

MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DO CACAUEIRO CCN-51 ATRAVÉS DE MODELOS DE REGRESSÃO

Roger Luiz da Silva Almeida¹, Roger Luiz da Silva Almeida Filho², Reginaldo Leôncio
Silva³, Gustavo Victor de Melo Araújo Almeida⁴

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar a produção e as características físicas dos frutos de cacau clonal CCN-51, através de modelos de regressão linear, submetido a lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Para a coleta de dados foram aplicadas quatro lâminas de irrigação, tomando-se como base a lâmina bruta de irrigação (LB), sendo estas 0,60 LB, 0,80 LB, 1 LB e 1,2 LB. Sendo a lamina bruta aferida através das leituras da evaporação de água em um tanque classe “A” instalado na propriedade rural. As doses de fertilizantes aplicadas foram 70, 100, 130 e 160 % do nitrogênio (N) recomendado para a cultura do cacau em regiões tradicionais. O delineamento estatístico experimental foi um fatorial 4 x 4, resultando em 16 tratamentos. Os modelos de regressão propostos estimaram 39, 85 Un. fruto⁻¹; 56, 25 g.fruto⁻¹ e 1649, 23 kg ha⁻¹ para as características número de sementes (Un), Peso médio(g) e produtividade (kg ha⁻¹) respectivamente.

Palavras-chave: *Theobroma cacao* L., modelos de regressão, características físicas dos frutos, produção.

REGRESSION MODELS FOR PHYSICAL CHARACTERISTICS OF COCOA IN WATER FUNCTION AND NITROGEN

ABSTRACT

The objective of this research was to study the production and physical characteristics of CCN-51 clonal cacao fruits through linear regression models, submitted to irrigation slides and nitrogen doses. For the data collection, four irrigation slides were applied, using the crude irrigation blade (LB), being 0,6 LB; 0,8 LB; 1 LB and 1,2 LB. The crude lamina measured through the water evaporation readings in a class "A" tank installed in the rural property. The

¹ Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. UESB- Campus de Itapetinga (BA). E-mail: rogerluizzz@uesb.edu.br

² Mestre em genética, biodiversidade e conservação, Prof. UESB- Campus de Vitória da Conquista (BA). E-mail: rogerluizfilho@gmail.com

³ Mestre em matemática, Prof. UESB- Campus Itapetinga (BA). E-mail: reggekant@yahoo.com.br

⁴ Estudante de Engenharia Civil, UESC. E-mail: guto-victor@hotmail.com

fertilizer doses applied were 70, 100, 130 and 160% of the nitrogen (N) recommended for the cocoa crop in traditional regions. The experimental design was a 4 x 4 factorial, resulting in 16 treatments. The proposed regression models estimated 39, 85 Un. Fruit⁻¹; 56, 25 g.fruit⁻¹ and 1649, 23 kg ha⁻¹ for the number of seeds (Un), Average weight (g) and productivity (kg ha⁻¹) respectively.

Keywords: *Theobroma cacao* L., regression models, physical characteristics of fruits, production.

INTRODUÇÃO

Segundo a ICCO (2018) a produção mundial de cacau no período 2017/2018 atingiu 4587 mil toneladas, apresentando como maior produtor mundial a Costa do Marfim com uma produção equivalente a 2000 mil toneladas, seguida de Gana com 880 mil toneladas, Equador e Indonésia com 260 mil toneladas. A produção de cacau no Brasil neste mesmo período atingiu 170 mil toneladas um percentual de aproximadamente 2,3% de decréscimo em relação a safra de 2016/17 onde a produção atingiu 174 mil toneladas. Cerca de 60 mil agricultores se dedicam à cultura do cacau no Brasil. A Bahia é o estado que mais produz o fruto no país, sendo responsável por 54% da safra. Em segundo lugar, fica o Pará, com 40% da safra.

Para Leite et al., (2012) a produção de cacau está relacionada, além de materiais genéticos mais eficientes, à utilização de sistemas de produção específicos, incluindo o uso de corretivos e fertilizantes, bem como fatores relacionados ao manejo adotado (Silva et al., 2010).

O conhecimento sobre a variabilidade da fertilidade do solo, a determinação das doses de fertilizantes que devem ser aplicadas e da lamina de água adequada são fatores essenciais quando se objetiva uma boa produção. Segundo Ridoutt e Pfister (2010) o crescimento de grãos de cacau consome grandes quantidades de água e este fator pode afetar a produção, corroborando Ortiz (2014) afirma que a eficiência do uso da água influencia nos níveis de produção da cultura do cacau, uma vez que para (ZHANG; MOTILAL, 2016) não existe cacau tolerante a seca, e ao excesso de água, Almeida (2018).

As pesquisas com o cacau em experimentos demandam tempo e área

excessivos representando elevados custos com implantação, manejo, colheita e mão de obra. Por estas razões a simplicidade a flexibilidade e a robustez do delineamento experimental a ser utilizado e a multiplicidade dos objetivos da pesquisa são aspectos importantes que devem ser observados na experimentação.

A utilização de modelos de regressão linear para se fazer inferências sobre as características de frutos e de produção tem sido uma ferramenta bastante utilizada no meio agrícola, pois permite uma economia de tempo e menores gastos financeiros além de diminuir os esforços humanos na obtenção de dados “in loco”. Portanto, a modelagem matemática da produção agrícola visa a orientação do produtor rural na tomada de decisão, a qual poderá vir a afetar diretamente as atividades operacionais e táticas da condução de cada cultura.

Onumah (2013) utilizou modelos matemáticos estocásticos para verificar a influência de determinados insumos sobre a produção de cacau em Gana, o estudo mostrou que a produtividade do cacau aumenta em proporção direta ao aumento em todos os insumos, exceto a idade média da árvore, modelos matemáticos estocásticos foram utilizados pelos autores: Nyagaka et al. (2010); Park e Lohr (2010); Onumah e Acquah (2010) para analisar a eficiência de insumos na agricultura.

Darkwah (2014) usando o teste da cointegração de Johansen e modelos de regressão linear, verificou que houve uma relação de equilíbrio entre a produção de cacau e os insumos área colhida, preço mundial, exportação de cacau. Os resultados do estudo mostram que todas as variáveis analisadas influenciaram significativamente na produção desta cultura, Läderach (2013) utilizou modelos matemáticos para prever os impactos climáticos

em plantações de cacau em países da África produtoras desta cultura. Almeida (2018) encontrou um modelo de regressão linear do terceiro grau como sendo o mais significativo para a estimativa da produção do cacau clonal CCN-51 na região sudoeste da Bahia.

O objetivo desta pesquisa foi estudar a produção e as características físicas dos frutos de cacau clonal CCN-51, através de modelos de regressão linear, submetido a lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na fazenda vale do sol no período de 21/11/2012 até 29/03/2014, em Jequié, Bahia (13° 51' 28" s, 40° 5' 2" w e altitude de 199 metros). A classificação climática de köppen indica que a área da pesquisa está sob domínio do clima Bw: precipitação anual inferior a 500 mm com chuvas de verão. A área experimental útil utilizada no campo foi de 1792 m² plantada com cacau clonal ccn-51 com espaçamento de 3,5 x 2,0 m onde foram aplicadas quatro lâminas de irrigação tomando-se como base a lâmina bruta de irrigação (LB) sendo estas 0,60 LB, 0,80 LB, 1 LB e 1,2 LB, sendo as laminas brutas inferidas de leituras de evaporação de água num tanque classe "A" instalado na propriedade rural.

O solo apresentou as seguintes características físico-químicas: areia = 683,8 g kg⁻¹; silte = 228,8 g kg⁻¹; argila = 87,4 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 6,48; Ca = 2,53 cmol_c kg⁻¹; Mg = 1,81 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,03 cmol_c kg⁻¹; K = 0,28 cmol_c kg⁻¹; H + Al = 0,84 cmol_c kg⁻¹; MO = 1,0 g kg⁻¹; P = 11,2 mg kg⁻¹. A água utilizada na irrigação apresentou as seguintes características química: pH = 6,9; CE = 0,24 dS m⁻¹; Ca = 1,0 mmol_c L⁻¹; Mg = 1,24 mmol_c L⁻¹; Na = 0,87 mmol_c L⁻¹; K = 0,46 mmol_c L⁻¹; Cloretos = 1,73 mmol_c L⁻¹; Bicarbonatos = 1,70 mmol_c L⁻¹; Sulfatos = Ausentes; RAS = 1,3 (mmol L⁻¹)^{1/2}; classe da água = C2S1.

O experimento foi irrigado por um sistema de irrigação localizada por gotejamento do tipo superficial composto de gotejadores autocompensantes, com vazão de 1,6 L h e pressão de 196 kPa, com 16 válvulas solenóides

sendo controladas por um multi programador de irrigação de 6 setores.

As doses de fertilizantes aplicadas foram 70, 100, 130 e 160 % do nitrogênio (N) recomendado para a cultura do cacau. O delineamento estatístico experimental foi um fatorial 4 x 4, em blocos casualizados com 4 repetições, onde os fatores lâminas de água (L) e doses de nitrogênio (N) foram combinados resultando em 16 tratamentos. Foram mensuradas as seguintes características da produção: número de sementes. fruto⁻¹ utilizando a contagem, peso das amêndoas. fruto⁻¹ medido através de uma balança eletrônica com precisão de 4 casas decimais e a produção em kg.ha⁻¹ empregando a contagem.

Para o período do experimento foram encontrados os seguintes valores para os tratamentos de laminas de agua "L" (mm) e doses de nitrogênio "N" (kg.ha⁻¹), respectivamente: L1N1 (1384,50 e 318,30); L2N1(1653,22 e 318,30); L3N1 (1922,52 e 318,30); L4N1(2193,91 e 318,30); L1N2 (1384,52 e 405,80); L2N2 (1653,22 e 405,80); L3N2 (1922,52 e 405,80); L4N2 (2193,91 e 405,80); L1N3 (1384,52 e 493,10); L2N3 (1653,22 e 493,10); L3N3(1922,52 e 493,10); L4N3 (2193,91 e 405,80); L1N4 (1384,52 e 580,60); L2N4 (1653,22 e 580,60); L3N4 (1922,52 e 580,60); L4N4 (2193,91 e 580,60).

O modelo polinomial do segundo grau é descrito por diversos autores como sendo o mais utilizado como função de produção para uma determinada cultura, no entanto outros modelos de regressão como o cúbico tem se ajustado bem melhor aos dados para descrever a produtividade. Zairone e Aidar (1992) estudaram a previsão de safras de cacau baseado em um modelo matemático e encontrou uma boa precisa do numero médio de frutos por safra.

No Brasil (PEREIRA, 1972) iniciou seu trabalho de amostragem visando fazer previsões de safra de cacau no estado da Bahia. A função produção indica qual a quantidade máxima de produto que pode ser produzida dada uma determinada quantidade de factores produtivos e uma determinada tecnologia. Segundo Frizone e Andrade Junior (2005), os economistas definem função de produção como sendo a relação física entre as quantidades utilizadas de certo conjunto

de insumos e as quantidades físicas máximas que se podem obter do produto, para uma dada tecnologia conhecida. As funções de produção são bastante difundidas sendo muito empregadas para determinar os níveis ótimos ou econômicos dos fatores de produção.

Foram testados quatro modelos de regressão linear para as estimativas das

características físicas analisadas indicadas pela equação 1, 2, 3 e 4 com duas variáveis independentes. Através das significâncias dos coeficientes e do coeficiente de determinação (r^2) se selecionou o modelo mais representativo para cada característica analisada.

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 + K_4L + K_5L^2 + K_6L^3 + K_7 L.N \quad (1)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 + K_4L + K_5L^2 + K_6 L.N \quad (2)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3L + K_4L^2 + K_5 L.N \quad (3)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 \quad (4)$$

Onde:

\hat{Y} = rendimento máximo estimado de frutos do cacau (kg. ha^{-1}); número de sementes. fruto $^{-1}$ ou peso das amêndoas. fruto $^{-1}$.

L = lâmina total de água em mm;

N = dose de nitrogênio em (kg. ha^{-1});

$\hat{K}_0, \hat{K}_1, \hat{K}_2, \hat{K}_3, \hat{K}_4, \hat{K}_5, \hat{K}_6$ e \hat{K}_7 = coeficientes estimados dos modelos de regressão analisados.

As condições necessárias para existência de ponto de máximo ou otimização da função de produção são descritas a partir das derivadas parciais da função $\hat{Y} = f(L, N)$, ou seja será considerado ponto de máximo se a soma das derivadas parciais de segunda ordem forem negativas e o seu determinante Hessiano maior que zero Equações 5, 6 e 7.

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial L} = 0 \quad \frac{\partial \hat{Y}}{\partial N} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial^2 L(L,N)} + \frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial^2 N(L,N)} < 0 \quad (6)$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial^2 L} & \frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial L \cdot \partial N} \\ \frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial N \cdot \partial L} & \frac{\partial^2 \hat{Y}}{\partial^2 N} \end{vmatrix}_{(L,N)} > 0 \quad (7)$$

Satisfeita estas condições o ponto (L, N) é o ponto de máximo da função de produção que foi estimada através da análise de regressão, estes valor máximo de lamina de

água e dose de nitrogênio são encontrados através da resolução matemática do sistema de equação formado pelas Equações 8 e 9.

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial L} = K_4 + 2K_5L + K_6N = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial N} = K_1 + 2K_2N + 3K_3N^2 + K_6L = 0 \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 mostram os valores da significância dos coeficientes do quarto modelo proposto, para analisar as características físicas dos frutos de cacau CCN-51, uma vez que os modelos representados pelas Equações 1, 2 e 3 conforme metodologia do trabalho não apresentaram coeficientes significativos.

Mesmo com os coeficientes de determinação (R^2) sendo relativamente baixos com valores de 0,58; 0,54 para as variáveis número de sementes por fruto e peso da amêndoa por fruto respectivamente, os resultados obtidos através do teste t de Student, mostra que todos os coeficientes incluídos no modelo apresentaram resultado muito significativo com erro de 1%.

Tabela 1. Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta número de sementes.fruto⁻¹.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr > t
Intercepto	451,72	0,0017**
N	-2,93	0,0035**
N ²	0,0067	0,0032**
N ³	-0,000005	0,0031**

**; significância ao nível de 1% ($p < 0.01$) de probabilidade.

De acordo com o modelo de regressão utilizado, Equação 10, o número de sementes por fruto sofreu um incremento de 16,78% à medida que a quantidade de nitrogênio passou de 318,30 kg ha⁻¹ para 580 kg ha⁻¹. Este modelo estimou um valor médio de 39,85

sementes.fruto⁻¹. Coral et al., (1968), analisando os híbridos de cacau, entre o terceiro e quarto ano de produção, IMC 67 x TSAN 792 encontrou o número de sementes por fruto de 40 e o peso médio das amêndoas por fruto de 42 g.

$$\hat{Y} = 451,71 - 2,93 N + 0,0067 N^2 - 0,000005 N^3 \quad (10)$$

Tabela 2. Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta peso das amêndoas. g.fruto⁻¹.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr > t
Intercepto	919.79255	0.0006**
N	-6.07707	0.0012**
N ²	0.01384	0.0012**
N ³	-0.00001024	0.0013**

**; significância ao nível de 1% ($p < 0.01$) de probabilidade.

O nitrogênio provocou um aumento linear no peso da amêndoa ao passar da menor dose de 318,30 kg ha⁻¹ para a maior de 580 kg ha⁻¹. Através do modelo de regressão, equação 11, utilizado houve um ganho no peso de 47% para um aumento de 45,12% de nitrogênio, estimando um valor médio de 56,25 g.fruto⁻¹.

Pela equação de regressão à medida que se aumenta o nitrogênio o ganho em peso de amêndoa de cacau é muito pequeno; este fato se deve a pouca variação do peso de uma unidade de amêndoa do clone CCN-51 que é de aproximadamente 2g em média.

$$\hat{Y} = 919,79 - 6,08 N + 0,014 N^2 - 0,000010 N^3 \quad (11)$$

As Tabelas 3, 4 e 5 mostram as significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão que foram analisados para estimativas de produção do cacau CCN-51. O modelo 1, segundo metodologia descrita, apresentou o efeito de L, L² e L³ não significativo ao nível de 5% de probabilidade através do teste t de

Student, (Tabela 3), apresentando coeficiente de determinação (R²) de 0,86 indicando não ser um modelo apropriado para a estimativa desejada. As lâminas de água, doses de nitrogênio e a interação entre elas influenciaram positivamente na produção de amêndoas secas do cacau clonal CCN-51.

Tabela 3. Significância dos coeficientes do modelo 1 de regressão para a superfície de resposta produção.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr > t
Intercepto	1323,84	0,9247 ^{ns}
N	-143,75331	0,0007*
N ²	0,31591	0,0011*
N ³	-0,00023366	0,0011*
L	34,11272	0,1251 ^{ns}
L ²	-0,01955	0,1210 ^{ns}
L ³	0,00000348	0,1377 ^{ns}
L x N	0,00370	0,0007*

Ns; * ; **; não significância e significância aos níveis de 5% (0.01 < p < 0.05) e 1% (p < 0.01) de probabilidade, respectivamente.

O modelo 2, cujos coeficientes se apresentam na Tabela 4, mostrou-se ser o modelo de regressão mais confiável pois apresentou todos os coeficientes significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Student, com exceção do coeficiente de L que permaneceu no modelo pois L² foi significativo apresentando o coeficiente de determinação (R²) de 0,83 ou seja um bom ajuste dos dados

analisados Almeida (2018) estudando o cacau clonal CCN-51 utilizou como função de produção um modelo cubico para estimativas. Pelos valores de significância dos coeficientes pode-se afirmar que os fatores lâminas de água, doses de nitrogênio e a interação entre elas influenciaram positivamente na produção de amêndoas secas do cacau clonal CCN-51.

Tabela 4. Significância dos coeficientes do modelo 2 de regressão para a superfície de resposta produção.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr > t
Intercepto	20331	0,0013*
N	-143,75331	0,0008*
N ²	0,31591	0,0012*
N ³	-0,00023366	0,0012*
L	1,20192	0,4516 ^{ns}
L ²	-0,00086238	0,0458*
L x N	0,00370	0,0008*

Ns; **; **; não significância e significância aos níveis de 5% (0.01 < p < 0.05) e 1% (p < 0.01) de probabilidade, respectivamente.

Foi testado o modelo de regressão 3, apresentando uma formatação de segundo grau construído a partir da retirada do efeito N³ mesmo este efeito sendo significativo.

Apresentou como resultado os coeficientes não significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, Tabela 5, com exceção da interação cujo valor de p foi igual a

0,0019, portanto significativo a 5% de probabilidade, o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,66 considerado baixo. Este modelo

de regressão é o mais utilizado na bibliografia existente para estimativas de produção de diversas culturas.

Tabela 5. Significância dos coeficientes do modelo 3 de regressão para a superfície de resposta produção.

Elementos da Equação	Parâmetros Estimados	Pr > t
Intercepto	762,96690	0,6909 ^{ns}
N	-5,81146	0,1954 ^{ns}
N ²	0,00084621	0,8472 ^{ns}
L	1,20192	0,4885 ^{ns}
L ²	-0,00086238	0,0654 ^{ns}
L x N	0,00370	0,0019*

Ns; **, **; não significância e significância aos níveis de 5% ($0.01 < p < 0.05$) e 1% ($p < 0.01$) de probabilidade, respectivamente.

Os valores de 1926,23 mm de água e 560,70 kg ha⁻¹ de nitrogênio, máximo rendimento físico, estimaram através do modelo de regressão apresentado na Equação 12, uma produção de 1649,23 kg ha⁻¹ ou 109,95 arroba.ha⁻¹ de amêndoas seca de cacau. Superior 46,75% do máximo observado em campo que foi de 1025,69 kg ha⁻¹ ou 68,38 arrobas. ha⁻¹.

Nos perímetros irrigados do Vale do São Francisco, durante um ciclo produtivo em 10 anos de produção considerada uma produtividade média anual de 200 arroba. ha⁻¹ (aproximadamente 3000 Kg). Esta

produtividade é baseada na média de produção das áreas experimentais do CEPLAC, Begiato et al., (2009).

No norte do Espírito Santo, cacauzeiros irrigados tiveram um aumento de produção de 54 % Siqueira et al., (2011). A viabilidade da implementação da cultura cacauzeira irrigada na região semiárida, deve ser efetivada, quando pesquisas indicarem variedades adaptadas as condições climáticas da região e quando novos procedimentos científicos forem utilizados, (CODEVASF, 2009).

$$\hat{Y} = 20331 - 143,75N + 0,32N^2 - 0,00023N^3 + 1,2L - 0,00086L^2 + 0,0037LN \quad (12)$$

A superfície de resposta gerada a partir dos dados obtidos em campo segue uma característica linear em relação às doses de nitrogênio e cubica em relação às lâminas de água.

O perfil de curvatura na superfície de resposta (Figura 1) identifica que ocorreu um ponto de máxima produção de cacau para comercialização que aumenta com o incremento do nível de nitrogênio aplicado e se mostra crescente até uma quantidade de água que a

planta consegue absorver e a partir do qual toda lâmina excedente provoca uma queda dos níveis produtivos.

A superfície de resposta mostra uma tendência a um aumento linear em relação às doses de nitrogênio, ou seja, quanto mais nitrogênio acrescenta ao solo, na mesma proporção tenho uma maior produção e um decréscimo cubico da produção em relação às lâminas de água aplicadas.

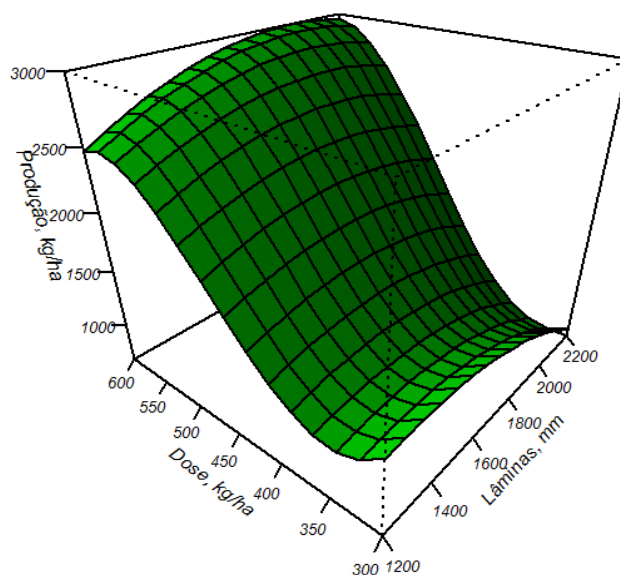


Figura 1. Produção do cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio.

CONCLUSÕES

Os modelos cúbicos encontrados para as características físicas e de produção apresentaram os coeficientes de regressão com alfa significância o que indica boas estimativas. Estes modelos de regressão estimaram 39, 85 Un. fruto⁻¹ ; 56, 25 g.fruto⁻¹ e 1649, 23 kg ha⁻¹ para as características número de sementes (Un), Peso médio(g) e produtividade (kg ha⁻¹) respectivamente.

As lâminas de água, doses de nitrogênio e a interação entre elas influenciaram positivamente na produção de amêndoas secas do cacau clonal CCN-51.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela ajuda financeira concedida a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.L.S. Níveis de água e nitrogênio na cultura do cacau no semiárido baiano, 1.

ed. Letônia: Novas edições acadêmicas, 2018. 120 p.

BEGIATO, G. F.; SPERS, E. E; CASTRO, L. T; NEVES, M. F. Análise do sistema agroindustrial e Atratividade dos Vales do São Francisco para a cacauicultura irrigada. **Custos e @gronegocio**, v. 5, n. 3, p. 55-87, 2009.

CORAL, F.J.; CIONE, J.; IGUE, T. Estudos preliminares sobre o comportamento de progênies híbridas de cacauero, nas condições ecológicas do Vale do Ribeira. **Bragantia**, v.27, p. 63-65, 1968.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Cadeia produtiva de cacau : oportunidade de investimento em cacauicultura no Vale do São Francisco e do Parnaíba**. Brasília, 2009. 33 p.

DARKWAH, S. A.; VERTER, N. An empirical analysis of cocoa bean production in Ghana. **European Scientific Journal**. v.10, n.16. p.295-306. 2014.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JR., A.S. ; SOUZA, J.L.M.; ZOCOLER, J.L. **Planejamento de irrigação: análise de decisão**

de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

ICCO. International Cocoa Organization. **Production of cocoa beans.** Disponível em: <https://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/46-statistics-production.html>. Acesso em: 14 de julho de 2018.

LÄDERACH, P., MARTINEZ, A., SCHROTH, G., CASTRO, N. Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. **Climatic Change**, v.119, p.841–854. 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0774-8>.

LEITE, J. B. V.; FONSECA, E. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; NASCIMENTO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo de cacau no semiárido do Brasil. **Agrotropica**, v.24, p.85-90. 2012.

NYAGAKA, D.O.; OBARE, G.A.; OMITI, J.M.; NGOYO, W. Technical Efficiency in Resource Use: Evidence from Smallholder Irish Potato Farmers in Nyandaura North District, Kenya. **Africa Journal of Agricultural Research**, v.5, n.11, p.1179-1186. 2010.

ONUMAH, E.E.; ACQUAH, H.D. Frontier Analysis of Aquaculture Farms in the Southern Sector of Ghana. **World Applied Sciences Journal**, v.9,n.7, p.826-835. 2010.

ONUMAH, J. A.; AL-HASSAN, R. M.; ONUMAH, E. E. Productivity and Technical Efficiency of Cocoa Production in Eastern Ghana. **Journal of Economics and Sustainable Development**, v.4, n.4, p.106 -117. 2013.

ORTIZ,R.O.; VILLAMIZAR,G. R.; RANGEL, M. Applying life cycle management of colombian cocoa production. **Food Science and Technology**, v.34, p.62-68, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612014005000006> [[Links](#)]

PARK, T.A.; LOHR, L. Assessing the Technical and Allocative Efficiency of U.S Organic Producers. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v.42, p.247-259. 2010.

RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A. Revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Global Environmental Change**, v.20, p.113-120, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.003>

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; XAVIER, A. C. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.9-17. 2010.

PEREIRA,C.P. Estimativas e previsões preliminares de colheitas de cacau por amostragem. 1972.47p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ZAIRONE,M.M.H; AIDAR, T. Previsão de Safras de cacau com base em método de contagem de frutos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.27,n.6; p. 817-833. 1992.

ZHANG, D., MOTILAL, L. Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. **Springer**, v.13. p. 3–31. 2016. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_1.