32**
Resíduo	45	0,02	0,02
CV (%)		7,11	7,24
Média Geral		2,11	2,15

\*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

De acordo com os estudos de regressão (Tabela 23), os modelos testados para lâminas de água não se ajustaram aos dados de diâmetro de colmos. Entretanto, constataram-se efeitos significativos da adubação em sua componente linear, em nível de 1% de probabilidade, para os experimentos realizados nas duas épocas. Segundo as equações obtidas (Figura 20), o diâmetro aumentou 9,0% entre o tratamento testemunha (sem adição de fertilizantes) e o tratamento com a dose mais elevada (270 kg.ha<sup>-1</sup>), para ambos períodos de análise.

Tabela 23 - Resumo da análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o diâmetro do colmo, em centímetro, Capim-PB, 2004, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Diâmetro (2004)	Diâmetro (2005)
Lâminas	3	0,005 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Regressão Linear		0,0007 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática		0,00006 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Desvio		0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Resíduo		0,01	0,01
CV (%)		5,78	5,24
Adubação		0,03**	0,03**
Regressão Linear		0,07**	0,08**
Regressão Quadrática		0,006 <sup>ns</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>
Desvio		0,0003 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Resíduo		0,002	0,004
CV (%)		2,23	2,83

\* Significativo a 5%, \*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

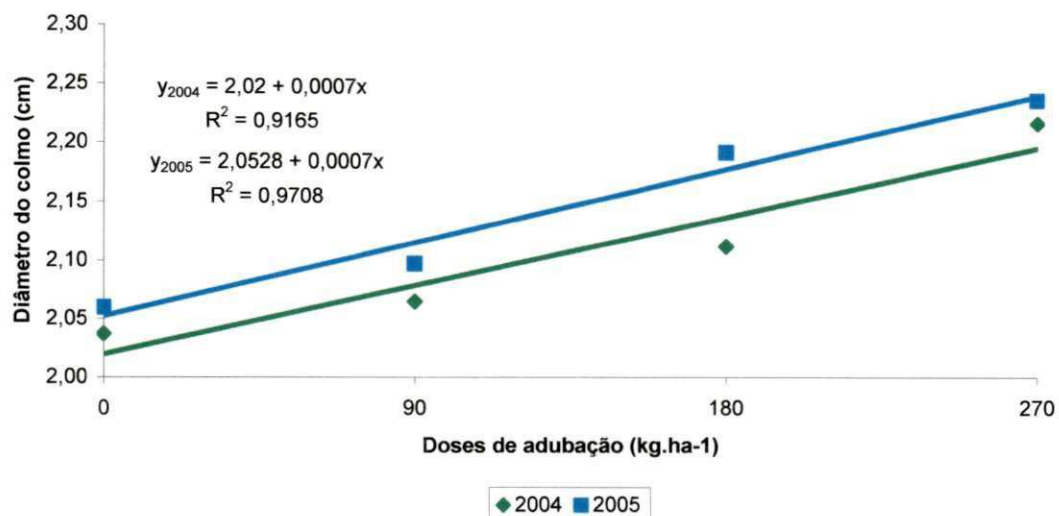


Figura 20- Diâmetro médio do colmo em função dos níveis de adubação nos dois ciclos (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> socas).

A disponibilidade hídrica mais favorável durante o ciclo da terceira soca (safra 2003/2004) proporcionou maior perfilhamento e crescimento (altura de colmo) quando comparado com a quarta soca (safra 2004/2005), no entanto, esses parâmetros correlacionam-se negativamente com o diâmetro de colmo. Pode-se, então inferir que o menor diâmetro observado na 3<sup>a</sup> soca foi ocasionado por uma maior competição entre plantas por luz e pela maior estatura de colmos, motivada por uma maior precipitação pluviométrica.

O diâmetro desejável dos colmos é uma variedade de diâmetro médio. Colmos excessivamente finos ou irregulares são indesejáveis, enquanto que os colmos grossos são negativamente correlacionados ao número de perfilhos, assim como há evidência de apresentarem uma brotação ruim (Guilherme Júnior, 1987). Soares et al. (2004), estudando a variedade SP 1431, no ciclo da cana-soca, verificou que o diâmetro apresentou-se inferior na condição irrigada, mas foi parcialmente compensado pela maior altura.

#### 4.4. Características agroindustriais

##### 4.4.1. Produtividade agrícola (rendimento em colmos)

Nas Tabelas 24 e 25 encontram-se os resultados médios do rendimento agrícola de colmos industrializáveis em função dos tratamentos lâminas de água (irrigação + precipitação efetiva) e níveis de adubação de cobertura. Avaliando a produtividade agrícola em função dos ciclos, nota-se em geral uma queda acentuada da terceira para a quarta soca. A precipitação pluviométrica total no ciclo da 3ª soca foi de 1.761,5 mm de chuva, enquanto para a 4ª soca foi de apenas 1.104,0 mm, o que de certo modo explica a citada queda na produtividade agrícola. Observa-se ainda, para as duas safras estudadas, que os menores rendimentos foram obtidos tanto para o tratamento L<sub>0</sub> quanto para o tratamento A<sub>0</sub>, e que os aumentos dos níveis de adubação e de lâminas de água propiciaram incrementos na produtividade de colmos, mostrando assim, a importância desses dois fatores sobre o rendimento da cultura.

As menores produtividades para o ciclo da 3ª soca foram obtidas nos tratamentos não adubados, para todos os níveis de lâminas de água, com uma média de 46,82 t ha<sup>-1</sup>. Esse valor é inferior à produtividade média obtida dentro do tratamento L<sub>0</sub> da área de sequeiro (61,46 t ha<sup>-1</sup>). Entretanto, para o ciclo da 4ª soca, houve uma menor produtividade nos tratamentos não irrigados, com um valor médio de 34,01 t ha<sup>-1</sup>, em relação à produtividade média alcançada nos tratamentos não adubados (37,85 t ha<sup>-1</sup>). Isso demonstra que a ausência de adubação foi mais restritiva para o ciclo produtivo onde ocorreram os maiores índices pluviométricos (3ª soca), enquanto, para o ciclo seguinte, os resultados indicaram que a ausência de irrigação afetou mais a produtividade em colmos do que a ausência de adubação.

Tabela 24 – Valores médios da produtividade em colmos (t ha<sup>-1</sup>) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 3ª soca. Capim - PB, 2004.

Lâminas (mm)	Adubação de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )				Médias
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)	
L <sub>0</sub> (1.078)	40,66	61,58	66,76	76,83	61,46
L <sub>1</sub> (1.174)	42,19	63,69	73,46	77,46	64,20
L <sub>2</sub> (1.270)	54,72	64,79	82,62	96,10	74,56
L <sub>3</sub> (1.366)	49,72	63,89	82,47	94,39	72,62
Médias	46,82	63,49	76,33	86,20	68,21

Tabela 25 – Valores médios da produtividade em colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 4ª soca. Capim - PB, 2005.

Lâminas (mm)	Adubação de cobertura ( $kg\ ha^{-1}$ )				Médias
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)	
L <sub>0</sub> (671)	33,38	36,88	34,06	31,70	34,01
L <sub>1</sub> (880)	33,73	37,85	36,69	34,42	35,67
L <sub>2</sub> (1.084)	41,20	47,13	55,60	55,53	49,87
L <sub>3</sub> (1.289)	43,08	50,35	68,15	69,13	57,68
Médias	37,85	43,05	48,63	47,70	44,31

O resumo da análise de variância da produtividade agrícola, em  $t\ ha^{-1}$ , é apresentado na Tabela 26. De acordo com essa análise, houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) de lâminas e de adubação nos dois ciclos de cana-soca, sendo que no primeiro ciclo o efeito mais pronunciado foi da adubação de cobertura, enquanto no ciclo seguinte, houve maior influência da lâmina de água. Com relação à interação L x A, verifica-se que a mesma não foi significativa ( $p > 0,05$ ) para a característica avaliada na terceira soca, indicando que a lâmina de água agiu independente da adubação, enquanto para quarta soca o efeito foi significativo ( $p \leq 0,01$ ), que demonstra a existência de uma dependência entre os efeitos de ambos os fatores sobre o rendimento de colmos. Nesse último caso, procedeu-se ao desdobramento das lâminas (L) dentro de cada nível de adubação de cobertura (A), e vice-versa. A análise de regressão para o desdobramento das interações, considerando o efeito dos níveis de lâminas de água dentro de cada nível de adubação e dos níveis de adubação dentro de cada nível de lâmina, são apresentadas nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 26 - Resumo da análise de variância para os rendimentos de colmos, em  $t\ ha^{-1}$ , para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Colmos (2004)	Colmos (2005)
Lâminas de água (L)	3	647,28**	2081,51**
Adubação (A)	3	4635,61**	391,62**
L x A	9	69,58 <sup>ns</sup>	171,82**
Bloco	3	255,96 <sup>ns</sup>	517,87**
Resíduo	45	134,46	45,20
CV (%)		17,00	15,17

\*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

De acordo com os estudos de regressão (Tabela 27), os modelos testados para lâminas de água não se ajustaram aos dados de rendimento de colmos. Para os níveis de

adubação estudados, houve resposta linear ( $p \leq 0,01$ ), que de acordo com o modelo (Figura 21), para cada incremento de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  da adubação de cobertura, ocorreu um aumento de  $13,1 \text{ kg ha}^{-1}$  no rendimento agrícola. O nível de adubação  $A_3$  proporcionou aumentos de 80,90; 42,48 e 17,52% no rendimento médio estimado de colmos, em relação a  $A_0$ ,  $A_1$  e  $A_2$ , respectivamente. Tendo em vista, que não foi possível estimar um valor máximo de produtividade no intervalo dos níveis de adubação explorados no experimento, seria necessária a aplicação de níveis mais elevados que  $270 \text{ kg ha}^{-1}$  para se atingir o patamar do rendimento máximo da cultura.

Tabela 27 - Análise de regressão das lâminas de água e das adubações para o rendimento de colmos, em  $\text{t ha}^{-1}$ , Capim - PB, 2004.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio (colmos)
Lâminas	3	161,88 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	384,31 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	21,90 <sup>ns</sup>
Desvio	1	79,44 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	86,91
CV (%)		13,67
Adubação	3	1158,77 <sup>**</sup>
Regressão Linear	1	3429,97 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	46,21 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,15 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	15,13
CV (%)		

\*\* Significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

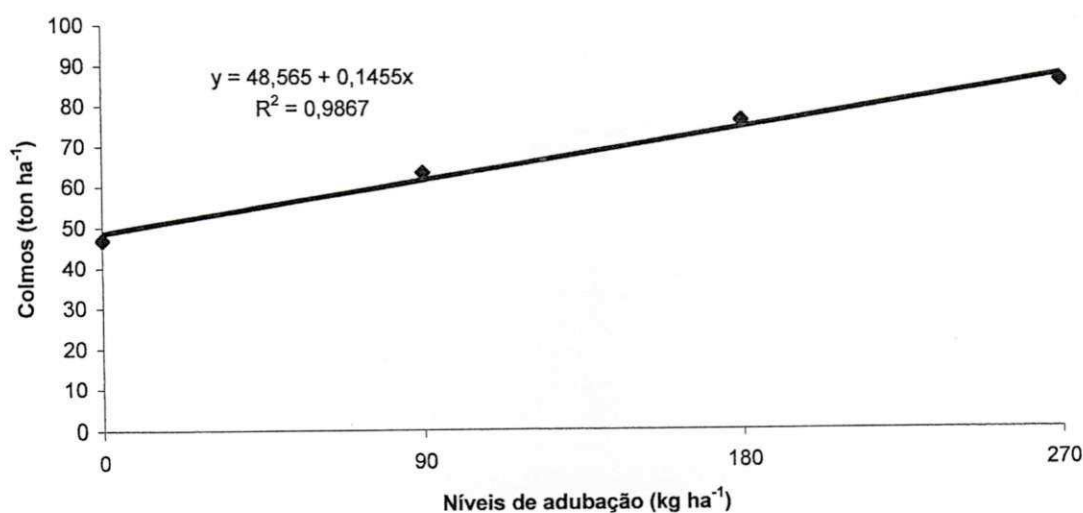


Figura 21 - Rendimento médio da cana em função dos níveis de adubação, 3ª soca.

Pela análise de regressão dos dados experimentais, onde a produtividade de colmos, no ano 2005, foi relacionada à lâmina de água dentro de cada nível de adubação (Tabela 28), observa-se que o rendimento de colmos para a quarta soca aumentou com a aplicação de água segundo uma relação linear crescente, ou seja, à medida que se aumentou o nível de lâmina houve aumento no rendimento agrícola.

Tabela 28 – Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função dos níveis de adubação para o rendimento de colmos, em t.ha<sup>-1</sup>, Capim - PB, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
<b>Lâminas dentro do nível A<sub>0</sub> (0 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>100,61<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	266,45 <sup>o</sup>
Regressão Quadrática	1	2,66 <sup>ns</sup>
Desvio	1	32,72 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	76,35
<b>Lâminas dentro do nível A<sub>1</sub> (90 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>180,07*</b>
Regressão Linear	1	492,64**
Regressão Quadrática	1	5,70 <sup>ns</sup>
Desvio	1	41,88 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	47,99
<b>Lâminas dentro do nível A<sub>2</sub> (180 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>1046,08**</b>
Regressão Linear	1	2929,46**
Regressão Quadrática	1	104,58 <sup>ns</sup>
Desvio	1	104,21 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	28,74
<b>Lâminas dentro do nível A<sub>3</sub> (270 kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>1270,19**</b>
Regressão Linear	1	3548,69**
Regressão Quadrática	1	125,48 <sup>ns</sup>
Desvio	1	136,40 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	41,58

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, significativo a 5%, <sup>o</sup> significativo a 10 %, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

De acordo com os modelos obtidos (Figura 22), as lâminas aplicadas dentro dos níveis A<sub>3</sub> e A<sub>2</sub> alcançaram as maiores produtividades, enquanto, os menores valores de produtividade foram nos níveis de lâminas dentro de A<sub>0</sub> e A<sub>1</sub>. Verifica-se que, para cada 100 mm de lâmina de água fornecida à cultura, ocorrem aumentos na produtividade de 1,77; 2,41; 5,88 e 6,47 t.ha<sup>-1</sup>, dentro dos níveis de adubação A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, respectivamente. Ainda é observado que na aplicação da lâmina dentro do nível A<sub>3</sub>, a produtividade estimada foi superior às obtidas em A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, com percentuais de acréscimo de 56,09; 33,97 e 1,31%, respectivamente.

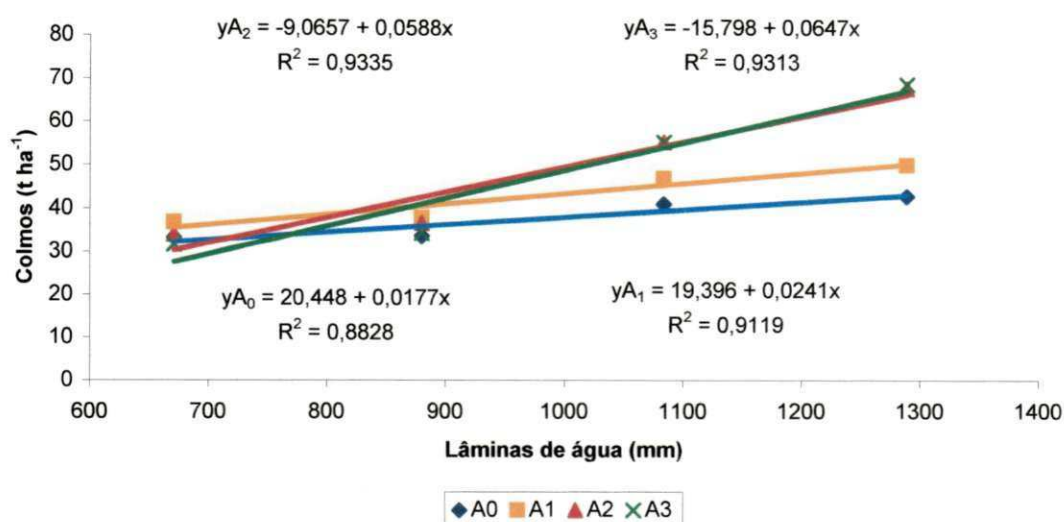


Figura 22 - Produtividade da cana ( $t \cdot ha^{-1}$ ) em função da lâmina de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura. 4ª soca.

Segundo Voisin (1973), cada fator de produção é tanto mais eficaz quando os outros estão mais perto do seu ótimo. Os dados na Figura 22 mostram como a cana responde aos diferentes níveis de adubação com um suprimento variado de lâminas de água. Quando o fornecimento de água à cultura foi proveniente apenas das chuvas ( $L_0$ ), a produtividade foi pequena e ocorreu pouca resposta para qualquer quantidade de níveis de adubação utilizada. Com o aumento no fornecimento de água houve um incremento na produtividade, principalmente dentro dos tratamentos  $A_2$  e  $A_3$ , cujas declividades das retas de regressão foram bem superiores as dos tratamentos  $A_0$  e  $A_1$ . Os incrementos de produtividade entre as menores e maiores lâminas foram de 33,38% em  $A_0$ ; 41,87% em  $A_1$ ; 119,58% em  $A_2$  e de 144,79% em  $A_3$ .

Os modelos ajustados em  $A_2$  e  $A_3$  apresentaram intercepto negativo, indicando a necessidade de um fornecimento adequado de água à cultura para que se obtenha um mínimo de rendimento, segundo esses modelos o rendimento da cultura se anula ao reduzir a lâmina de água a 154,18 e 244,17 mm, respectivamente.

Por outro lado, os resultados da análise de regressão, ao estudar o efeito dos níveis de adubação de cobertura em função das lâminas de água (Tabela 29), indicaram que houve resposta quadrática da adubação para os níveis de lâminas  $L_0$  e  $L_1$ , com efeito significativo em níveis de 14,8 e 12,7% de probabilidade, respectivamente. Já com relação



às doses de adubação dentro de  $L_2$  e  $L_3$ , houve efeito linear crescente ( $p \leq 0,01$ ) com o incremento dos níveis de adubação dentro do intervalo estudado, onde os rendimentos agrícolas alcançaram valores máximos estimados de 57,6 e 72 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, quando se testaram 270 kg ha<sup>-1</sup>. Conforme os modelos obtidos (Figura 23), para cada incremento de 90 kg ha<sup>-1</sup> na dose de adubação, ocorreram aumentos de 9,6 e 5,2 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de colmos.

Tabela 29 – Análise de regressão das doses de adubação utilizadas em função das lâminas de água para o rendimento de colmos, em t ha<sup>-1</sup>, Capim - PB, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
<b>Doses de adubação dentro de <math>L_0</math> (671 mm)</b>	<b>3</b>	<b>18,63<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	12,36 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	34,31 <sup>(0,148)</sup>
Desvio	1	9,21 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	13,74
<b>Doses de adubação dentro de <math>L_1</math> (880 mm)</b>	<b>3</b>	<b>14,80<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	0,17 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	40,74 <sup>(0,127)</sup>
Desvio	1	3,50 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	14,39
<b>Doses de adubação dentro de <math>L_2</math> (1.084 mm)</b>	<b>3</b>	<b>196,69<sup>*</sup></b>
Regressão Linear	1	529,68 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	35,91 <sup>ns</sup>
Desvio	1	24,48 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	35,96
<b>Doses de adubação dentro de <math>L_3</math> (1.289 mm)</b>	<b>3</b>	<b>676,96<sup>**</sup></b>
Regressão Linear	1	1841,57 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	39,72 <sup>ns</sup>
Desvio	1	149,57 <sup>*</sup>
Resíduo	9	29,75

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, \* significativo a 5%, ° significativo a 10 %, <sup>ns</sup> não significativo.

De acordo com as funções quadráticas obtidas (Figura 23), os níveis de adubação que maximizaram o rendimento agrícola, dentro de cada lâmina de água, e as respectivas produtividades foram de 111,39 kg ha<sup>-1</sup> e 35,95 t ha<sup>-1</sup>, em  $L_0$  e 142,63 kg ha<sup>-1</sup> e 37,81 t ha<sup>-1</sup>, em  $L_1$ .

Verifica-se que, para qualquer nível de adubação, ocorre um aumento no rendimento agrícola com o acréscimo da lâmina de água aplicada, sendo observado uma maior resposta à adubação dentro dos níveis de lâminas  $L_2$  e  $L_3$ , enquanto para os demais níveis de lâmina houve decréscimos da produtividade após se atingir os rendimentos

máximos. Nesse caso, foi a falta no suprimento de água que limitou a resposta à adubação e conseqüentemente proporcionou respostas negativas por meio do decréscimo da produtividade.

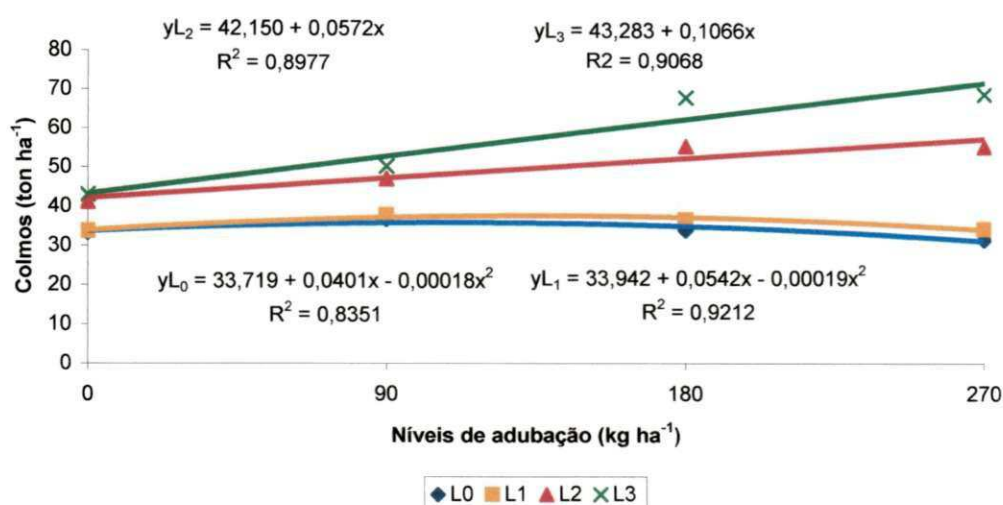


Figura 23 - Produtividade da cana (t ha<sup>-1</sup>) em função da adubação de cobertura, dentro de cada nível de lâmina de água, 4<sup>a</sup> soca

#### 4.4.2. Produtividade industrial (Rendimento bruto de álcool e sua análise econômica)

O comportamento do rendimento em álcool de cana-de-açúcar, conforme estudo da análise de regressão, em função dos níveis de adubação, para a terceira soca, e em função das lâminas de água, para a quarta soca, foi mais bem explicado pelo modelo linear. Assim, não foi possível estimar o nível de adubação economicamente ótimo, para cada lâmina de água (3<sup>a</sup> soca) e a lâmina de água economicamente ótima, para cada nível de adubação (4<sup>a</sup> soca). Procedeu-se, então, a estimação das receitas líquidas e das produtividades pelo modelo linear, dentro do intervalo dos níveis de tratamentos estudados. Nesse caso, os maiores níveis aplicados de cada fator independente foram considerados os máximos tanto para produtividade ( $L_m$ ,  $A_m$ ) quanto para receita líquida ( $L^*$ ,  $A^*$ ).

#### 4.4.2.1. Função de resposta para lâmina de água

##### a) Terceira soca (safra 2003/2004)

Os valores médios do rendimento industrial em álcool da cana-de-açúcar, do fator lâmina para cada nível de adubação, referentes ao ciclo produtivo da 3ª soca, são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator lâmina de água dentro de cada nível de adubação de cobertura, 3ª soca.

Lâminas (mm)	Níveis de adubação de cobertura ( $kg\ ha^{-1}$ )			
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)
L <sub>0</sub> (1.078)	3.936,95	6.043,45	6.357,33	7.442,36
L <sub>1</sub> (1.174)	4.039,42	6.162,93	7.236,25	8.079,12
L <sub>2</sub> (1.270)	5.073,14	6.192,11	8.407,80	9.478,26
L <sub>3</sub> (1.366)	4.602,36	6.507,22	8.227,68	9.202,41

São observados, na Figura 24 os modelos polinomiais ajustados ao comportamento da função de resposta para o fator lâmina de água dentro dos níveis de adubação, tendo sido obtidos através de uma análise de regressão, tendo como variável independente a lâmina de água (L), em mm e como variável dependente o rendimento em álcool (Y), em  $L\ ha^{-1}$ . Os coeficientes de cada modelo foram obtidos pelo software SISVAR.

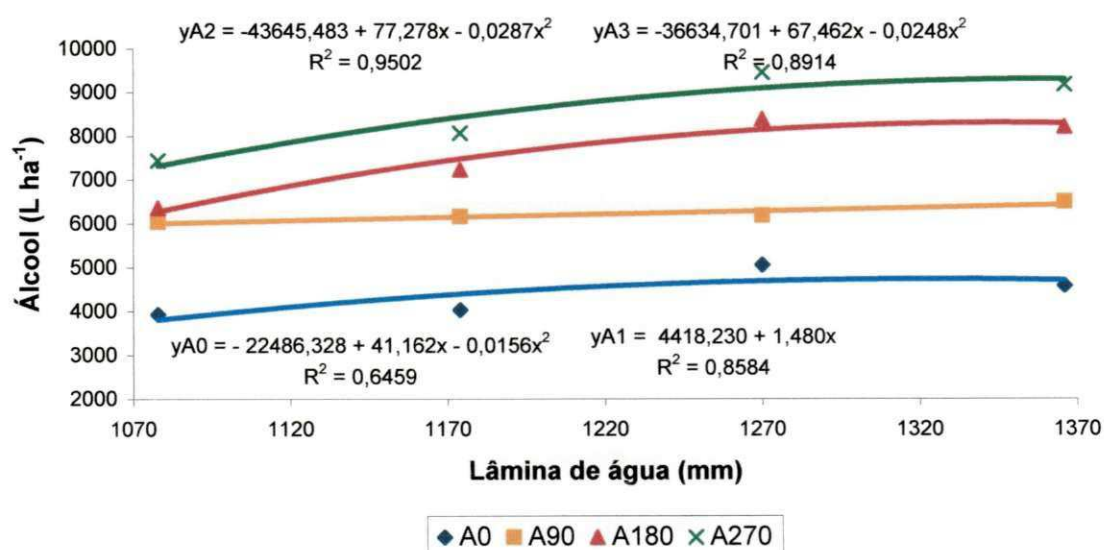


Figura 24 - Produtividade industrial de álcool ( $L\ ha^{-1}$ ), em função de diferentes lâminas de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura.

Conforme análise de regressão, o coeficiente do termo quadrático do modelo polinomial de segundo grau, ajustado ao efeito da lâmina dentro do nível  $A_1$  é positivo, tornando-se inviável estimar as lâminas que maximizam os rendimentos físico e econômico (máxima receita líquida). Ajustaram-se, assim, os dados de rendimento ao modelo linear.

Os produtos físicos marginais (PFM) das lâminas utilizadas no experimento para os níveis de adubação de cobertura de 0, 180 e 270  $\text{kg ha}^{-1}$ , foram estimados a partir da derivação das equações quadráticas, em relação à lâmina de água (L), igualando a zero e substituindo os correspondentes níveis de lâminas na equação obtida.

Observa-se, na Tabela 31, que os produtos físicos marginais, dentro dos níveis  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$  foram maiores para as menores lâminas de água fornecidas à cultura e à medida que as lâminas aumentaram, o PFM diminuiu até chegar a zero, onde ocorre o máximo rendimento físico. Além desse ponto, acréscimos na quantidade de água farão com que o rendimento em álcool sofra uma redução; nesse caso, o produto físico marginal passa a ser negativo, tornando-se antieconômica a atividade agrícola.

Tabela 31 - Produto físico marginal dos diferentes níveis de água fornecidos à cultura, correspondentes a doses de adubação de cobertura para 3ª soca.

Lâmina de água	Níveis de adubação		
	$A_0$ (0 $\text{kg ha}^{-1}$ )	$A_2$ (180 $\text{kg ha}^{-1}$ )	$A_3$ (270 $\text{kg ha}^{-1}$ )
$L_0$ (1.078 mm)	7,53	15,40	13,99
$L_1$ (1.174 mm)	4,53	9,89	9,23
$L_2$ (1.270 mm)	1,54	4,38	4,47
$L_3$ (1.366 mm)	-1,46	-1,13	-0,29

A variação do PFM da lâmina mostra que o rendimento da cana-de-açúcar aumenta a taxas decrescentes com o aumento das lâminas de água até chegar a um ponto de não variar com o aumento das lâminas, onde ocorre o máximo rendimento físico e decrescer com a contínua aplicação deste fator de produção. Esta propriedade é chamada “lei dos rendimentos decrescentes” (também conhecida como “lei da produtividade marginal decrescente”).

A lâmina que maximiza o rendimento físico ( $L_m$ ) para os correspondentes níveis de adubação  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , foram calculadas derivando-se as suas respectivas equações e igualando-se a zero. Com relação ao nível  $A_1$ , considerou-se  $L_m$  igual a maior lâmina de

água fornecida à cultura (1366 mm). Os máximos rendimentos físicos, para os níveis de adubação  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , ocorreram com a aplicação de 1.319,29, 1.346,31 e 1.360,12 mm de água (Tabela 32).

A lâmina necessária para a maximização dos lucros ou da receita líquida ( $L^*$ ), considerada economicamente ótima para cada nível de adubação, foi obtida derivando-se os modelos polinomiais quadráticos para o fator lâmina de água dentro dos níveis  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , e igualando-se à relação de preços  $P_L/P_Y = 0,93$ . Neste ponto, o aumento na receita resultante do uso da última unidade do fator lâmina de água é igual ao acréscimo de custo proveniente do uso desta última unidade. Para o nível  $A_1$ ,  $L^*$  foi considerada igual à  $L_m$ . As receitas líquidas para as lâminas de água fornecida pela irrigação ( $R_{liq}L_i$ ), foram calculadas pela equação 15.

De acordo com a Tabela 32, as lâminas que maximizam os rendimentos físicos ( $L_m$ ) e econômicos ( $L^*$ ) ficaram compreendidas entre  $L_2$  e  $L_3$ , para os níveis  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ . Segundo as funções de resposta, os incrementos de produtividade industrial entre os tratamentos que proporcionaram o maior e o menor volume de álcool foram de 874,25; 426,24; 2.054,94 e 1.973,03 L ha<sup>-1</sup>, dentro dos níveis  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , respectivamente.

Comparando-se as receitas líquidas obtidas de máximo retorno econômico ( $R_{liq}L^*$ ) com a de máximo retorno físico ( $RL_m$ ), verifica-se um acréscimo da primeira em relação à segunda de 1,07; 0,17 e 0,17% em  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , respectivamente. Embora, financeiramente, essa diferença pareça pequena, em termos de volume de água isso representa uma economia, ao se adotar  $L^*$  em vez de  $L_m$ , de 14.930,85; 8.101,05 e 9.375,00 m<sup>3</sup> por pivô de 50 ha durante o ciclo da cultura. Observa-se, também, um incremento de lucro líquido entre a máxima receita líquida ( $R_{liq}L^*$ ) e as correspondentes receitas líquidas auferidas pelas lâminas de irrigação ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ ) de 114,16; 20,70; 2,99 e 11,91%, em  $A_0$ ; 71,72; 19,60; 3,21 e 1,99% em  $A_2$  e 49,08; 15,76; 3,13 e 1,22% em  $A_3$ . No nível  $A_1$ , a  $R_{liq}L^*$  foi considerada à obtida com a lâmina que proporcionou a maior receita líquida entre os quatro níveis utilizados.

Verifica-se que a máxima receita líquida, dentro do nível  $A_3$  ( $R_{liq}L^*$ ), foi superior às obtidas em  $A_0$ ,  $A_1$  e  $A_2$ , com um acréscimo percentual de 299,13; 121,46 e 19,63%, respectivamente. Constata-se o mesmo desempenho para  $R_{liq}L_m$ , cujos percentuais de acréscimo foram de 302,72; 121,09 e 19,64%, respectivamente.

Com o intuito de auxiliar o produtor na determinação da lâmina economicamente ótima, devido à variação do valor na relação entre o custo da água e o preço do álcool

( $P_L/P_Y$ ), em função principalmente do preço do álcool, foram determinadas as lâminas de água economicamente ótimas, considerando diferentes valores de  $P_L/P_Y$ . A lâmina economicamente ótima é aquela que satisfaz a condição de que o PFM da água se iguale ao quociente  $P_L/P_Y$ .

Observa-se, na Figura 25, que as lâminas de água economicamente ótimas ( $L^*$ ), em função da relação  $P_L/P_Y$ , apresentaram a mesma tendência linear. As maiores lâminas ótimas ocorreram dentro do nível de adubação  $A_3$ , enquanto as menores ocorreram em  $A_2$  e  $A_0$ . Verifica-se que a variação em  $L^*$  com a variação da relação  $P_L/P_Y$ , para os níveis de adubação de cobertura  $A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , foram de 4,85; 2,52 e 2,90%, indicando que, para essas relações, independente dos custos da água e do álcool, deve-se visar sempre o máximo rendimento. Nota-se, no entanto, que, dentro do nível  $A_0$ , houve uma maior sensibilidade às mudanças de  $L^*$  com variações na relação  $P_L/P_Y$ , pois foi dentro desse nível que ocorreu menor resposta em produtividade industrial da cana às aplicações dos tratamentos de lâminas de água. Observa-se, ainda, para os três níveis, uma redução em  $L^*$  com o aumento do custo da mesma, ou seja, quanto maior a relação  $P_L/P_Y$ , menor será a lâmina ótima econômica.

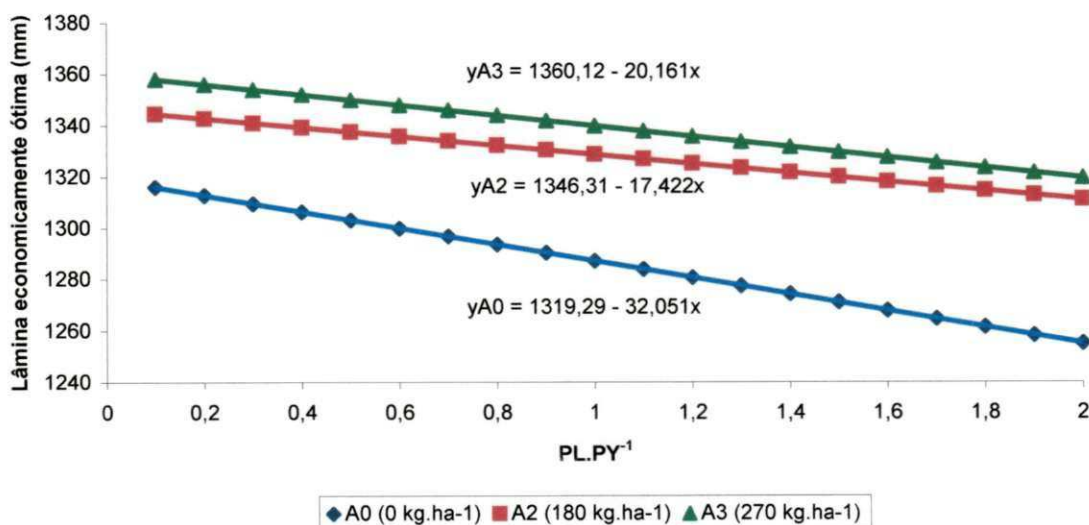


Figura 25 – Lâminas de água economicamente ótimas em função da relação entre o custo da água e o preço do litro de álcool.

Tabela 32 - Produtividade e receita líquida para  $L_m$ ,  $L^*$  e para as lâminas de água aplicadas na produção de álcool de cana-de-açúcar, 3ª soca. Capim-PB, 2004.

Parâmetros	Níveis de adubação de cobertura ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			
	$A_0$ 0 $\text{kg ha}^{-1}$	$A_1$ 90 $\text{kg ha}^{-1}$	$A_2$ 180 $\text{kg ha}^{-1}$	$A_3$ 270 $\text{kg ha}^{-1}$
Lâmina de água ( $L_m$ ), em mm	<b>1.319,29</b>	<b>1.366,00</b>	<b>1.346,31</b>	<b>1.360,12</b>
Lâmina de água ( $L^*$ ), em mm	<b>1.289,49</b>	<b>1.366,00</b>	<b>1.330,10</b>	<b>1.341,37</b>
Lâmina bruta de irrigação ( $L_m$ ), em mm	241,29	339,71	268,31	282,12
Lâmina bruta de irrigação ( $L^*$ ), em mm	211,49	339,71	252,10	263,37
Lâmina bruta de irrigação ( $L_0$ ), em mm	0	0	0	0
Lâmina bruta de irrigação ( $L_1$ ), em mm	113,65	113,65	113,65	113,65
Lâmina bruta de irrigação ( $L_2$ ), em mm	226,47	226,47	226,47	226,47
Lâmina bruta de irrigação ( $L_3$ ), em mm	339,71	339,71	339,71	339,71
Produtividade Y ( $L_m$ ), em $\text{L ha}^{-1}$	<b>4.666,08</b>	<b>6.439,91</b>	<b>8.374,46</b>	<b>9.243,54</b>
Produtividade Y ( $L^*$ ), em $\text{L ha}^{-1}$	<b>4.652,22</b>	<b>6.439,91</b>	<b>8.366,92</b>	<b>9.234,82</b>
Produtividade Y (L de 1078 mm), em $\text{L ha}^{-1}$	3.757,80	6.013,67	6.308,39	7.269,65
Produtividade Y (L de 1174 mm), em $\text{L ha}^{-1}$	4.336,75	6.155,75	7.522,37	8.384,44
Produtividade Y (L de 1270 mm), em $\text{L ha}^{-1}$	4.628,17	6.297,83	8.207,35	9.042,12
Produtividade Y (L de 1366 mm), em $\text{L ha}^{-1}$	4.632,05	6.439,91	8.363,33	9.242,68
Receita Líquida ( $R_{liq}L_m$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	<b>1.101,03</b>	<b>2.005,54</b>	<b>3.706,32</b>	<b>4.434,12</b>
Receita Líquida ( $R_{liq}L^*$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	<b>1.112,80</b>	<b>2.005,54</b>	<b>3.712,71</b>	<b>4.441,52</b>
Receita Líquida ( $R_{liq}L_0$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	519,62	1.911,61	2.162,12	2.979,19
Receita Líquida ( $R_{liq}L_1$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	921,95	1.942,59	3.104,22	3.836,98
Receita Líquida ( $R_{liq}L_2$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	1.080,52	1.974,23	3.597,32	4.306,88
Receita Líquida ( $R_{liq}L_3$ ), em $\text{R\$ ha}^{-1}$	994,36	2.005,54	3.640,45	4.387,90

#### b) Quarta soca (safra 2004/2005)

Os valores médios do rendimento industrial em álcool da cana-de-açúcar, em  $\text{L.ha}^{-1}$ , do fator lâmina para cada nível de adubação, referentes ao ciclo produtivo da 4ª soca, são apresentados na Tabela 33.

As médias do rendimento em álcool mostram uma resposta linear crescente à aplicação de lâminas de água, para todos os níveis de adubação e que para as condições mais extremas de déficit hídrico, notadamente em  $L_0$  e  $L_1$ , a aplicação de maiores doses de adubação de cobertura foi prejudicial à cultura.

Tabela 33 – Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator lâmina de água dentro de cada nível de adubação de cobertura, 4ª soca.

Lâminas (mm)	Níveis de adubação de cobertura ( $kg\ ha^{-1}$ )			
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)
L <sub>0</sub> (671)	3339,85	3804,95	3419,39	3255,99
L <sub>1</sub> (880)	3445,69	3848,87	3754,40	3580,58
L <sub>2</sub> (1.084)	4368,82	4953,07	6026,11	5941,30
L <sub>3</sub> (1.289)	4548,08	5398,86	7519,51	7660,64

Na Figura 26 encontram-se as equações polinomiais com os respectivos coeficientes de determinação. Os maiores valores dos coeficientes lineares obtidos dentro dos níveis A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> indicam que há maior efeito das lâminas dentro desses níveis, quando comparado com A<sub>0</sub> e A<sub>1</sub>. Além disso, a ocorrência de intercepto negativo em A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> revela a necessidade de fornecimento de água à cultura para que se obtenha um mínimo de rendimento para as doses mais elevadas de adubação.

As lâminas de água que proporcionam o máximo rendimento físico, a máxima receita líquida e as produtividades alcançadas com as lâminas fornecidas à cultura, para cada nível de adubação, são observados na Tabela 34.

Considerou-se o maior nível de água aplicado, dentro dos limites estudados, como a lâmina que maximiza os rendimento físico ( $L_m$ ) e econômico ( $L^*$ ). Os acréscimos no rendimento em álcool entre os tratamentos de lâmina de água L<sub>0</sub> e L<sub>3</sub>, foram de 1.364,54, 1.764,39, 4.369,88 e 4.670,23  $L\ ha^{-1}$ , nos níveis A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, respectivamente.

Observa-se que os máximos rendimentos físicos e econômicos, dentro do nível A<sub>3</sub>, foram superiores às obtidas em A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, com acréscimos percentuais de 285,31, 116,42 e 2,12%, respectivamente.



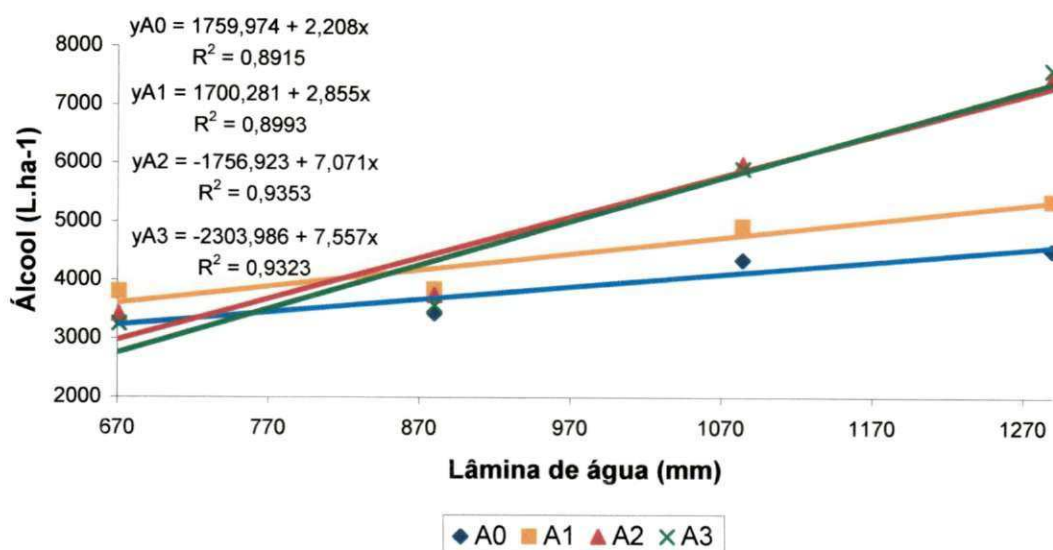


Figura 26 – Produtividade industrial de álcool (L ha<sup>-1</sup>), em função de diferentes lâminas de água, dentro de cada nível de adubação de cobertura.

Tabela 34 - Produtividade e receita líquida para Lm, L\* e para as lâminas de água aplicadas na produção de álcool de cana-de-açúcar, 4<sup>a</sup> soca. Capim-PB, 2005.

Parâmetros	Níveis de adubação de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )			
	A <sub>0</sub> 0 kg ha <sup>-1</sup>	A <sub>1</sub> 90 kg ha <sup>-1</sup>	A <sub>2</sub> 180 kg ha <sup>-1</sup>	A <sub>3</sub> 270 kg ha <sup>-1</sup>
Lâmina de água (Lm), em mm	<b>1289</b>	<b>1289</b>	<b>1289</b>	<b>1289</b>
Lâmina de água (L*), em mm	<b>1289</b>	<b>1289</b>	<b>1289</b>	<b>1289</b>
Lâmina bruta de irrigação (L <sub>0</sub> ), em mm	0	0	0	0
Lâmina bruta de irrigação (L <sub>1</sub> ), em mm	243,53	243,53	243,53	243,53
Lâmina bruta de irrigação (L <sub>2</sub> ), em mm	485,29	485,29	485,29	485,29
Lâmina bruta de irrigação (L <sub>3</sub> ), em mm	728,82	728,82	728,82	728,82
Produtividade Y (Lm), em L.ha <sup>-1</sup>	<b>4.606,09</b>	<b>5.380,38</b>	<b>7.357,60</b>	<b>7.436,99</b>
Produtividade Y (L*), em L.ha <sup>-1</sup>	<b>4.606,09</b>	<b>5.380,38</b>	<b>7.357,60</b>	<b>7.436,99</b>
Produtividade Y (L de 671 mm), em L ha <sup>-1</sup>	3.241,54	3.615,99	2.987,72	2.766,76
Produtividade Y (L de 880 mm), em L ha <sup>-1</sup>	3.703,01	4.212,68	4.465,56	4.346,17
Produtividade Y (L de 1084 mm), em L ha <sup>-1</sup>	4.153,45	4.795,10	5.908,04	5.887,80
Produtividade Y (L de 1289 mm), em L ha <sup>-1</sup>	4.606,09	5.380,38	7.357,60	7.436,99
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> Lm), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>1.003,15</b>	1.785,96	<b>3.784,93</b>	<b>3.865,19</b>
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> L*), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>1.003,15</b>	1.785,96	<b>3.784,93</b>	<b>3.865,19</b>
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> L <sub>0</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	221,23	599,79	-35,39	-258,77
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> L <sub>1</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	488,08	1.003,36	1.259,01	1.138,32
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> L <sub>2</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	745,23	1.393,94	2.519,12	2.498,66
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> L <sub>3</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	1.003,15	1.785,96	3.784,93	3.865,19

#### 4.4.2.2. Função de resposta para adubação de cobertura

##### a) Terceira soca (safra 2003/2004)

Os resultados da produtividade industrial, em  $L\ ha^{-1}$  de álcool, dos diferentes níveis de adubação de cobertura, para cada lâmina de água, estão mostrados na Tabela 35. Observa-se que houve uma resposta crescente às aplicações da adubação em cada nível de irrigação. As maiores produtividades ( $9.478,26$  e  $9.202,41\ L\ ha^{-1}$ ) foram obtidas com os níveis  $A_3/L_2$  e  $A_3/L_3$ , respectivamente. Como nessa safra agrícola (2003/2004) foi bastante chuvosa, verifica-se que a ausência de adubação foi mais prejudicial que a ausência de irrigação.

Tabela 35 – Produtividade média em álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator nível de adubação de cobertura dentro de cada lâmina de água, 3ª soca.

Níveis de adubação ( $kg\ ha^{-1}$ )	Lâmina de água (irrigação + precipitação efetiva, em mm)			
	$L_0$ (1.078)	$L_1$ (1.174)	$L_2$ (1.270)	$L_3$ (1.366)
$A_0$ (0)	3.936,95	4.039,42	5.073,14	4.602,36
$A_1$ (90)	6.043,45	6.162,93	6.192,11	6.507,22
$A_2$ (180)	6.357,33	7.236,25	8.407,81	8.227,68
$A_3$ (270)	7.442,36	8.079,12	9.478,26	9.202,41

Os modelos polinomiais de primeiro grau, que representam a função de resposta para o fator adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água fornecida à cultura, na safra agrícola da 3ª soca, são observados na Figura 27. Esses modelos, obtidos através de uma análise de regressão, têm como variável independente o nível de adubação de cobertura ( $A$ ), em  $kg\ ha^{-1}$ , e como variável dependente o rendimento bruto de álcool ( $Y$ ), em  $L\ ha^{-1}$ . Os coeficientes de cada modelo foram obtidos pelo software SISVAR.

Os níveis de adubação que proporcionam o máximo rendimento físico, a máxima receita líquida e as produtividades alcançadas com as doses aplicadas, para cada lâmina de água, são observados na Tabela 36. Considerou-se o maior nível de adubação, dentro dos limites estudados, como o que maximiza os rendimentos físicos ( $A_m$ ) e econômicos ( $A^*$ ).

Segundo os modelos matemáticos, verifica-se que dentro dos níveis de adubação empregados no experimento, o rendimento em álcool cresceu linearmente com o aumento dos níveis de adubação, havendo acréscimos, comparados ao tratamento não adubado, de 75,20; 89,94; 93,09 e 96,87% para os níveis  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , respectivamente. Semelhantemente, os incrementos na receita líquida foram de 178,35; 223,48; 190,20 e

210,87%. Observa-se que os máximos rendimentos físicos e econômicos, dentro do nível L<sub>2</sub>, foram superiores aos obtidos em L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub> e L<sub>3</sub>, com acréscimos percentuais de 62,22; 30,67 e 2,71%, respectivamente.

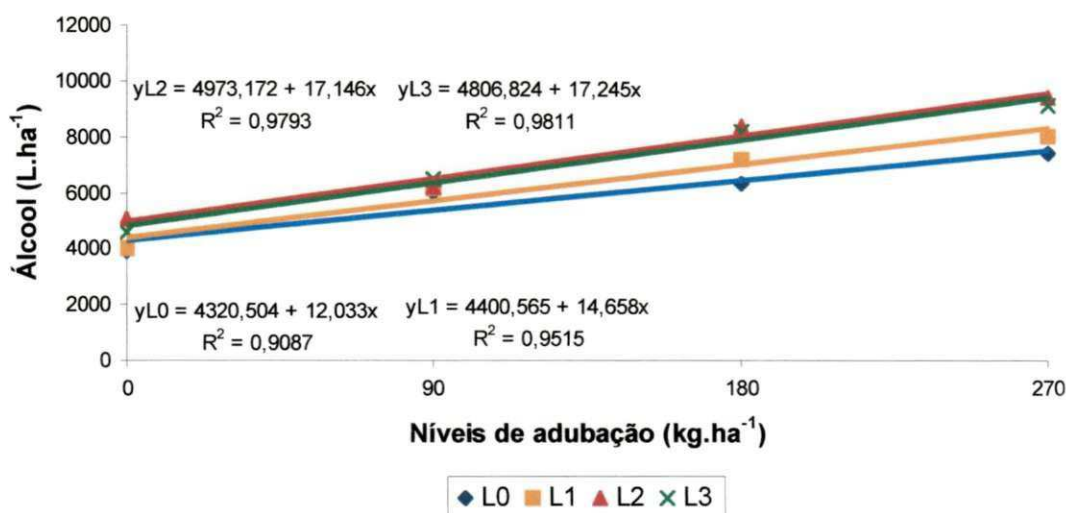


Figura 27– Produtividade industrial de álcool (L ha<sup>-1</sup>), em função de diferentes níveis de adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água, 3<sup>a</sup> soca.

Tabela 36 – Produtividade e receita líquida para Am, A\* e para as doses de adubação aplicadas no experimento na produção de álcool, dentro dos níveis de lâmina de água, 3<sup>a</sup> soca. Capim - PB, 2004.

Parâmetros	Lâminas de água (mm)			
	L <sub>0</sub> (1.078 mm)	L <sub>1</sub> (1.174 mm)	L <sub>2</sub> (1.270 mm)	L <sub>3</sub> (1.366 mm)
Nível de adubação (Am), em kg ha <sup>-1</sup>	270	270	270	270
Nível de adubação (A*), em kg ha <sup>-1</sup>	270	270	270	270
Nível de adubação (A <sub>0</sub> ), em kg ha <sup>-1</sup>	0	0	0	0
Nível de adubação (A <sub>1</sub> ), em kg ha <sup>-1</sup>	90	90	90	90
Nível de adubação (A <sub>2</sub> ), em kg ha <sup>-1</sup>	180	180	180	180
Nível de adubação (A <sub>3</sub> ), em kg ha <sup>-1</sup>	270	270	270	270
Produtividade Y (Am), em L ha <sup>-1</sup>	<b>7.569,41</b>	<b>8.358,23</b>	<b>9.602,59</b>	<b>9.462,97</b>
Produtividade Y (A*), em L ha <sup>-1</sup>	<b>7.569,41</b>	<b>8.358,23</b>	<b>9.602,59</b>	<b>9.462,97</b>
Produtividade Y (A <sub>0</sub> ), em L ha <sup>-1</sup>	4.320,50	4.400,57	4.973,17	4.806,82
Produtividade Y (A <sub>1</sub> ), em L ha <sup>-1</sup>	5.403,47	5.719,79	6.516,31	6.358,87
Produtividade Y (A <sub>2</sub> ), em L ha <sup>-1</sup>	6.486,44	7.039,01	8.059,45	7.910,92
Produtividade Y (A <sub>3</sub> ), em L ha <sup>-1</sup>	7.569,41	8.358,23	9.602,59	9.462,97
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> Am), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>2.777,69</b>	<b>3.448,18</b>	<b>4.505,89</b>	<b>4.387,22</b>
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> A*), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>2.777,69</b>	<b>3.448,18</b>	<b>4.505,89</b>	<b>4.387,22</b>
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> A <sub>0</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	997,92	1.065,97	1.552,69	1.411,29
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> A <sub>1</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	1.240,84	1.509,71	2.186,76	2.052,93
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> A <sub>2</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	2.009,27	2.478,94	3.346,32	3.220,08
Receita Líquida (R <sub>liq</sub> A <sub>3</sub> ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	2.777,69	3.448,18	4.505,89	4.387,22

### b) Quarta soca (safra 2004/2005)

Os valores médios do rendimento industrial em álcool da cana, em  $L\ ha^{-1}$ , do fator nível de adubação de cobertura para cada lâmina de água fornecida à cultura, referentes à 4ª soca, são apresentados na Tabela 37. Verifica-se uma falta de resposta aos níveis crescentes de adubação que pode ser atribuída ao déficit hídrico observado durante o ciclo da 4ª soca, uma vez que a água serve como meio de transporte aos nutrientes do solo para o interior das plantas. Assim, para um bom manejo da fertilização, é necessário fornecer uma quantidade adequada de água.

Tabela 37 - Produtividade média de álcool de cana-de-açúcar ( $L\ ha^{-1}$ ) para o fator níveis de adubação de cobertura dentro de cada lâmina de água, 4ª soca.

Níveis de adubação ( $kg\ ha^{-1}$ )	Lâmina de água (irrigação + precipitação efetiva, em mm)			
	L <sub>0</sub> (671)	L <sub>1</sub> (880)	L <sub>2</sub> (1.084)	L <sub>3</sub> (1.289)
A <sub>0</sub> (0)	3.339,85	3.445,69	4.368,82	4.548,08
A <sub>1</sub> (90)	3.804,95	3.848,87	4.953,07	5.398,86
A <sub>2</sub> (180)	3.419,39	3.754,40	6.026,11	7.519,51
A <sub>3</sub> (270)	3.255,99	3.580,58	5.941,30	7.660,64

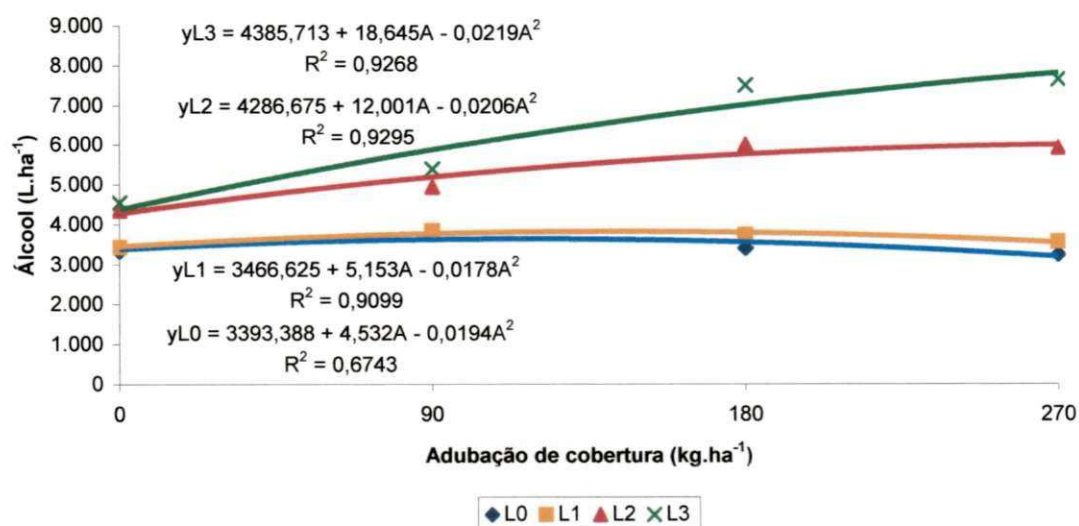


Figura 28 – Produtividade industrial de álcool ( $L\ ha^{-1}$ ), em função de diferentes níveis de adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água.

Os modelos polinomiais de segundo grau, que representam a função de resposta para o fator adubação de cobertura, dentro de cada lâmina de água fornecida à cultura, na safra agrícola da quarta soca, são observados na Figura 28. O nível de adubação que

maximiza rendimento físico ( $A_m$ ), para cada lâmina total de água, foi calculado derivando-se as equações e igualando-se a zero.

O nível de adubação necessário para a maximização dos lucros ( $A^*$ ), considerado economicamente ótimo para cada lâmina de água, foi calculado derivando-se as equações polinomiais e igualando-se à relação de preços  $P_A/P_Y = 1,91$ , conforme as equações abaixo relacionadas. Neste ponto, o aumento na receita resultante do uso da última unidade do fator adubação de cobertura é igual ao acréscimo de custo proveniente do uso desta última unidade.

$$\frac{dY}{dA/L_0} = 4,532 - 0,0388A = \frac{P_A}{P_Y} \quad (18)$$

$$\frac{dY}{dA/L_1} = 5,153 - 0,0356A = \frac{P_A}{P_Y} \quad (19)$$

$$\frac{dY}{dA/L_2} = 12,001 - 0,0412A = \frac{P_A}{P_Y} \quad (20)$$

$$\frac{dY}{dA/L_3} = 18,645 - 0,0438A = \frac{P_A}{P_Y} \quad (21)$$

Os níveis de adubação de cobertura que proporcionam o máximo rendimento físico ( $A_m$ ), a máxima receita líquida ( $A^*$ ) e as produtividades alcançadas com as adubações para cada lâmina de água são observados na Tabela 38.

De acordo com a Tabela 38, os máximos rendimentos físicos ( $A_m$ ) ficaram compreendidos entre os níveis de adubação  $A_1$  e  $A_2$ , dentro de  $L_0$ , entre  $A_2$  e  $A_3$ , dentro de  $L_1$ , e acima do nível  $A_3$ , em  $L_3$ . Os maiores valores da receita líquida ( $A^*$ ) foram obtidos com a aplicação de níveis de adubação entre  $A_0$  e  $A_1$  dentro de  $L_0$ , aproximadamente igual a  $A_1$  em  $L_1$ , entre  $A_2$  e  $A_3$  dentro de  $L_2$  e acima de  $A_3$  em  $L_3$ , cujo acréscimo foi de 41,48%. Os menores valores de  $A_m$  e  $A^*$  foram obtidos com aplicações de níveis de adubação dentro do tratamento de sequeiro ( $L_0$ ).

Comparando-se as receitas líquidas entre  $R_{liq}A^*$  e  $RA_m$ , verifica-se um acréscimo da primeira em relação à segunda de 11,39; 9,47; 1,80 e 0,92% em  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , respectivamente. Observa-se, também, um incremento de lucro líquido entre a máxima receita líquida ( $R_{liq}A^*$ ) e as receitas líquidas  $R_{liq}A_0$ ,  $A_1$  e  $A_2$ , dentro da lâmina  $L_0$ , de 23,92; 2,16 e 114,39, respectivamente, e um prejuízo de -236,96% ao se aplicar a dose  $A_3$ . Dentro de  $L_1$  a máxima receita líquida ( $R_{liq}A^*$ ) foi superior às receitas líquidas  $R_{liq}A_0$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , em

percentuais de 33,30; 31,17 e 288,50%, respectivamente, e igual à  $R_{liq}A_1$ . Em  $L_2$ , a receita  $R_{liq}A^*$  foi superior às receitas líquidas  $R_{liq}A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , num percentual de 85,82; 22,67; 3,36 e 0,49%, respectivamente. Idem para  $L_3$ , cujo percentual de acréscimo foi de 207,69; 65,13; 23,27 e 6,16%.

Verifica-se que a receita líquida  $R_{liq}A^*$ , dentro do nível de lâmina  $L_3$ , foi superior às obtidas em  $L_0$ ,  $L_1$ , e  $L_2$ , com de acréscimos de 892,84; 670,72 e 82,42%, respectivamente. O mesmo desempenho foi observado para  $R_{liq}A_m$ , cujos incrementos foram de 995,82, 736,00 e 84,00%, respectivamente.

Tabela 38 - Produtividade e receita líquida para  $A_m$ ,  $A^*$  e para as doses de adubação aplicadas no experimento na produção de álcool, dentro dos níveis de lâmina de água (2005).

Parâmetros	Lâminas de água (mm)			
	$L_0$ (671 mm)	$L_1$ (880 mm)	$L_2$ (1.084 mm)	$L_3$ (1.289 mm)
Nível de adubação ( $A_m$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	<b>116,80</b>	<b>144,75</b>	<b>291,29</b>	<b>425,68</b>
Nível de adubação ( $A^*$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	<b>67,60</b>	<b>91,12</b>	<b>244,95</b>	<b>382,10</b>
Nível de adubação ( $A_0$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	0	0	0	0
Nível de adubação ( $A_1$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	90	90	<b>90</b>	90
Nível de adubação ( $A_2$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	180	180	180	180
Nível de adubação ( $A_3$ ), em kg ha <sup>-1</sup>	270	270	270	270
Produtividade Y ( $A_m$ ), em L ha <sup>-1</sup>	<b>3.658,07</b>	<b>3.839,57</b>	<b>6.034,54</b>	<b>8.354,16</b>
Produtividade Y ( $A^*$ ), em L ha <sup>-1</sup>	<b>3.611,10</b>	<b>3.788,38</b>	<b>5.990,31</b>	<b>8.312,56</b>
Produtividade Y ( $A_0$ ), em L ha <sup>-1</sup>	3.393,39	3.466,63	4.286,68	4.385,71
Produtividade Y ( $A_1$ ), em L ha <sup>-1</sup>	3.644,13	3.786,22	5.199,91	5.886,37
Produtividade Y ( $A_2$ ), em L ha <sup>-1</sup>	3.580,59	3.817,45	5.779,42	7.032,25
Produtividade Y ( $A_3$ ), em L ha <sup>-1</sup>	3.202,77	3.560,32	6.025,21	7.823,35
Receita Líquida ( $R_{liq}A_m$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>416,90</b>	<b>546,47</b>	<b>2.482,77</b>	<b>4.568,51</b>
Receita Líquida ( $R_{liq}A^*$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	<b>464,38</b>	<b>598,22</b>	<b>2.527,48</b>	<b>4.610,57</b>
Receita Líquida ( $R_{liq}A_0$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	374,75	448,79	1.277,86	1.377,99
Receita Líquida ( $R_{liq}A_1$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	454,54	598,19	2.027,43	2.721,45
Receita Líquida ( $R_{liq}A_2$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	216,60	456,07	2.439,62	3.706,24
Receita Líquida ( $R_{liq}A_3$ ), em R\$ ha <sup>-1</sup>	-339,07	22,41	2.514,41	4.332,34

Os máximos rendimentos físicos ( $A_m$ ), para cada lâmina de água aplicada, ocorreram entre  $A_2$  e  $A_3$ , dentro dos níveis  $L_0$  e  $L_1$ , e acima de  $A_3$ , nos níveis  $L_2$  e  $L_3$  (Tabelas 38 e 39). Observa-se que os produtos físicos marginais da adubação foram maiores para as menores doses de adubação aplicadas, e à medida que as doses de  $A$  aumentaram este diminuiu até chegar a zero, onde ocorre o máximo rendimento físico. Na Tabela 38 encontram-se os valores de  $A_m$  para cada lâmina de água.

Tabela 39. Produto físico marginal dos diferentes níveis de adubação de cobertura aplicados, correspondentes a cada lâmina de água (2005).

Níveis de adubação	Lâmina de água			
	L <sub>0</sub> (671 mm)	L <sub>1</sub> (880 mm)	L <sub>2</sub> (1.084 mm)	L <sub>3</sub> (1.289 mm)
A <sub>0</sub> (0 kg ha <sup>-1</sup> )	4,53	5,15	12,00	18,65
A <sub>1</sub> (90 kg ha <sup>-1</sup> )	1,04	1,95	8,29	14,70
A <sub>2</sub> (180 kg ha <sup>-1</sup> )	-2,45	-1,26	4,59	10,76
A <sub>3</sub> (270 kg ha <sup>-1</sup> )	-5,94	-4,46	0,88	6,82

Observa-se, na Figura 29, que os níveis de adubação de cobertura economicamente ótimos (A\*), em função da relação P<sub>A</sub>/P<sub>Y</sub>, apresentaram a mesma tendência na redução das quantidades ótimas de adubação de cobertura com o aumento no custo do fertilizante aplicado, ou seja, quanto maior a relação P<sub>A</sub>/P<sub>Y</sub>, menor será A\*. Dentro das lâminas L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> ocorreram acréscimos de A\*, entre o menor e o maior valor da relação P<sub>A</sub>/P<sub>Y</sub>, de 118,11; 90,47; 25,26 e 14,86%, respectivamente. Supõe-se, então, que para os tratamentos que apresentaram maiores déficits hídricos, há uma maior sensibilidade na mudança da quantidade ótima de adubo a ser aplicada com a variação na relação de preços P<sub>A</sub>/P<sub>Y</sub> e, conseqüentemente, um maior distanciamento entre A<sub>m</sub> e A\* (Tabela 41). Além disso as doses ótimas de adubação aumentaram com o aumento da lâmina de água, indicando maior eficiência no uso dos fertilizantes.

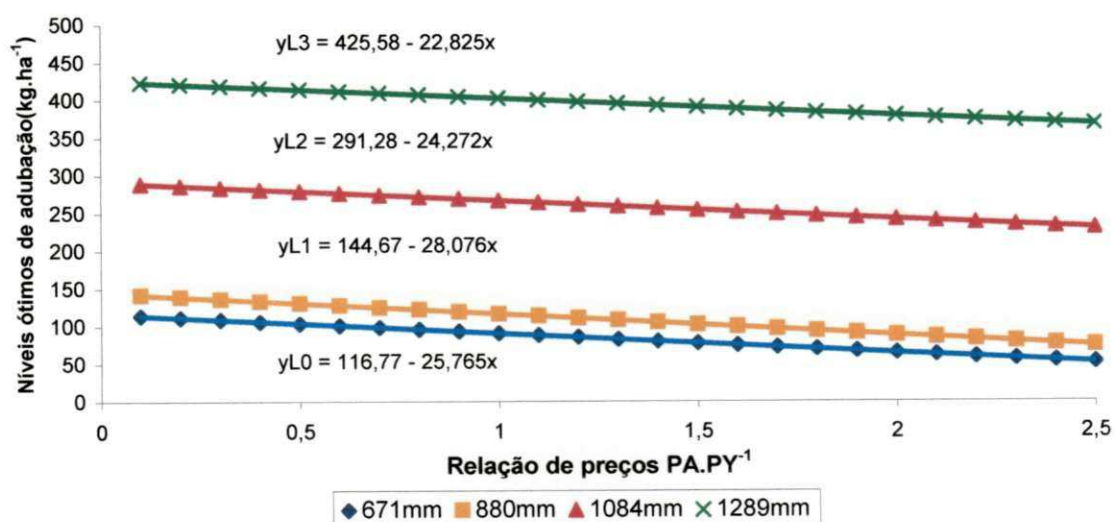


Figura 29 - Níveis de adubação de cobertura economicamente ótimos em função da relação entre o preço do adubo e o preço do litro de álcool.

#### 4.5. Eficiência do Uso da Água (EUA)

Nas Tabelas 40 e 41, se encontram os resultados médios da eficiência do uso da água, para os ciclos produtivos de terceira e quarta soca, cujas médias gerais foram de 55,89 e 45,49 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores rendimentos em colmos obtidos na 3<sup>a</sup> soca propiciaram uma maior EUA em comparação à 4<sup>a</sup> soca. Verifica-se que a EUA nos dois ciclos foram menores nos tratamentos não adubados (A<sub>0</sub>), demonstrando um efeito prejudicial da ausência de adubação na EUA.

Tabela 40 - Valores médios da eficiência do uso da água (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 3<sup>a</sup> soca. Capim - PB, 2004.

Lâminas (mm)	Adubação de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )				Médias
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)	
L <sub>0</sub> (1.078)	37,72	57,13	61,93	71,27	57,01
L <sub>1</sub> (1.174)	35,93	54,25	62,57	65,98	54,68
L <sub>2</sub> (1.270)	43,09	51,01	65,06	75,67	58,71
L <sub>3</sub> (1.366)	36,40	46,77	60,38	69,10	53,16
Médias	38,28	52,29	62,48	70,51	55,89

Tabela 41 - Valores médios da eficiência do uso da água (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) em função das lâminas de água e níveis de adubação de cobertura, 4<sup>a</sup> soca. Capim - PB, 2005.

Lâminas (mm)	Adubação de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )				Médias
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)	
L <sub>0</sub> (671)	49,75	54,96	50,76	47,24	50,68
L <sub>1</sub> (880)	38,33	43,01	41,69	39,12	40,54
L <sub>2</sub> (1.084)	38,01	43,48	51,29	51,23	46,00
L <sub>3</sub> (1.289)	33,42	39,06	52,87	53,63	44,75
Médias	39,88	45,13	49,15	47,80	45,49

Os valores médios obtidos na 3<sup>a</sup> soca (Tabela 40) aumentaram com o incremento dos níveis de adubação, pois de acordo com Lopes (1998), sempre que um elemento ausente ou deficiente aumenta a produção quando é aplicado, a eficiência do uso da água também aumenta. Os tratamentos L<sub>2</sub>A<sub>3</sub> e L<sub>1</sub>A<sub>0</sub> foram os que apresentaram as maiores e menores médias da EUA, respectivamente 75,67 e 35,93 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.



Já para a 4ª soca, a eficiência do uso da água apresentou resposta crescente às aplicações das lâminas  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  até os níveis de adubação  $A_1$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , respectivamente. As maiores e menores médias ficaram para os tratamentos  $L_3A_3$  e  $L_3A_0$ , respectivamente, 53,63 e 33,42 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

A análise de variância da EUA é apresentada na Tabela 42. De acordo com essa análise, houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) apenas para adubação de cobertura no ciclo da terceira soca, enquanto no ciclo seguinte a EUA foi afetada significativamente ( $p \leq 0,01$ ) pelos fatores lâmina de água e adubação de cobertura. Com relação à interação L x A, verifica-se que a mesma não foi significativa ( $p > 0,05$ ) para a característica avaliada na terceira soca, indicando que a lâmina de água agiu independente da adubação, enquanto para quarta soca o efeito foi significativo ( $p \leq 0,01$ ), o que demonstra a existência de uma dependência entre os efeitos de ambos os fatores sobre a EUA.

Tabela 42 - Resumo da análise de variância da eficiência do uso da água, em função das lâminas de água e níveis de adubação para as colheitas realizadas nos anos de 2004 e 2005, Capim - PB.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		EUA (2004)	EUA (2005)
Lâminas	3	96,55 <sup>ns</sup>	287,10 <sup>**</sup>
Adubação	3	3093,53 <sup>**</sup>	276,56 <sup>**</sup>
L x A	9	35,79 <sup>ns</sup>	120,64 <sup>**</sup>
Bloco	3	174,23 <sup>ns</sup>	429,35 <sup>**</sup>
Resíduo	45	89,41	40,38
CV (%)		16,92	13,96

\*\* Significativo a 1%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

De acordo com a análise de regressão (Tabela 43), os valores médios obtidos para o fator lâminas de água, na 3ª soca, não se ajustaram a nenhuma função matemática. No entanto, houve efeito linear das adubações, em nível de 1% de probabilidade, sobre a eficiência do uso da água. De acordo com a equação obtida (Figura 30), para cada incremento de 90 kg.ha<sup>-1</sup> do nível de adubação de cobertura, há um aumento de aproximadamente 10,71 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> na EUA.

Conforme análise de regressão para a 4ª soca, do fator lâmina de água em cada nível de adubação (Tabela 44), verifica-se que a eficiência do uso da água decresceu linearmente com o aumento do fornecimento de água às culturas, dentro dos níveis  $A_1$  ( $p \leq 0,05$ ) e  $A_2$  ( $p \leq 0,01$ ), cujos decréscimos foram de 2,4 e 2,3 kg ha<sup>-1</sup> para cada 100 mm de água aplicados, conforme o modelo obtido (Figura 31). Para os outros níveis não foi

possível o ajuste dos dados aos modelos testados, não sendo observado efeito significativo ( $p > 0,05$ ) tanto linear quanto quadrático.

De acordo com o desdobramento do fator adubação de cobertura em cada nível de lâmina de água (Tabela 45), observa-se efeito quadrático, em nível de 14,8% de probabilidade para níveis de adubação dentro de  $L_0$  e em nível de 12,7% de probabilidade para os níveis de adubação dentro de  $L_1$ . Houve efeito linear ( $p \leq 0,01$ ) para os níveis de adubação dentro de  $L_2$  e  $L_3$ .

Segundo os modelos obtidos (Figura 32), nas aplicações dos níveis de adubação dentro das lâminas  $L_0$  e  $L_1$ , observa-se incrementos da eficiência do uso da água até as doses de 110,56 e 140,00  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , com valores máximos estimados em torno de 53,56 e 42,88  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ , respectivamente. Quanto aos níveis de adubação, dentro de  $L_2$  e  $L_3$ , verifica-se efeito linear positivo com aplicações dos níveis de adubação, implicando em acréscimos na EUA de 4,74 e 7,44  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$  para cada 90  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de adubação de cobertura aplicada, respectivamente.

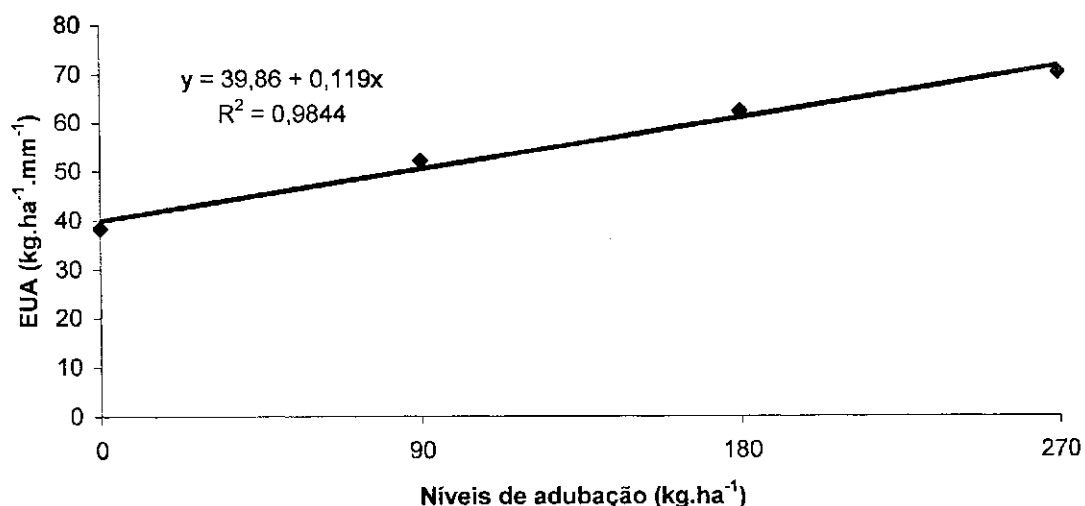


Figura 30 - Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função dos níveis de adubação de cobertura, 3ª soca. Capim - PB.

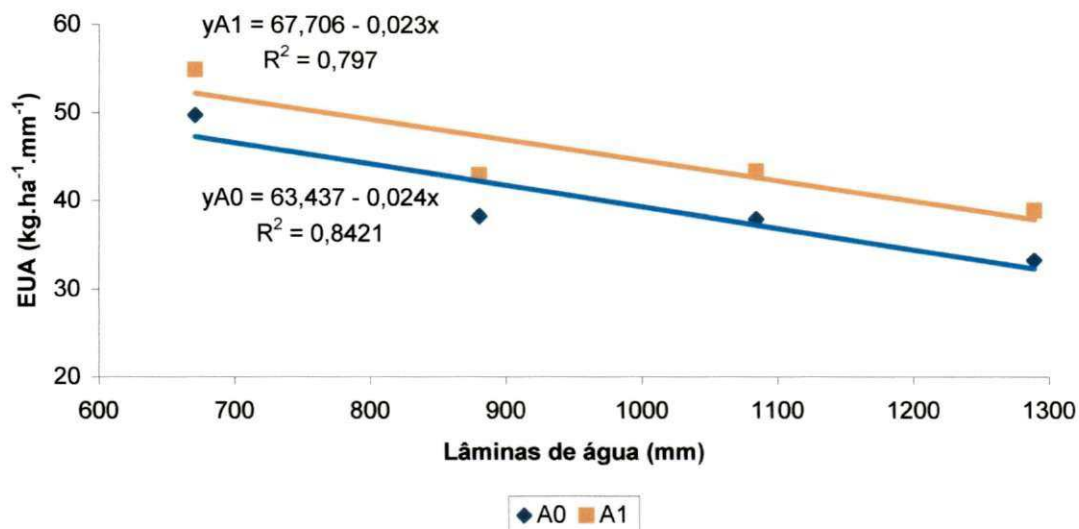


Figura 31 - Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função das lâminas de água, 4<sup>a</sup> soca. Capim - PB.

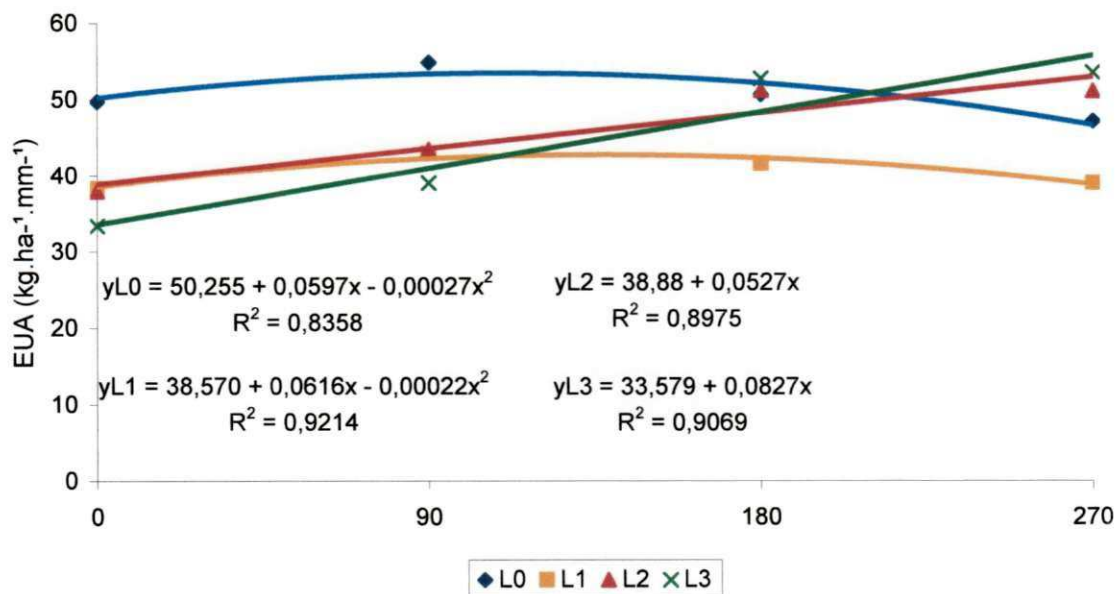


Figura 32 - Eficiência do uso da água da cana-de-açúcar em função dos níveis de adubação de cobertura, 4<sup>a</sup> soca. Capim - PB.

Tabela 43 – Resumo da análise de regressão da eficiência do uso da água em função das lâminas de água e das adubações, 3ª soca. Capim - PB, 2004.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio (EUA)
Lâminas	3	24,15 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	11,35 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	10,35 <sup>ns</sup>
Desvio	1	50,74 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	56,57
CV (%)		13,46
Adubação	3	773,44 <sup>**</sup>
Regressão Linear	1	2284,03 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	35,76 <sup>ns</sup>
Desvio	1	0,55 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	9,65
CV (%)		5,56

\*\* Significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Tabela 44 - Análise de regressão das lâminas de água utilizadas em função das doses de adubação para eficiência do uso da água, 4ª soca. Capim - PB, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>0</sub> (0 kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>193,40<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	488,58 <sup>*</sup>
Regressão Quadrática	1	45,94 <sup>ns</sup>
Desvio	1	45,69 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	53,84
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>1</sub> (90 kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>187,65<sup>*</sup></b>
Regressão Linear	1	448,69 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	56,10 <sup>ns</sup>
Desvio	1	58,15 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	31,30
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>2</sub> (180 kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>102,17<sup>*</sup></b>
Regressão Linear	1	49,59 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	115,67 <sup>ns</sup>
Desvio	1	141,24 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	23,86
<b>Lâminas dentro da dose A<sub>3</sub> (270 kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>3</b>	<b>161,90<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	193,38 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	113,89 <sup>ns</sup>
Desvio	1	178,42 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	58,68

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

Tabela 45 - Análise de regressão das doses de adubação utilizadas em função das lâminas de água para eficiência do uso da água, 4ª soca. Capim - PB, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
<b>Doses de adubação dentro de L<sub>0</sub> (671 mm)</b>	<b>3</b>	<b>41,39<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	27,53 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	76,26 <sup>(0,148)</sup>
Desvio	1	20,39 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	30,46
<b>Doses de adubação dentro de L<sub>1</sub> (880 mm)</b>	<b>3</b>	<b>19,11<sup>ns</sup></b>
Regressão Linear	1	0,21 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	52,60 <sup>(0,127)</sup>
Desvio	1	4,50 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	18,61
<b>Doses de adubação dentro de L<sub>2</sub> (1.084 mm)</b>	<b>3</b>	<b>167,41<sup>*</sup></b>
Regressão Linear	1	450,73 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	30,61 <sup>ns</sup>
Desvio	1	20,88 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	30,59
<b>Doses de adubação dentro de L<sub>3</sub> (1.289 mm)</b>	<b>3</b>	<b>407,43<sup>**</sup></b>
Regressão Linear	1	1108,49 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	23,79 <sup>ns</sup>
Desvio	1	90,04 <sup>ns</sup>
Resíduo	9	17,90

( ) O valor entre parênteses representa a significância da fonte de variação, \*\* Significativo a 1% de probabilidade, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

## 5 - CONCLUSÕES

1. Em condições severas de estresse hídrico ocorreu uma mudança no padrão de perfilhamento da cana-de-açúcar.
2. O aumento nas lâminas de água de irrigação afetou positivamente a acumulação de matéria seca e os índices fisiológicos de crescimento.
3. O número de colmos por metro linear e o comprimento do mesmo, no ciclo da terceira soca, foram superiores às do ciclo seguinte, com exceção do diâmetro.
4. Entre as características biométricas avaliadas na 3ª soca, ocorreram efeitos da irrigação apenas no comprimento de colmos, efeitos de adubação de cobertura nas três características e efeito da interação lâmina de água e adubação apenas no número de colmos por metro linear.
5. No ciclo produtivo da 4ª soca houve resposta para irrigação e adubação de cobertura em todas as características biométricas analisadas. O efeito da interação ocorreu apenas para o número de colmos por metro linear.
6. As produtividades médias de colmos da terceira soca foram superiores às da quarta.
7. Durante o ciclo da 3ª soca, a produtividade média de colmos foi influenciada significativamente pelos fatores lâmina de água e adubação de cobertura. No ciclo da 4ª soca, houve resposta significativa para irrigação, adubação e interação L x A.
8. A 4ª soca respondeu linearmente à aplicação de lâminas de água, dentro de cada nível de adubação. Houve resposta quadrática da adubação para os níveis de lâminas L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub>, cujos níveis de adubação que maximizam o rendimento e as respectivas produtividades foram de 111,39 kg ha<sup>-1</sup> e 35,95 t ha<sup>-1</sup>, em L<sub>0</sub>; 142,63 kg ha<sup>-1</sup> e 37,81 t ha<sup>-1</sup>, em L<sub>1</sub>. Dentro dos níveis L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, a cultura respondeu de forma linear à aplicação das doses de adubação.
9. Houve efeito linear crescente das adubações sobre a eficiência do uso da água (EUA) durante o ciclo da 3ª soca.
10. A EUA durante a 4ª soca decresceu linearmente com o aumento do fornecimento de água, dentro dos níveis A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>. Ocorreu efeito quadrático, para os níveis de adubação dentro de L<sub>0</sub> e L<sub>1</sub>, com as máximas eficiências estimadas em torno de 53,56 e 42,88 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para os níveis de adubação de 110,56 e 140,00 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve efeito linear para os níveis de adubação dentro de L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>.

11. A função de resposta da cana, em relação à lâmina de água fornecida na 3ª soca, dentro de níveis de adubação, apresentou um ponto de máxima em  $L_m(A_3) = 1.360,12$  mm com rendimento de  $9.243,54$  Lha<sup>-1</sup>, proporcionando uma receita líquida de R\$ 4.434,12 ha<sup>-1</sup>. Já a máxima economia foi alcançada em  $L^*(A_3) = 1.341,37$  mm com produtividade de  $9.234,82$  L.ha<sup>-1</sup>, que proporcionou uma receita líquida de R\$ 4.441,52 ha<sup>-1</sup>, para uma relação de preços  $C_L/P_Y = 0,93$ .
12. Em função de níveis de adubação dentro de lâminas de água na 4ª soca, a função de resposta apresentou ponto de máximo em  $A_m(L_3) = 425,68$  kg ha<sup>-1</sup> com rendimento de  $8.354,16$  L ha<sup>-1</sup> proporcionando uma receita líquida de R\$ 4.568,51 ha<sup>-1</sup> e ponto de máxima economia  $A^*(L_3) = 382,10$  kg ha<sup>-1</sup> com produtividade de  $8.312,56$  L ha<sup>-1</sup> e receita líquida de R\$ 4.610,57 ha<sup>-1</sup>, para a relação de preço  $P_A/P_Y = 1,91$ .

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, A.G. Sugarcane physiology. Amsterdam: Elsevier, 1973, 752p.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.42-55.
- ANTUNES, L.M.; RIES, L.R. Gerência Agropecuária: análise de resultados. Guaíba: Agropecuária, 1998. 240p.
- AZEVEDO, H.M. de. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba. Campina Grande: UFCG/PB, 2002. 112p. (Tese de Doutorado).
- BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (org) Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983, p. 25-37.
- BARRETO, G.B.; ALVAREZ, R. BICUDO, S.P.; ARRUDA, H.V. Resultados preliminares de irrigação de cana-de-açúcar pelo sistema de sulcos, em latossolo roxo. Bragantia, v. 30, n.21, p.277-288, 1971.
- BASSEREAU, M. Sugarcane mechanized irrigation; technical possibilities and economic limits. African Agriculture, vol 43, n. 23, p. 20-21, 1979.
- BEGG, J.E.; TURNER, N. Crop water deficits. In: BRADY, N.C. (ed.). Advances in Agronomy. Academic Press. American Society of Agronomy, 1976, p. 161-217.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.



- BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. In: FARIAS, M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L. A.A.; SILVA, A.M. (eds.). Manejo de Irrigação. Poços de Caldas: UFL/SBEA, 1998. cap.1, p.117-132.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 2. ed., Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 463p.
- BOS, M.G.; NUGTEREN, J. On irrigation efficiencies. Publication 19. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), 1978.
- BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BROUWER, C; HEIBLOEM. Irrigation water management: irrigation water needs. Roma: FAO, 1986. 60p (Training Manual, 3).
- BURMAN, R.; POCHOP, L.O. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. 1ed. Laramie: Elsevier, 1994. 278p.
- CALDAS, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p
- CARVALHO, C.M. de. Rendimento da Cana, Terceira Folha, sob Diferentes Níveis de Irrigação nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. Campina Grande: UFCG/PB, 2003. 80p. (Dissertação de Mestrado).
- CHUEIRI, W.A.; CARDOSO JÚNIOR, O.; REIS JÚNIOR, R.A. Manejo do potássio na adubação de semeadura. Manah: Divulgação técnica, ano 22, n.167, 2004. Disponível em: <http://www.manah.com.br>. Consultado em: 15/07/2005.

- CESNIK, R; MIOCQUE, J. *Melhoramento da cana-de-açúcar*. 1.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307p.
- CNA. Relatório de atividades 2005 da Confederação da Agricultura e pecuária do Brasil. Disponível em:  
[http://www.cna.org.br/RelatorioAtividades2005/capitulo\\_21/cap\\_21\\_pag01.html](http://www.cna.org.br/RelatorioAtividades2005/capitulo_21/cap_21_pag01.html).  
Consultado em 25/05/2006.
- COELHO, M.B.; BARBOSA, M.H.P.; MACIEL, M.L. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8, Recife, 2002, Anais. Recife: STAB, p. 591-596, 2002.
- CONAB. Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2006/2007-segundo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.org.br>. Consultado em 15/09/2006.
- CROCOMO, O.J.; SILVEIRA, J.A.G. O sistema fonte-reservatório e a produtividade de cana-de-açúcar. Boletim Agricultura, FEALQ-ESALQ, Piracicaba, SP, v.III, p.6-7, 1983.
- DASTANE, N.G. Effective rainfall in irrigated agriculture. Roma: FAO, 1978. 62p. (Irrigation and Drainage Paper, 25).
- DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.
- DOORENBOS, J. KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 2000. 221p.: il. 2 ed. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- ENGLISH, M.J. Deficit irrigation I: Analytical Framework. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.116, n.13, p.399-412, 1990.
- FARIAS, C.H.A. Desenvolvimento morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e sequeiro na Zona da Mata Paraibana - Campina Grande: UFPB, 2001. (Dissertação de Mestrado).

- FERNANDES, A. J. Manual da cana-de-açúcar. 2. ed. Piracicaba: Livroceres, 1990. 196p.
- FIGUEREDO, J.L.C. Efeitos de diferentes lâminas de água e níveis de adubação de cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar. Campina Grande: UFCG/PB, 2004. 62p. (Dissertação de Mestrado).
- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ-USP, 1993. 42p.: v. (LER. Série didática, 6).
- FRIZZONE, J.A. Funções de produção. In: FARIAS, M.A., SILVA, E.L., VILELA, L.A.A., SILVA, A.M. eds. Manejo de Irrigação. Poços de Caldas: UFL/SBEA, 1998. cap.1, p.86-116.
- GAVA, G.J. de C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W. de; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.
- GIACOMINI, G.; APELFELLER, A. ROSENFELD, U. A irrigação de cana-de-açúcar na Usina Sapucaia. STAB: açúcar, álcool e subprodutos, vol.14, n.3, p. 10-12, 1996.
- GIRARDI, G. Revolução tecnológica e a indústria da cana. Disponível em: [http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Empresas+%26+Produtos&ID\\_Materia=24145](http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Empresas+%26+Produtos&ID_Materia=24145). Consultado em 07/11/2006.
- GRANER, E.A.; GODOY, C. Culturas da fazenda brasileira. 3 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1964. 461p.
- GUILHERME JÚNIOR, R.M. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.) Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas, Fundação Cargill, 1987, v.1, Cap. II, p.165-185.

- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Economics considerations of deficit irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.110, n.3, p.343-358, 1984.
- HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. *STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, vol.17, n.5, p. 32-34, 1999.
- HEXEM, R.W.; HEADY, E.O. *Water production functions for irrigated agriculture*. Ames: Iowa State University Press, 1978. 215 p.
- HERNANDEZ, F.B.T. Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) na região de Jaboticabal-SP. Jaboticabal: UNESP, 1991. 77p. Dissertação Mestrado.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J.J. de C.; SERRANO, O.; THAME, A.C. de M.; NEVES, E.M. *Administração da empresa agrícola*. 4ed. São Paulo: Pioneira, 1984. 325p.
- HOWELL, T.A. Relationships between crop production and transpiration, evapotranspiration, and irrigation. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (ed.). *Irrigation of agricultural crops*. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.391-434.
- HOWELL, T.A.; CUENCA, R.H.; SOLOMON, K.H. Crop yield response. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (ed.). *Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p.93-122.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.
- IAA. *Manual de orientação da cultura da cana-de-açúcar*. Ministério da Indústria e Comércio. PLANALSUCAR, Coordenadoria Regional Sul, 1986.

- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Censo Agropecuário 1995-1996 e Produção Agrícola Municipal 1990-2000. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.Br>. Consultado em 07/04/2004.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v.92, p.185-202, 2005.
- KORNDORFER, G.H.; ALCARDE, J.C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e ressoca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.183-186, 1992.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. 1ed. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.
- LOPES, A.S. *Manual Internacional de fertilidade do solo*. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.
- LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *Anais da ESA "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v. 41, p. 181-202, 1984.
- LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (eds.). *Ecofisiologia de culturas extrativas: Cana-de-açúcar; seringueira, coqueiro, dedenzeiro e oliveira*. Cosmópolis: Staller do Brasil, 2001, p. 13-45.
- MACHADO, E.C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. *Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.56-85.
- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.
- MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Coords.). *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba:POTAFOS, 1987. p.113-118.

- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (ed.). Fisiologia vegetal. São Carlos: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1985. p.333-350.
- MARINHO, M.L. Aspectos agronômicos e econômicos da adubação da cana em Alagoas. Rio Largo: EECA, 1974. 60p.
- MUTANDA, P.P.M. Response of sugarcane to nitrogen fertilizer and climate in two major soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17., Havana, 1983, Proceedings, Havana, José Marti, 1983. v.1, p.200-218.
- NORONHA, J.F. Teoria da produção aplicada à análise econômica de experimentos. In: CONTINI, E.; ARAÚJO, J.D. De; OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E. (eds.). Planejamento da propriedade agrícola – modelos de decisão. Brasília: EMBRAPA/DEP, 1984. Documentos, 7, p.23-65.
- OLIVIER, F.C.; SINGELS, A. Decision support programs to increase water use efficiency and assess irrigation profitability: a case study for Pongola. Disponível em: <http://www.sasa.org.za/sasri/about/agronomy/aapdfs/2001/folivier.pdf>. Acessado:19 Nov. 2004.
- OLIVEIRA, P.F.M.; SOARES, R.A.B.; RESENDE, N.C.; CARDOSO, H.R.; ROSENFELD,U.; MACHADO, V.F. Efeito da palha sobre a produtividade da cana-de-açúcar submetida a lâminas crescentes de irrigação de brotação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7, Londrina, 1999. Anais. Piracicaba: STAB, 1999...p.141-145
- OLIVEIRA, R.A; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; SILVA, D.K.T. da. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no noroeste do Paraná. Scientia Agraria, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.

- ORLANDO FILHO, J. Absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade CB 41-76 em três grandes grupos de solos do Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ-USP, 1978. 154p. (Tese Doutorado).
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR., E. Influência da adubação N-P-K nas qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar, variedade CB 41-76. *Brasil Açucareiro*, v.93, n.3, p.37-44, 1980.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (eds.). *Produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p.133-146.
- ORLANDO FILHO, José.; MACEDO, Newton; TOKESHI, Hasime; *Publicações da Potafos, 1994: Seja o doutor do seu Canavial. "Nutrição e Adubação"*. Disponível em: <http://www.potafos.org>
- PENATTI, C.P.; PENNA, M.J.; CHALITA, R.; MANECHINI, C. Fósforo na soqueira de cana-de-açúcar. 3 Seminário de Tecnologia Agronômica, Piracicaba, p.275-281, 1986.
- PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.I. Optimal irrigation depths a method of analysis. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York*, v.105, n.4, p.341-54, 1979.
- QUEIROZ, J.E.; CALHEIROS, C.B.M.; PESSOA, P.C.S.; FRIZZONE, J.A. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.31, n.1, p.55-61, 1996.
- RAIJ, B.van. *Fertilidade do solo e adubação*. 1ed. São Paulo: Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. *J. Agronomy & Crop Science. Berlim*, v.185, p.249-258, 2000.
- REIS, G.G.; MÜLLER, M.W. *Análise de crescimento de plantas ; mensuração do crescimento*. Belém: FCAP, 1979. 39p.

- RESENDE SOBRINHO, E.A.; PITELLI, R.A.; VELINI, E.D.; PAIXÃO, A.C.S. Estudo do período de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar; soca de primeiro corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15, Belo Horizonte, 1984. Resumos. Belo Horizonte: SBHED, 1984. p.26-27
- ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C. Opportunities for the use of limited water by the sugarcane crop. In: KEATING, B.A.; WILSON, J.R. (eds.). Intensive sugarcane production: Meeting the challenges beyond. Wallingford: CAB international, 1997, p. 287-304.
- ROBERTSON, M.J.; DONALDSON, M.J. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. *Field Crop Research*, v.55, p.201-208, 1998.
- ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and midseason water deficit. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.64, n.3, p. 211-227, 1999.
- ROSSIELO, R.O.P.; MARZOLA, D.L.; SILVA, E.V.B. da; FERNANDES, M.S. Acumulação de matéria seca e índice de área foliar em relação à produção de cana-de-açúcar. *Arquivos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí*, v.6, n.2, p.107-118, 1983.
- SCALOPPI, E.J. Metodologia para determinação de funções de produção da água. *Item, Irrigação e Tecnologia Moderna*, n.15, p.31-33, 1983.
- SCARDUA, R; ROSENFELD, V. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. *Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.3, p.373-431.
- SECRETARIA DE EDUCAÇÃO/UFPB Atlas geográfico do estado da Paraíba. João Pessoa, 1985. 99 p.



- SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, F.J. (ed.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983, p.25-37.
- SILVA, F.C. da. CESAR, M.A.A.; SILVA, C.A.B.da. Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar: melado, rapadura e açúcar mascavo. 1ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 155p.
- SILVA, M.V.P. Resposta da cana-de-açúcar irrigada, segunda folha, a níveis de adubação nos tabuleiros costeiros da Paraíba. Campina Grande: UFCG/PB, 2003. 60p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, C.T.S.. Efeito de diferentes níveis de adubação, sobre a produção da terceira folha de cana, irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba. Campina Grande: UFCG/PB, 2003. 82p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, D.K.T.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; OLIVEIRA, R.A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002-2003. *Scientia Agraria*, v.6, n.1-2, p.47-53, 2005.
- SOARES, R.A.B.; OLIVEIRA, P.F.M.; CARDOSO, H.R.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELLE, M.G.A.; ROSENFELD, U. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em início de safra. *STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, vol.22, n.4, p. 38-41, 2004.
- SOLOMON, K.H. Typical crop water production functions. In: WINTER MEETING, Chicago,1985. Proceedings, Chicago: American Society of Agricultural Engineers, 1985. p.17-20 (ASAE. Paper, 85-2296).
- SOUSA, I.C.; LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U.; BATISTELLA, J.R.; BARBIERI, V. Irrigação da cana-de-açúcar na região norte fluminense – viabilidade técnico-econômica. *Boletim Técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba, vol.2, n.3, p. 1-34, 1980.

- SOUSA, E.F. Funções de produção da cana-de-açúcar e da goiabeira em relação à irrigação. Campos dos Goytacases: UENF, 1997. 119p. (Tese Doutorado).
- STEGMAN, E.C., MUSICK, J.T.; STEWART, J.I. Irrigation Water Management. In: JESSEN, M.E.; ed Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1980. 829p.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits. Journal of the Irrigation and Drainage, New York, v.99, n.4, p.421-439, 1973.
- STEWART, B.A. Os fertilizantes e a água. In: CASTRO, M.L.M. (Trad.) Manual de fertilizantes. São Paulo: CEFER, 1980. p. 115-128.
- SUDENE. Levantamento exploratório de solos do Estado da Paraíba. II – Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Recife: Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo/SUDENE. Divisão de Agricultura e Geologia, 1972. 670p.
- TAUPIER, L.O.G.; RODRÍGUES, G.G. A cana-de-açúcar. In: Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-açúcar (ICIDCA). Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia. Brasília: ABIPTI, 1999. cap. 2.1, p.21-27p.
- THOMPSON, G.D.; COLLINGS, D.F. Supplementary irrigation. Bull. Exper. Station South African Sug. Ass., n.17, 1973. 13p.
- VALERO, J.A. de J; MAÑAS, F.M. de S.O. Las funciones de producción versus agua. In: MAÑAS, F.M. de S.O.; VALERO, J.A. de J. (ed.). Agronomía del Riego. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1993. p.447-519.
- VAUX, H.J.; PRUITT, W.O. Crop-water production functions. In: HILLEL, D. (ed.). Advances in irrigation. New York: Academic Press, v.2, 1983. p.61-97.

- VITTI, G.C. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ-USP, 2003. 28p.
- VITTI, G.C.; MARTINS, J.P.P. Calagem na cana-de-açúcar. Boletim Técnico – Fertilizantes. Serrana Fertilizantes, 2001. 8p.
- VOISIN. A. Adubos – Novas leis científicas de sua aplicação. São Paulo: Mestre Jou, 1973. 130p.
- WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; BARELA, J.D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. Scientia Agrária, v.2, n.1-2, p.73-77, 2001.
- WOOD, G.H.; WOOD, R.A. The estimation of cane root development and distribution using radiophosphorus. Proc. South Afr. Sugar Tech. Ass., p.1-8, 1967.

## **7. ANEXOS**



Anexo 2 - Determinação do requerimento de água a ser fornecido pela irrigação e quantidades de lâminas líquidas aplicadas por cada tratamento de irrigação, ciclo da quarta soca. Capim-PB.

Meses	07/10/04	nov/04	dez/04	jan/05	fev/05	mar/05	abr/05	mai/05	jun/05	jul/05	ago/05	set/05	18/10/05	Total
ECA (mm/mês)	168,50	203,00	223,50	226,50	212,68	232,44	233,25	153,70	141,00	154,50	144,15	193,50	126,50	
Kp	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
ETo (mm/mês)	126,4	152,3	167,6	169,9	159,5	174,3	174,9	115,3	105,8	115,9	108,1	145,1	94,9	
Dias	26	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	18	
ECA (mm/dia)	6,48	6,77	7,21	7,31	7,60	7,50	7,78	4,96	4,70	4,98	4,65	6,45	7,03	
ETo (mm/dia)	4,86	5,08	5,41	5,48	5,70	5,62	5,83	3,72	3,53	3,74	3,49	4,84	5,27	
Estádio de desenvolvimento	I	II	III	IV				V	VI					
Kc por estágio	0,55	0,80	1,15	1,25				0,95	0,70					
Kc por mês	0,55	0,75	1,07	1,15	1,23	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,02	0,76	0,70	
ETc (mm/dia)	2,67	3,81	5,78	6,30	7,01	7,03	7,29	4,65	4,41	4,67	3,56	3,67	3,69	
ETc (mm/ mês)	69,51	114,19	179,08	195,36	196,20	217,91	218,67	144,09	132,19	144,84	110,27	110,05	66,41	1898,78
P (mm/mês)	5,00	7,00	4,00	10,00	32,50	57,00	96,00	290,50	404,00	66,00	114,00	11,00	7,00	1104,00
Pe (mm/mês)	5,00	7,00	4,00	10,00	32,50	57,00	93,24	152,49	125,06	62,46	104,17	11,00	7,00	670,92
Requer.irrigação (mm/mês)	64,51	107,19	175,08	185,36	163,70	160,91	125,43	0,00	7,13	82,38	6,10	99,05	59,41	1236,25
Requer. irrigação (mm/dia)	2,48	3,57	5,65	5,98	5,85	5,19	4,18	0,00	0,24	2,66	0,20	3,30	3,30	
Irrigação L1 (13,8mm)	27,60	27,60	27,60	27,60	27,60	13,80	13,80					27,60	13,80	207,00
Irrigação L2 (27,5mm)	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	27,50	27,50					55,00	27,50	412,50
Irrigação L3 (41,3 mm)	82,60	82,60	82,60	82,60	82,60	41,30	41,30					82,60	41,30	619,50

## Anexo 3 – Determinação da precipitação efetiva durante o ciclo da terceira soca.

Período	ETo (mm)	Precipitação (mm)	Razão (%)	Razão Mensal (%)	Precipitação Mensal (mm)	Precipitação Efetiva (mm)
21-30 set/03	49,50	0,00	-		0,00	0,00
1-10 out	57,75	0,00	-			
11-20	60,19	34,50	100	100	37,50	37,50
21-30	51,75	3,00	100			
1-10 nov	57,00	0,00	-			
11-20	51,75	10,00	100	100	10,00	10,00
21-30	61,50	0,00	-			
1-10 dez	56,25	0,00	-			
11-20	56,25	30,00	100	100	55,00	55,00
21-31	65,06	25,00	100			
1-10 jan/04	48,75	12,00	100			
11-20	34,50	178,50	19,33	45,26	498,50	225,60
21-31	50,63	308,00	16,44			
1-10 fev	39,75	18,00	100			
11-20	48,75	49,00	99,49	99,83	82,00	81,86
21-29	43,31	15,00	100			
1-10 mar	45,00	49,00	91,84			
11-20	41,63	35,00	100	97,28	111,00	107,98
21-31	50,25	27,00	100			
1-10 abr	42,56	59,00	72,14			
11-20	39,75	57,00	69,74	80,62	142,00	114,49
21-30	36,00	26,00	100			
1-10 mai	39,00	74,00	52,70			
11-20	38,25	31,00	100	68,76	175,00	120,33
21-31	37,50	70,00	53,57			
1-10 jun	34,88	64,00	54,50			
11-20	34,69	134,00	25,89	39,17	297,00	116,33
21-30	36,75	99,00	37,12			
1-10 jul	29,63	125,00	23,70			
11-20	35,63	115,50	30,85	47,58	277,50	132,04
21-31	32,63	37,00	88,19			
1-10 ago	39,00	25,00	100			
11-20	33,75	33,00	100	100	61,00	61,00
21-31	51,75	3,00	100			
1-10 set	53,25	0,00	-			
11-20	51,75	0,00	-	100	15,00	15,00
21-30	42,38	15,00	100			
1-6 out	28,88	0,00	-		0,00	0,00
Total	1.707,60	1.761,50			1.761,50	1.077,12

Anexo 4 – Determinação da precipitação efetiva durante o ciclo da quarta soca.

Período	ETo (mm)	Precipitação (mm)	Razão (%)	Razão Mensal (%)	Precipitação Mensal (mm)	Precipitação Efetiva (mm)
7-10 out/04	21,00	0,00	-			
11-20	55,13	3,00	100	100	5,00	5,00
21-31	50,25	2,00	100			
1-10 nov	48,00	5,00	100			
11-20	54,00	2,00	100	100	7,00	7,00
21-30	50,25	0,00	-			
1-10 dez	53,25	0,00	-			
11-20	54,38	0,00	-	100	4,00	4,00
21-31	60,00	4,00	100			
1-10 jan/05	54,00	0,00	-			
11-20	55,88	6,00	100	100	10,00	10,00
21-31	60,00	4,00	100			
1-10 fev	57,75	4,50	100			
11-20	55,64	28,00	100	100	32,50	32,50
21-28	46,13	0,00	-			
1-10 mar	60,00	0,00	-			
11-20	57,75	6,50	100	100	57,00	57,00
21-31	56,58	50,50	100			
1-10 abr	56,44	25,00	100			
11-20	50,25	16,00	100	97,12	96,00	93,24
21-30	50,25	55,00	91,36			
1-10 mai	42,75	26,00	100			
11-20	33,38	156,00	21,40	52,49	290,50	152,49
21-31	39,15	108,50	36,08			
1-10 jun	33,75	88,00	38,35			
11-20	33,75	218,00	15,48	30,95	404,00	125,06
21-30	38,25	98,00	39,03			
1-10 jul	31,88	38,00	83,89			
11-20	36,38	15,00	100	94,63	66,00	62,46
21-31	47,63	13,00	100			
1-10 ago	30,00	22,00	100			
11-20	32,15	30,00	100	91,38	114,00	104,17
21-31	45,96	62,00	74,13			
1-10 set	45,00	6,00	100			
11-20	48,38	0,00	-	100	11,00	11,00
21-30	51,75	5,00	100			
1-10 out	49,88	6,00	100			
11-18	45,01	1,00	100	100	7,00	7,00
Total	1.791,98	1.104,00			1.104,00	670,91

Anexo 5- Médias do número de colmos por metro linear em função das lâminas de água e das doses de adubação (2004).

Lâminas (mm)	Níveis de adubação (kg.ha <sup>-1</sup> )				Médias
	A <sub>0</sub> (0)	A <sub>1</sub> (90)	A <sub>2</sub> (180)	A <sub>3</sub> (270)	
L <sub>0</sub> (1078)	6,68	8,23	9,30	9,43	
L <sub>1</sub> (1174)	5,80	8,45	9,18	9,38	
L <sub>2</sub> (1270)	7,90	8,58	9,10	9,20	
L <sub>3</sub> (1366)	6,58	8,50	9,18	9,75	
Médias					