

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

**POTENCIAL AGRONÔMICO DO AMARANTO, QUINOA  
E MILHETO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL**

Autor: Adilson Jayme-Oliveira

Orientador: Adriano Jakelaitis

RIO VERDE - GO  
FEVEREIRO - 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

**POTENCIAL AGRONÔMICO DO AMARANTO, QUINOA  
E MILHETO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL**

Autor: Adilson Jayme-Oliveira

Orientador: Adriano Jakelaitis

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de Concentração tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

RIO VERDE - GO  
FEVEREIRO - 2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação Serviço de Biblioteca e Documentação  
*Campus Rio Verde do Instituto Federal Goiano*

Jayne-Oliveira, Adilson.

Potencial agrônômico do amaranto, quinoa e milheto sob regime hídrico variável / Adilson Jayme-Oliveira. – Rio Verde, 2016.  
92 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal Goiano.  
*Campus Rio Verde*, 2016.  
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis.

1.*Amaranthus cruentus*. 2.*Pennisetum glaucum*. 3.*Chenopodium quinoa*.  
I. Título. II. Instituto Federal Goiano – *Campus Rio Verde*.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -  
AGRONOMIA

**POTENCIAL AGRONÔMICO DO AMARANTO, QUINOA  
E MILHETO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL**

Autor: Adilson Jayme-Oliveira  
Orientador: Adriano Jakelaitis

Titulação: Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de  
concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

APROVADA em 15 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Adley Camargo Ziviani  
Avaliador externo  
IF Brasília – *Campus* Planaltina

Dra. Cristiane Andréa de Lima  
Avaliadora externa  
UnB – Brasília

Dr. Omar Cruz Rocha  
Avaliador externo  
Embrapa Cerrados

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis  
Presidente da banca  
IF Goiano – *Campus* Rio Verde

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Avaliador interno  
IF Goiano – *Campus* Rio Verde

As minhas filhas Patrícia Campos Oliveira e Larissa Campos Oliveira.

**OFEREÇO**

Aos meus pais Eujácio Cristiano de Oliveira e Rosa Jayme de Oliveira.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me agraciado com paz, saúde, vontade, perseverança e receptividade para o aprendizado diário.

Ao meu orientador Adriano Jakelaitis, pela incondicional disposição, apoio e orientação durante o curso de doutorado. Aos meus coorientadores Walter Quadros e Maria Lucrecia, pelos préstimos incondicionais e relevantes na realização das pesquisas.

Ao meu fidedigno amigo Adley Camargo Ziviani, pelas minuciosas revisões e também pela frutífera parceria profissional, superando tarefas complexas e logrando êxitos, que ainda retroalimentam nosso desenvolvimento intelectual e emocional com elevada sinergia, capacitando-me ainda mais na realização desse doutorado.

A pesquisadora Cristiane Andréa de Lima, pelas significativas colaborações na Embrapa Cerrados, nos ensaios, compartilhamento de estagiários, equipamentos e assistentes e apoio nas publicações, revisões de resumos e da Tese.

Aos pesquisadores Omar Cruz Rocha e Marconi Batista Teixeira, pelas valiosas contribuições e revisão destinadas a esse trabalho.

A Rita de Cássia Campos Oliveira, pelo apoio e zelo com nossas preciosas filhas. Aos meus irmãos Adir Jayme de Oliveira e Adiney Jayme de Oliveira, pelo incentivo constante, orações e apoio nessa qualificação.

Ao *Campus* Planaltina, pela avaliação e ao Instituto Federal de Brasília, pela autorização para realizar o doutorado e pelo repasse do auxílio financeiro da CAPES.

Ao *Campus* Rio Verde, do Instituto Federal Goiano, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela realização deste curso de doutorado.

É improvável que eu conseguiria agradecer neste espaço a todos que colaboraram nesta jornada. Mas, as melhores instituições são formadas por boas pessoas, portanto sou muito grato aos diretores, chefes, colaboradores e estagiários da Embrapa Cerrados, IF Goiano, IFB e o *Campus* Planaltina e a UPIS.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Adilson Jayme-Oliveira, nascido em Brasília – DF em 29 de outubro de 1966. Concluiu o ensino fundamental na escola Sagrado Coração de Maria e segundo grau no Centro Educacional Católica de Brasília, ambos em Brasília – DF. Graduado em Engenharia Agrônômica em 1990, na Universidade Federal de Viçosa. Em 1995, concluiu a Especialização *Lato Sensu* em Manejo e Fertilidade do Solo e o Mestrado em Economia Rural na Universidade Federal de Viçosa. Exerceu o cargo de Engenheiro de Desenvolvimento de Produtos e Serviços na Elekeiroz SA (ITAUSA) de 1993 a 1999, Coordenador do Curso de Agronomia da UPIS Faculdades Integradas de 2000 a 2009 e Coordenador da Disciplina de Modelagem e Simulação de Negócios, na Associação Internacional de Educação Continuada (AIEC) de 2005 a 2009. Bacharel em Administração de Empresas em 2009 na AIEC. Desde 2008 é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília, exercendo o cargo de Diretor Geral de 2011 a 2013. Em 2013 ingressou no curso de doutorado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia, linha de pesquisa Produção Vegetal Sustentável no Cerrado. Em fevereiro de 2016, defendeu sua Tese, parte indispensável para a obtenção do diploma de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia.

## ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1. Culturas alternativas para cultivo sustentável no Cerrado.....	1
2. Modelos para determinação da função da produção para o fator água.....	3
3. Análise temporal de crescimento em plantas de cobertura.....	4
4. Modelos Matemáticos .....	7
OBJETIVOS.....	9
1. Geral.....	9
2. Específicos .....	9
CAPÍTULO I - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO AMARANTO, QUINOA E MILHETO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO .....	13
1.1 INTRODUÇÃO .....	15
1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	18
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
1.4 CONCLUSÃO .....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
CAPÍTULO II - PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO NA ENTRESSAFRA DE AMARANTO E QUINOA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO.....	50
2.1 INTRODUÇÃO .....	52
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	55
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
2.4 CONCLUSÕES .....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
CONCLUSÃO GERAL .....	74
APÊNDICE .....	76



APÊNDICE A. CLIMATOLOGIA DA ESTAÇÃO PRINCIPAL DA EMBRAPA CERRADOS .....	77
APÊNDICE B. IMAGENS REGISTRADAS DO ENSAIO.....	80
APÊNDICE C. EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA OS COMPONENTES PRODUTIVOS E FISIOLÓGICOS.....	85
APÊNDICE D. EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS DEPENDENTE DOS REGIMES HÍDRICOS .....	92

## ÍNDICE DE TABELAS

### **CAPÍTULO I – DINÂMICA DO CRESCIMENTO DO AMARANTO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL**

Tabela 1. Resultado da análise do solo em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	19
Tabela 2. Manejo cultural do ensaio.....	19
Tabela 3. Umidade gravimétrica do solo (%) aos 120º dias após a emergência (DAE) na área central dos regimes hídricos (RH) em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	26
Tabela 4. Quadrados médios e níveis de significância de componentes avaliados de acordo com a fonte de variação. ....	26
Tabela 5. Análise comparativa dos componentes vegetativos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável.....	28
Tabela 6. Análise comparativa das medições foliares do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável. ....	32
Tabela 7. Análise comparativa dos componentes produtivos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável.....	34
Tabela 8. Análise comparativa dos componentes específicos do milho sob regime hídrico variável. ....	37
Tabela 9. Características vegetativas e componentes produtivos da média de 10 plantas inteiramente ao acaso de milho sob e regime hídrico variável aos 120 DAE na Embrapa Cerrados, Brasília (Planaltina), DF. ....	39
Tabela 10. Compilação dos modelos e coeficiente de determinação ( $r^2$ ) ajustados para o amaranto, milho e quinoa nos componentes vegetativos, produtivos e medições foliares. ....	40
Tabela 11. Conteúdo do IFC para interação do amaranto, milho e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	44

### **CAPÍTULO II - PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO NA ENTRESSAFRA DE AMARANTO E QUINOA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

Tabela 1. Resultado da análise do solo em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	56
Tabela 2. Manejo cultural do ensaio.....	56
Tabela 3. Oferta hídrica do período da safrinha em função da precipitação média semanal (mm) do decênio de 2004 a 2013 da estação climatológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	61

Tabela 4. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para os 16 coletores no período de aplicação uniforme (14 de maio a 17 de junho de 2014) e aplicação em níveis (20 de junho a nove de setembro de 2014), na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	63
Tabela 5. Quadrados médios e níveis de significância dos componentes produtivos avaliados de acordo com a fonte de variação. ....	63
Tabela 6. Variação dos indicadores de eficiência e de produtividade marginal no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	68
Tabela 7. Suprimento relativo de água para as quatro épocas de semeadura em função de três lâminas selecionadas no ensaio: 50% da máxima eficiência de água aplicada (EAA), máxima produtividade marginal e máxima EAA. ....	69
Tabela 8. Viabilidade de cultivo e produtividade esperada de amaranto e quinoa em quatro épocas de semeadura na safrinha. ....	69

## **APÊNDICE**

Tabela 1C. Componentes produtivos e fisiológicos do amaranto e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	85
Tabela 2C. Componentes produtivos do milho e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	87
Tabela 3C. Componentes produtivos da quinoa e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1. Sistema de irrigação com linha central de aspersores (A, line source) e coletores de irrigação (C).....	4
Figura 2. Sistema de irrigação com barra irrigadora e aspersores de vazão variável (line source modificado). ....	4
Figura 3. Modelos explicativos para representar o comportamento dos componentes produtivos intermediados no tempo: linear (A), quadrático (B) e sigmoidal (C).....	7

### CAPÍTULO I – DINÂMICA DO CRESCIMENTO DO AMARANTO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL

Figura 1. Croqui experimental com partição das parcelas e calendário das coletas. ....	20
Figura 2. Coletas intervalares da umidade relativa (%), velocidade do vento ( $\text{km h}^{-1}$ ), precipitação (mm chuva) da estação climatológica e registros das lâminas aplicadas pela barra irrigadora no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	21
Figura 3. Lâmina total coletada (mm) entre os RH (inferior-II, médio inferior-MI, médio superior-MS; superior-SS) na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	22
Figura 4. Regressão dos componentes vegetativos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	28
Figura 5. Aumento do perfilhamento após a 3ª coleta na variedade BRS 1501 de milho provocando a redução do diâmetro do coleto. ....	29
Figura 6. Regressão das medições foliares do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	31
Figura 7. Formas predominantes do folíolo apical: (a) predominantes nas inflorescências (a), intermediárias (b), predominantes no estágio vegetativo com 3 a 12 dentes. ....	33
Figura 8. Regressão dos componentes produtivos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	34
Figura 9. Acamamento do amaranto no RH MI aos 106 DAE. ....	35
Figura 10. Regressão dos componentes específicos do milho sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	37
Figura 11. Espigas estéreis de milho aos 63 DAE. ....	38
Figura 12. Registros horários da temperatura do ar inferiores a $16^{\circ}\text{C}$ no período de 1º a 19 de julho e quantidade de horas das ocorrências, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	38

Figura 13. Regressão dos números de nós com folhas anexadas e o CRA para a interação do amaranto, milho e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	41
Figura 14. Regressão do conteúdo do IFC para interação do amaranto, milho e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	42

## **CAPÍTULO II - PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO NA ENTRESSAFRA DE AMARANTO E QUINOA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

Figura 1. Croqui experimental com partição das unidades experimentais. ....	57
Figura 2. Coletas intervalares da umidade relativa (%), velocidade do vento ( $\text{km h}^{-1}$ ), precipitação (mm chuva) da estação climatológica e registros das lâminas aplicadas pela barra irrigadora no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	57
Figura 3. Evolução da lâmina coletada pelos coletores pares (2 a 12) e média dos coletores 14 e 16 (Ex), desde 14 de maio até nove de setembro de 2014 na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	58
Figura 4. Lâmina total coletada em mm dos 16 coletores na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	59
Figura 5. Precipitação média semanal (mm) para o decênio 2004 a 2013 do período de 22 de fevereiro a 12 de julho e respectiva precipitação acumulada para a estação climatológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	61
Figura 6. Precipitação acumulada (mm) para o período da safrinha e volumes associados obtidos pelos coletores no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	64
Figura 7. Produção ( $\text{t.ha}^{-1}$ ) e produtividade marginal ( $\text{kg.mm}^{-1}$ ) de amaranto e quinoa no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	65
Figura 8. Evolução da eficiência da água aplicada (EAA, $\text{kg.mm}^{-1}$ ) de amaranto e quinoa e associação com a produtividade marginal máxima ( $\text{kg.mm}^{-1}$ ) no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	67

## **APÊNDICE**

Figura 1A. Valores acumulados médios mensais de precipitação pluvial (mm), referentes aos períodos decenais na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF. ....	77
Figura 2A. Valores médios decenais de precipitação pluvial (mm) na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF. ....	77
Figura 3A. Desvios das precipitações médias decenais em relação à média geral dos quarenta anos da série na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF. ....	78
Figura 4A. Valores acumulados médios mensais de precipitação pluvial (mm) por decênio, na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF. ....	78
Figura 5A. Coletas intervalares da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	79
Figura 1B. Localização do ensaio e da estação climatológica, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	80
Figura 2B. Coletores universais para conferência da lâmina aplicada com quatro centímetros de raio, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	80
Figura 3B. Aspersores modelo Xi-Wob©-Wobbler 610 para produção de gotas médias na pressão de 10 psi da barra irrigadora. ....	81

Figura 4B. Sulcação de quatro linhas com espaçamento de 0,40 metros para instalação do ensaio, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	81
Figura 5B. Semeadora regulada para distribuição uniforme das sementes em oito metros de comprimento do sulco por parcela, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	82
Figura 6B. Colhedora de parcelas experimentais para trilha de duas linhas de semeadura nas parcelas constituídas com 8 linhas, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	83
Figura 7B. Separação dos resíduos da inflorescência e infrutescência dos grãos, com ação do vento (A), uso de peneiras de malhas variadas (B) e separador e classificador de sementes a vácuo (C), na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	84
Figura 1D. Ajustes quadrático e sigmoidal da produção de grãos ( $t.ha^{-1}$ ) de amaranto dependente dos regimes hídricos, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	92
Figura 2D. Ajustes quadrático e sigmoidal da produção de grãos de quinoa ( $t.ha^{-1}$ ) dependente dos regimes hídricos, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ....	92
Figura 3D. Máxima eficiência de água aplicada ( $kg.mm^{-1}$ ) para os ajustes quadráticos e sigmoidais da produção de grãos de amaranto e quinoa dependente dos regimes hídricos, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.....	93

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	porcentagem	
cm	centímetros	
CRA	conteúdo relativo de água	
CV	coeficiente de variação	
CUC	coeficiente de distribuição de Christiansen	
DAE	dias após emergência	
DAS	dias após sementeira	
FV	fonte de variação	
g	gramas	
IFC	índice Falker© de clorofila	
II	inferior	
inf.	ponto de inflexão curva sigmoideal	
kg	quilograma	
max.	ponto de máximo curva quadrática	
MI	médio inferior	
min.	ponto de mínimo curva quadrática	
mm	milímetros	
MPa	Mega Pascal	
MS	médio superior	
ns	não significativo	
°C	temperatura Celsius	grau Celsius
Pc	concentração do produto comercial	
PMg	produtividade marginal	
r	coeficiente de correlação	
RH	regime hídrico	
s	desvio padrão	
SE	erro padrão da regressão	
SPD	sistema de plantio direto	
SS	superior	
Subparc.	subparcela	
t	tonelada	1 t = 1000 kg
ud	Unidade	

## RESUMO

JAYME-OLIVEIRA, ADILSON. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2016. **Potencial Agronômico do amaranto, quinoa e milho sob regime hídrico variável.** Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis. Coorientadores; Dr. Walter Quadros Ribeiro Júnior; Dr<sup>a</sup>. Maria Lucrécia Gerosa Ramos.

O uso de plantas de cobertura é uma alternativa promissora para viabilizar a produção em bases sustentáveis e promoção da segurança alimentar, principalmente se for possível conciliar alternativas alimentares proteicas com tecnologias poupadoras dos recursos, inclusive hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial agronômico das plantas de cobertura para a produção de grãos e de biomassa sob regime hídrico variável. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com regimes hídricos variáveis (parcela principal) e a subparcela a espécie de cobertura (amaranto, milho e quinoa) mediados no tempo. O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina – DF) sob Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado. Durante os primeiros 30 dias após a emergência, a irrigação foi uniforme (148 mm) e, a partir deste período, as parcelas foram submetidas a quatro níveis de regimes hídricos (RH): inferior (II), médio inferior (MI), médio superior (MS) e superior (SS) que totalizaram 217, 386, 563 e 647 mm respectivamente. O crescimento das plantas foi quantificado mediante coletas semanais destrutivas para obter as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do coleto, número de folhas, número de nós com ramos vegetativos incluindo as folhas, massa seca do caule, folhas, estruturas reprodutivas e grãos, área foliar, comprimento foliar e conteúdo relativo de água. O amaranto e a quinoa apresentaram reduzidas diferenças nas variáveis de crescimento para regimes hídricos superiores a 386 mm (RH MI), contudo o amaranto é mais exigente em água. Regimes hídricos superiores a 563 mm



(RH MS) apresentaram para a maioria das características tendência de estagnação para o amaranto e de redução para a quinoa. No final do ciclo o amaranto apresentou maior degradação de clorofila e a quinoa possui maior preservação do conteúdo relativo de água. Para a produção de grãos na safrinha, é tolerada a semeadura até 7 de março para o amaranto e até 14 de março para a quinoa. A quinoa pode apresentar maior produção de grãos se tiver a semeadura na safrinha antecipada para 28 de fevereiro. A cultura do milho não produziu grãos no inverno por causa da sensibilidade térmica, e por conseguinte, reduzidas diferenças nas variáveis de crescimento para regimes hídricos superiores a 217 mm (RH II); melhores resultados são associados ao RH MS. O milho apresentou intenso crescimento vegetativo, com incrementos constantes para várias características avaliadas, que indica excepcional aptidão para produção de biomassa ou para cobertura do solo ou para o déficit hídrico pronunciado.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Amaranthus cruentus*, *Pennisetum glaucum*, *Chenopodium quinoa*, estresse hídrico, line source modificado.

## ABSTRACT

JAYME-OLIVEIRA, ADILSON. Goiano Federal Institute – *Campus* Rio Verde – GO, January 2016. **Agronomic potential of amaranth, quinoa and millet under variable water regime.** Advisor: Dr. Adriano Jakelaitis. Co-advisor: Dr. Walter Quadros Ribeiro Júnior; Dr<sup>a</sup>. Maria Lucrecia Gerosa Ramos.

The use of cover crops is a promising alternative to enable production on a sustainable basis and promoting food security, especially if it is possible to combine protein food alternatives with resources saving technologies, including water. The objective of this research was to evaluate the agronomic potential of cover crops for grain and biomass production under variable water regime. The experimental design was a randomized block with variable water regimes (main plot) and the sub plot with coverage crop (amaranth, millet or quinoa) evaluated at different phenological stages. The study was carried out in the experimental area of Embrapa Cerrados (Planaltina, DF), Brazil, in a Cerrado Rhodic Hapludox (Oxisol) clayey, A moderate. During the first 30 days after emergence, irrigation was uniform (148 mm) and, after this period, the plants were submitted to four water regimes (WR) lower (II, 217 mm), below average (MI, 386 mm), upper average (MS, 563 mm) and higher (SS, 647 mm). Plant growth was weekly evaluated by destructive collections for the following parameters: plant height, stem diameter, number of leaves, number of nodes with vegetative branches including leaves, dry mass of stem and leaves, reproductive structures and grains, leaf area, leaf length and relative water content. Amaranth and quinoa showed small differences in growth variables for water regimes up to 386 mm (WR MI). However, amaranth is more water needed. Water regimes higher than 509 mm (WR MS) showed in several morphological characteristics a trend of stagnation for amaranth and reduction for quinoa. In the end of cycle, amaranth had higher chlorophyll degradation and quinoa had higher water content preservation. For grain production in the off-season in the region of Distrito Federal,

Brazil is tolerated until March 7 to amaranth and until March 14th for quinoa. The millet crop did not produce grain in the winter, because of its thermal sensibility, so it has small differences in growth characteristics for water regimes greater than 217 mm (WR II). The best results have been associated with WR MS. Millet presented intense vegetative growth, with constant increments for various characteristics evaluated, indicating that this species can be used as a forage or cover crop in conditions of pronounced drought.

**KEY WORDS:** *Amaranthus cruentus*, *Pennisetum glaucum*, *Chenopodium quinoa*, water stress, modified line source

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Culturas alternativas para cultivo sustentável no Cerrado

O Cerrado ocupa 204 milhões de hectares, aproximadamente 20% do território brasileiros, sendo 61% ocupados por cobertura vegetal remanescente (formação savânica, florestal e campestre) e 80 milhões de hectares (39%) com predomínio das pastagens cultivadas (26,5%) e culturas agrícolas (10,5%) (SANO et. al., 2008).

Uma prática habitual para as culturas agrícolas é o cultivo em sucessão. Uma pesquisa com produtores de grãos no sudoeste goiano atestou que 100% desses cultivam principalmente soja na safra de verão (outubro a fevereiro) e 80% cultivam milho na safrinha (fevereiro a agosto); e quando a região está sujeita a períodos de chuva restritivos, uma minoria prioriza o cultivo sucessivo apenas de soja (JAYME-OLIVEIRA, 2013). Esta prática deve se estender no cultivo de cereais do Cerrado, considerando que o Centro-Oeste e a região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Oeste Baiano) concentram os maiores volumes e área plantada de produção de milho na segunda safra após a produção de soja (CONAB, 2015). Historicamente, as duas culturas são amparadas pela garantia de retorno econômico e apoio de uma organizada cadeia agroindustrial (HADDAD, 1999; SILVA, 2004).

Enquanto a soja e o milho lideram a oferta de alimentos e derivados com a ênfase tecnológica de cultivares geneticamente modificadas, Jacobsen et al. (2013) sugerem que a segurança alimentar também deveria incentivar a diversidade estratégica de alternativas alimentares proteicas, visando preservar a capacidade de resiliência da agricultura. É fundamental pesquisar tecnologias de produção poupadoras de recursos, inclusive hídricos, para promoção da agricultura sustentável. O Sistema de Plantio Direto (SPD) é a tecnologia sustentável com maior adoção para o cultivo de lavouras

temporárias (BRASIL-IBGE, 2009), contudo é necessário compreender a complexidade desse sistema visando reivindicar políticas de sustentabilidade para a atividade agrícola.

Sachs (2000) indica sete dimensões para estudos de sustentabilidade: social, cultural, ecológico, ambiental, territorial, política nacional e política internacional. Esta pluralidade de elementos fundamentais para os estudos da sustentabilidade que, embora heterogêneos, estão completamente conectados entre si, deve ser integrada com a análise local e temporal da dinâmica do SPD. A interdependência entre as sete dimensões exige a conciliação do SPD com a sustentabilidade ambiental que, segundo Amazonas (2001), confere um grau de complexidade muito maior para a investigação científica contrapondo com estudos isolados de fatores endógenos ou exógenos.

Toledo-Souza et al. (2008) observaram que a ausência de rotação de culturas incrementa a incidência e resistência das pragas e doenças, e onera o custo de produção ou resulta em redução da produtividade. O aumento da incidência e resistência de pragas e doenças e a degradação física do solo são indicativos endógenos da fragilidade do SPD e a perda da estabilidade estrutural.

O SPD também estará sujeito a mudanças exógenas, a citar a redução do regime hídrico e o aquecimento global (STEFFEN et al., 2004). Como processo evolucionário as mudanças serão inevitáveis e propícias para um colapso do sistema produtivo (BEAUMONT, 1981). Este colapso é previsto pela teoria da resiliência, proposta por Holling em 1973 cujos diferentes níveis hierárquicos se retroalimentam e se adaptam as mudanças endógenas e exógenas, reordenando suas estruturas (HOLLING, 2001).

A cobertura do solo é fundamental para a entressafra do SPD do Cerrado, frequentemente associada com reduzida disponibilidade hídrica, minimizando a exposição à intensa radiação solar que resultaria em perda de matéria orgânica com impacto negativo sobre características físicas, químicas e biológicas do solo (SPEHAR & TRECENTI, 2011).

O Cerrado do Brasil Central possui poucas opções viáveis de plantas de cobertura e, como alternativa, tem se adaptado à região os pseudocereais, apesar de originários da cordilheira dos Andes (TAPIA, 2013).

A melhoria no manejo do SPD com diversificação de cultivos pode ser obtida atendendo três propósitos: produção de cobertura vegetal, de grãos e de forragem, favorecendo a proteção e reciclagem de nutrientes no solo, manejo de plantas daninhas e incremento da matéria orgânica. O primeiro propósito propiciará aumento da renda do

produtor no longo prazo enquanto os demais visam o incremento imediato (LANDERS & SATURNINO, 1994).

A investigação científica deve analisar todas as demandas dos autores citados nesta Tese que reivindicam mais estudos sobre a importância da diversificação de cultivos das plantas de cobertura para reordenar a estrutura do SPD, com destaque para a tolerância à seca e promoção da sustentabilidade nas dimensões ecológica, ambiental, territorial e política. Além da cobertura vegetal e o aproveitamento da produção para forragem ou grãos, visando promover a melhoria da qualidade dos alimentos (dimensão social e cultural), também será avaliada a melhoria da qualidade do solo.

## 2. Modelos para determinação da função da produção para o fator água

Estudos que associem respostas à produção da aplicação variável de lâminas de irrigação são fundamentais para avaliar a tolerância das plantas aos diferentes regimes hídricos e o benefício econômico da implantação de projetos de irrigação.

Para ambientes protegidos o regime hídrico pode ser controlado utilizando de lisímetros, gravimetria ou reposição da lâmina de água aferida por estações climatológicas nas casas de vegetação. Mas a avaliação de regime hídrico variável em experimentos divididos em parcelas no campo necessita do provimento de equipamentos com controle preciso de vazão nas parcelas, onerando o custo da experimentação agrícola, principalmente em ensaios submetidos em uma extensa área de pesquisa.

Para ensaios no campo uma metodologia amplamente adotada (TAGLIAFERRE, et al., 2013; SILVA et al., 2014, OLIVEIRA, et al., 2015) é a distribuição de sistema aspersores em linha (Figura 1, *line source sprinkler system*) com intuito de formar um gradiente variável de água na direção perpendicular à tubulação (HANKS et al., 1974; BAUDER et al., 1975; HANKS et al., 1976).

O gradiente variável de água pode concentrar a lâmina nas áreas centrais, próxima dos aspersores, conforme avaliado por Tagliaferre et al. (2013) nas 4 lâminas testadas (578, 512, 429, 299 e 240 mm). Silva et al. (2014) conseguiram maior variação entre os regimes hídricos reduzindo a faixa avaliada e aumenta a bordadura entre as parcelas (47, 240, 477, 699 e 1027 mm).

Stark et al. (1982) descreveram a adaptação do *line source* utilizando mais de uma linha de aspersores para fornecer a lâmina perpendicular, denominado *modified*

*line source* (Figura 2), com as seguintes vantagens: concentrar lâmina de aplicação em algumas parcelas, regular diferentes lâminas ao longo do ensaio e reduzir a deriva das gotas com o vento.



Figura 1. Sistema de irrigação com linha central de aspersores (A, line source) e coletores de irrigação (C).

Fonte: Boschini (2010).



Figura 2. Sistema de irrigação com barra irrigadora e aspersores de vazão variável (line source modificado).

### 3. Análise temporal de crescimento em plantas de cobertura

Segundo Hunt (2003) o desempenho do crescimento de plantas sob condições naturais ou controladas pode ser descrito por uso de dados simples (massa, área, volume, conteúdo ou componentes da planta) e de métodos quantitativos que possibilita abordagem integrada dos processos produtivos e fisiológicos de uma espécie. Para a planta o crescimento está associado a mudança irreversível no tempo, seja no tamanho (usualmente medido), na forma ou no número.

Para determinar o desenho experimental, Hunt (2003) apresenta dois modelos para a análise de crescimento em plantas individuais:

(1) modelo clássico: extensas coletas periódicas e destrutivas com muitas repetições.

(2) modelo funcional: coletas frequentes de áreas reduzidas para ajuste da curva com menos repetições nas medições.

A coleta de dados primários e as medições das quantidades podem ser avaliadas sob cinco metodologias distintas (BEADLE, 1985; HUNT, 2003):

(1) medição absoluta (MA): é a medição de um componente da planta, por exemplo, massa seca da planta ou aumento do número de folhas por planta.

$$MA = Y_t \quad (1)$$

Em que Y é medição do componente em um dado momento “t”.

(2) taxa de crescimento absoluto (TCA): é a taxa da medição de um componente da planta no tempo, por exemplo, taxa da massa seca da planta ou taxa do aumento do número de folhas por planta.

$$TCA = (Y_2 - Y_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Em que se computa a medição Y em dois períodos, 1º tempo avaliado ( $t_1$ ) e 2º tempo avaliado ( $t_2$ ). Para avaliação do desempenho entre espécies ou efeitos de tratamentos bem delimitados pode ser certificada com a mensuração da TCA para o componente massa seca.

(3) taxa de crescimento relativo (TCR): também envolve a taxa da medição de um componente da planta no tempo, mas é um pouco mais complexa por incluir a medição básica, por exemplo, a taxa de aumento da massa seca da planta por unidade desta massa.

$$TCR = (\ln Y_2 - \ln Y_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Em que se determina o logaritmo do componente Y em dois períodos, 1º tempo avaliado ( $t_1$ ) e 2º tempo avaliado ( $t_2$ ).

(4) Razão simples: é a razão entre duas medições, por exemplo, massa seca das folhas por massa seca da planta (mesma grandeza) e área foliar por massa seca da planta (grandezas diferentes).

$$RS = ((Y_1/Z_1) + (Y_2/Z_2)) / 2 \quad (4)$$

Obtém-se a média da razão do componente Y dividido pelo componente Z em dois períodos.



(5) taxa de crescimento composta (TCC): avalia taxas de crescimentos de componentes distintos, por exemplo, a taxa de aumento da massa seca da planta por unidade da área foliar.

$$TCC = ((Y_2 - Y_1) / (t_2 - t_1)) \times ((\ln Z_2 - \ln Z_1) / (Z_2 - Z_1)) \quad (5)$$

Obtendo uma expressão resultante das taxas dos componentes Y e Z em dois períodos.

Beadle (1985) e Hunt (2003) acrescentam que além da coleta dos dados simples destrutivos é fundamental avaliar a dimensão do sistema assimilador, normalmente associado a área foliar, mas também pode ser medido por intermédio do conteúdo de clorofila ou de proteína na folha:

(1) área foliar unitária (AFU): é definida como o incremento da massa vegetal por unidade do material assimilador no tempo.

$$AFU = W / La \quad (6)$$

Em que W é a massa total do vegetal e La é a área foliar da cultura em um dado momento “t”.

(2) razão da área foliar (RAF): é a razão do material assimilador por unidade do material presente na planta. Mede o “investimento produtivo” da planta, isto é, os gastos dos órgãos vegetais com o potencial fotossintetizante, obtendo valores entre 0 e 1.

$$RAF = Lw / W \quad (7)$$

Em que Lw é a massa seca das folhas e W é a massa total do vegetal.

(3) índice da área foliar (IAF): utilizado para avaliar a produtividade das culturas ou do ecossistemas por área do terreno.

$$IAF = La / P \quad (8)$$

Em que P é a área do terreno e La já foi definido anteriormente.

(4) duração da área foliar (D): é a relação entre a área foliar (L) e o tempo (t), avaliando a longevidade das folhas para incrementar a capacidade de assimilação da cultura

$$D = (L_1 + L_2) * (t_2 - t_1) / 2 \quad (9)$$

(5) rendimento foliar (RF): é definido como o produto da duração foliar (D) com a área foliar unitária (AFU)

$$RF = D * AFU \quad (10)$$

Os modelos de crescimento mediados no tempo podem adotar formulações lineares ou não lineares para explicar as relações de crescimento dos componentes da

planta desde a caracterização inicial até a completa maturidade, em situações ambientais distintas (HUNT, 2003).

Carecem de trabalhos sobre a dinâmica do crescimento de plantas de cobertura sob regime hídrico variável. Existem alguns trabalhos que avaliam sobre a tolerância do amaranço e da quinoa ao estresse hídrico em períodos isolados ou no final do ciclo e outros com avaliações pontuais da biomassa em casa de vegetação.

#### 4. Modelos Matemáticos

A representação do crescimento das plantas mediadas no tempo pode ser representada por modelos lineares (linear e quadrático) e por modelos não lineares (sigmoidal). Cada modelo apresenta especificidades no comportamento original da medição e da sua taxa de variação:

##### 1) Modelo linear (L, figura 3A)

$$Y = a + bX \quad (11)$$

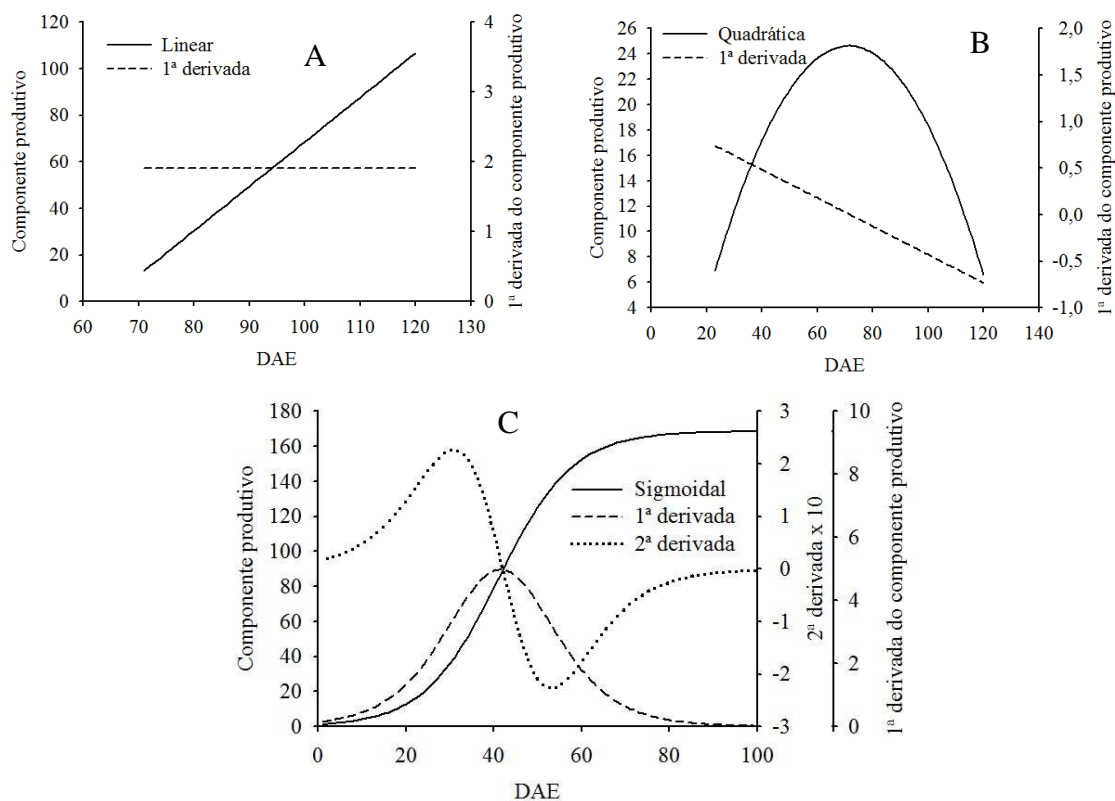


Figura 3. Modelos explicativos para representar o comportamento dos componentes produtivos intermediados no tempo: linear (A), quadrático (B) e sigmoidal (C).

Em que Y é a medição do componente produtivo; a e b são interceptos e coeficiente linear, respectivamente; X é a medida do tempo expressa em dias após a emergência (DAE).

A função linear pode ser crescente ou decrescente dependendo do sinal do coeficiente linear  $b$ , que gera variação no componente produtivo em função do tempo, apresentando a primeira derivada constante.

2) Modelo quadrático (Q, figura 3B)

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (12)$$

Em que  $Y$ ,  $X$ ,  $a$  e  $b$  foram definidos no modelo L e  $c$  é o coeficiente quadrático.

A função quadrática, apresentado no gráfico com um ponto máximo, cresce sob uma taxa de variação negativa (primeira derivada) até atingir o maior valor do componente produtivo (primeira derivada igual a zero), decrescendo os valores após este ponto.

3) Modelo sigmoidal (S, figura 3C)

$$Y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{X - X_0}{b}\right)}} \quad (13)$$

Em que  $Y$  e  $X$  foram definidos anteriormente;  $a$  e  $b$  são parâmetros de regressão não linear do modelo;  $X_0$  é a abscissa correspondente ao ponto de inflexão (DAE).

A função sigmoidal é crescente em todo intervalo de variação do tempo. Esta função não possui pontos extremos (máximos e mínimos relativos), mas possui um ponto de inflexão que coincide com a taxa máxima de variação da função. Verhulst (1838) propôs o modelo logístico, na qual o ponto de inflexão da sigmoide é o divisor da função, isto é, separa as assintóticas simétricas e corresponde a metade do valor máximo da ordenada. Até o ponto de inflexão, o gráfico representativo da função sigmoidal (Figura 1-C) apresenta concavidade para cima (primeira derivada crescente e segunda derivada positiva); no ponto de inflexão a função apresenta valor máximo da primeira derivada e segunda derivada nula; e daí em diante, apresenta concavidade para baixo (primeira derivada decrescente e segunda derivada negativa), crescendo assintoticamente, segundo a assíntota horizontal (eixo  $X$ ).

Os modelos sigmoidais também podem ser assimétricos e representados pela função Gompertz (Purves & Law, 2002; Damgaard & Weiner, 2008; Lv et al., 2008) ou Richards (1959).

## OBJETIVOS

### 1. Geral

Avaliar o potencial agronômico das plantas de cobertura para a produção de grãos e de biomassa sob regime hídrico variável.

### 2. Específicos

1. Indicar períodos favoráveis para produção de grãos na safrinha sob déficit hídrico;
2. Diferenciar a tolerância ao déficit hídrico das plantas de cobertura;
3. Diferenciar a aptidão produtiva das plantas de cobertura sob suprimento adequado de água no inverno.
4. Determinar quais componentes vegetativos, fisiológicos e produtivos avaliados na Tese são mais relevantes à pesquisa experimental, para subsidiar programas para seleção de espécies vegetais com tolerância ao déficit hídrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS, M. C. **Valor e Meio Ambiente: Elementos para uma Abordagem Evolucionista**. 2001. 241 p. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BAUDER, J. W.; HANKS, R. J.; JAMES, D. W. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. *Soil Science Society of American Proceedings*, v. 6, n. 39, p. 1187-1192. 1975.

BEADLE, C. L. Plant Growth Analysis. In: COOMB, J.; HALL, D. O.; LONG, S. P.; SCURLOCK, J. M. O. **Techniques in bioproductivity and photosynthesis**. 2. ed. New York. Pergamon Press, 1985. p. 20-25.

BEAUMONT, J. R. Non-linear system dynamics: some theoretical and applied issues. **Dynamica**. Boston, v. 7, n. 1, p. 2-6. 1981.

BOSCHINI, A. P. M. Produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água no Distrito Federal. 2010. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

BRASIL-IBGE. **Censo Agropecuário – Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro, 2009. 775 p.

CONAB Safra 2014/15 – Monitoramento Agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, v.2, n 12, Brasília, p. 1-134, set. 2015.

DAMGAARD, C; WEINER, J. Modeling the growth of individuals in crowded plant populations. **Journal of Plant Ecology**. v. 1, n. 2, p. 111-116, 2008.

GOOGLE. **Earth Pro**. versão 7.1.5.1557. Google Inc., 2015.

HADDAD, P. **A competitividade do agronegócio e o desenvolvimento regional no Brasil: estudo de clusters**. 1. ed. Brasília: CNPq/Embrapa. 1999. 261 p.

HANKS, R. J.; KELLER, J.; BAUDER, J. W. **Line-source sprinkler plot irrigator for continuous variable water and fertilizer studies on small areas**. Logan: Utah State University, 1974. 13 p.

HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line-source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 40, n.3, p. 426-429, 1976.

HOLLING, C. S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. **Ecosystems**, New York, v. 4, n. 5, p. 390-405, ago. 2001. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/3658800>> Acesso em: 11 dez. 2011.

HUNT, R. Growth Analysis, Individual Plants. In: Thomas, B.; Murphy, D. J.; Murray, D. **Encyclopaedia of applied plant sciences**. London: Academic Press, 2003. p. 588-596.

JACOBSEN, S. E.; SORENSEN, M.; PEDERSEN, S. M.; WEINER, J. Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity – review article. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, mar. 2013.

JAYME-OLIVEIRA, A. **A prática da safrinha e os desafios para a diversificação de cultivos**. 2013. 16 p. (relatório de pesquisa). Disponível em: <<https://docs.google.com/file/d/0BwJEbB5PzVvTVmdNWTNqenJOWnc/edit?usp=sharing>>. Acesso em: 16 abr. 2013.

LANDERS, J. N.; SATURNINO, H. M. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 116 p.

LV, Q.; SCHNEIDERB, M. K.; PITCHFORDA, J. W. Individualism in plant populations: Using stochastic differential equations to model individual neighbourhood-dependent plant growth. **Theoretical Population Biology**. v. 74, n. 1, p. 74–83, ago. 2008.

OLIVEIRA, E. M de; OLIVEIRA FILHO, J. da C; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, R. M. de; CECON, P. R.; CÓSER, A. C. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio na produção do capim Tanzânia. **Rev. Ambient. Água**. Taubaté. v. 10, n. 3. 698-706, jul.-set. 2015.

PURVES D. W.; LAW, R. Experimental derivation of functions relating growth of *Arabidopsis thaliana* to neighbour size and distance. **Journal of Ecology**. n. 90, p. 882-894, 2002.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**. v. 10, n. 2, p. 290-301, 1959.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 95 p.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2v. 1279 p.

SILVA, A. R. P. da Polo regional ou cluster: o caso do município de Rio Verde, Goiás – Brasil. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 13, n. 5, p. 41-55, out. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15352/8651>>. Acesso em: 15. abr. 2013.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016 (no prelo).

SILVA, J. C. A.; FERNANDES, P. D.; BEZERRA, J. R. C.; ARRIEL, N. H. C.; CARDOSO, D. G. Crescimento e produção de genótipos de gergelim em função de lâminas de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.4, p.408-416, 2014.

SPEHAR, C. R.; TRECENTI, R. Desempenho agrônômico de espécies tradicionais e inovadoras da agricultura em semeadura de sucessão e entressafra no Cerrado do

planalto central brasileiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 102-111, jan-fev. 2011.

STARK, J.C.; JARRELL, W. M.; LETEY, J. A modified line source sprinkler technique for continuous-variable leaching studies. **Soil Sci Soc Am J.** 46. p. 441, 1982.

STEFFEN, W. et al. **Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure**. Stockholm: IGBP Secretariat, 2004. 44p.

TAGLIAFERRE, C.; SANTOS, T. J.; LUCAS da COSTA SANTOS, L. da C.; SANTOS NETO I. J. dos; ROCHA, F. A.; PAULA, A. de Características agronômicas do feijão caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n.2, p. 242-248, mar.-abr, 2013.

TAPIA, M. E. El largo camino de la quinoa: ¿Quiénes escribieron su historia? In: BAZILE, D, et al. **Estado del arte de la quinua em el mundo em 2013**. Santiago/Montpellier: FAO/CIRAD, 2014. p. 3-10.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; CAFÉ FILHO, A. C. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 971-978. ago. 2008.

VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. **Correspondances mathématiques et physiques**, n. 10, p. 113-121, 1838.

## CAPÍTULO I - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO AMARANTO, QUINOA E MILHETO SOB REGIME HÍDRICO VARIÁVEL EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do crescimento das plantas de cobertura sob regime hídrico variável cultivado na entressafra no Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com regimes hídricos variáveis (parcela principal) mediados no tempo. O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina – DF) sob Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado. Durante os primeiros 30 dias após a emergência, a irrigação foi uniforme (148 mm) e, a partir deste período, as parcelas foram submetidas a quatro níveis de regimes hídricos (RH): inferior (II), médio inferior (MI), médio superior (MS) e superior (SS) que totalizaram 217, 386, 563 e 647 mm respectivamente. O crescimento das plantas foi quantificado mediante coletas semanais destrutivas para obter as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do coleto, número de folhas, número de nós com ramos vegetativos incluindo as folhas, massa seca do caule, folhas, estruturas reprodutivas e grãos, área foliar, comprimento foliar e conteúdo relativo de água. O ciclo do amaranto e do milho foi prolongado no inverno. O amaranto foi a planta mais exigente de recursos hídricos, que apresentou maiores respostas com o RH SS e maior degradação de clorofila no final do ciclo. A quinoa apresentou boa tolerância a seca, maior resposta com o RH MS e maior preservação do CRA no final do ciclo. O milho BRS 1501 apresentou sensibilidade térmica para cultivo no inverno, inviabilizando a produção de grãos, contudo excepcional aptidão para forragem inclusive sob déficit hídrico pronunciado.

**Palavras-chave:** *Amaranthus cruentus*, *Pennisetum glaucum*, *Chenopodium quinoa*; estresse hídrico; line source modificado



## AMARANTH, QUINOA AND MILLET GROWTH AND DEVELOPMENT UNDER VARIABLE WATER REGIME FOR OXISOIL IN CERRADO

**Abstract:** The objective of this research was to evaluate the growth dynamics of cover crops under variable water regime cultivated during the off-season in the cerrado. The experimental design was a randomized block with variable water regimes (main plot) at different phenological stages. The study was carried out in experimental area of the Embrapa Cerrados (Planaltina, DF), Brazil, in a Cerrado Rhodic Hapludox (Oxisol). Clavey, A moderate. During the first 30 days after emergence, irrigation was uniform (148 mm) and, after this period, the plants were submitted to four water regimes (WR) lower (II, 217 mm), below average (MI, 386 mm), under average (MS, 563 mm) and higher (SS, 647 mm). Plant growth was weekly evaluated by destructive collections for the following parameters: plant height, stem diameter, number of leaves, number of nodes with vegetative branches including leaves, dry mass of stem and leaves, reproductive structures and grains, leaf area, leaf length and relative water content. Amaranth and millet cycle were higher in the winter. Amaranth was the most demanding water plant that had higher answers with WSSS and higher chlorophyll degradation in the cycle end. Quinoa had good water tolerance and higher results with WSMS and higher CRA preservation in the cycle end. Millet BRS 1501 had thermal sensibility for winter cultivation, invalidating grain production, however it has exceptional ability for forage including under pronounced drought

Key words: *Amaranthus cruentus*, *Pennisetum glaucum*, *Chenopodium quinoa*, water stress, modified line source.

## 1.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de culturas em sucessão tem sido uma prática habitual na agricultura. Uma pesquisa com amostra representativa de produtores de grãos no sudoeste goiano verificou que todos cultivavam principalmente soja na safra de verão (outubro a fevereiro) e 80% cultivavam milho na safrinha (fevereiro a agosto) visando a produção de grãos e a cobertura do solo com os restos culturais (JAYME-OLIVEIRA et al., 2013). Considerando que apenas 20% dos produtores arriscam outros cultivos é conveniente avaliar plantas alternativas para viabilizar a sucessão no plantio direto, dentre outras, os pseudocereais.

Os pseudocereais possuem alto teor de amido no grão e uso equivalente aos cereais, apesar de não integrarem a família botânica Poaceae (sin. Gramineae). São mais ricos em proteínas e lipídeos que os cereais (arroz, milho, cevada e trigo) apresentando valor energético semelhante (OCAMPO & ROSA, 2012; KOZIOL, 1990). Por não possuírem glúten em sua composição favorecem a alimentação de pessoas portadoras de doenças celíacas (ALMEIDA & FERNANDES, 2011).

O amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) é um pseudocereal originário da cordilheira dos Andes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984; LÓPEZ, 2012) que pode ser adaptado a região do Cerrado para cultivo em períodos sob restrição hídrica.

O amaranto já integra uma organizada cadeia de distribuição no México, que incentiva a produção de origem familiar, concentrando seus produtos alimentícios no setor de panificação. A farinha de amaranto se destaca pelo conteúdo proteico, vitaminas, ferro e minerais. Esses derivados são recomendados para suplementação de pessoas desnutridas ou anêmicas e prevenção a osteoporose (ESCOBEDO-LÓPEZ et al., 2012). No México há diversidade de produtos derivados do amaranto tais como: doces artesanais, granola, farinha integral, produtos extrusados, panificações, macarrão, óleo comestível, alimentos para lactentes, concentrados proteicos e barras energéticas (GARAY et al., 2012).

O amaranto pode ser utilizado como substituto do milho na silagem para ruminantes (RAZAEL et al., 2013) ou como ingrediente na ração de monogástricos (KRÓLICZEWSKAB et al., 2013).

Adicionalmente, o amaranto tem se destacado para tolerância à seca (COSTA & BORGES, 2005).

A *Chenopodium quinoa* (Quinoa) também é um pseudocereal, contudo originário dos Andes (TAPIA, 2013), com bom desenvolvimento em condições de limitações ambientais e apresenta estratégias de adaptação ao déficit hídrico, tanto fisiológico como morfológico (SILVA et al., 2014).

O consumo tradicional de quinoa na alimentação humana é através dos grãos e ocorre, principalmente, na forma de flocos, quando os grãos são prensados. Vale ressaltar que a quinoa possui sabor característico amargo na parte externa do grão, por causa da presença de saponina, que normalmente é removida quando destinada ao consumo humano. Destaca-se que plantas de quinoa na fase juvenil acumulam maiores concentrações de compostos fenólicos (DEBSKI et al., 2013).

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) também é considerado como excelente alternativa para a diversificação agrícola e proteção do solo (SPEHAR & TRECENTI, 2001). É uma cultura tradicional na África Ocidental e com ampla adoção na Ásia (Índia) com adaptação excepcional para locais sob estresses abióticos (hídricos, temperatura e luminosidade) (FAO 2013).

A biomassa total do milheto apresentou maior produção comparada com a do sorgo, do milho, da aveia preta, do trigo, da cevada, da braquiária, do nabo forrageiro, do amaranto, da quinoa, da kenaf, do gergelim, do girassol, do guandu e da crotalaria; também é recomendado para a produção de forragem e como alternativa para integração lavoura-pecuária (SPEHAR & TRECENTI, 2001).

A rusticidade do milheto e tolerância a fatores abióticos são destaques para cobertura do solo, forragem e reciclagem de nutrientes no sistema de plantio direto; e o melhoramento genético tem proporcionado, sob condições climáticas favoráveis, incrementos de produtividade nos grãos para o consumo animal e humano, favorecendo a expansão do cultivo no Brasil (PEREIRA FILHO, 2013).

No setor agropecuário, o milheto pode ser utilizado na forma de farelo ou grão, introduzido na ração para alimentação de aves, suínos e bovinos pelo seu alto valor proteico, que é maior do que o do sorgo e do milho, e também pelo baixo custo do grão em comparação com commodities (GOMES et al., 2008; ROSTAGNO et al., 2005 citado por CATELAN, 2010).

A possibilidade de introdução do milheto na alimentação animal, na forma de silagens, também tem impulsionado o mercado, no entanto, enfrenta alguns entraves devido ao teor de matéria seca do material que pode interferir na qualidade da silagem. Contudo, se a colheita do material para ensilagem for feita no momento adequado,

quando o grão ainda está no estágio pastoso-farináceo, é possível produzir silagens com bom padrão fermentativo (GUIMARÃES JÚNIOR, 2009). Outro nicho de mercado relevante é o uso de grãos de milho na alimentação de pássaros, mercado este que apresenta demanda uniforme ao longo do ano, exige qualidade e garante boa remuneração com preços mais elevados (GARCIA & DUARTE, 2009).

Apesar do amaranto, da quinoa e do milho apresentarem potencial para cultivo no Cerrado o crescimento e o desenvolvimento desses cultivares podem ser afetados pela interrupção do período chuvoso, por determinado tempo, historicamente manifestado no cultivo na safrinha em sucessão (ASSAD et al., 1993).

Déficits hídricos podem afetar os vegetais com redução na altura da planta, na taxa de crescimento relativo, no índice de área foliar, redução do crescimento celular, na taxa fotossintética e na ativação da respiração (HYSKOVA et al., 2014).

Sob deficiência hídrica as modificações na planta levam a diminuição nas mudanças de alocação de massa, essas transformações se relacionam intimamente com a eficiência do uso da água (EUA) e com os mecanismos de aclimatação. O fechamento de estômatos pode manter o potencial de água na folha e está relacionado com a inibição de CO<sub>2</sub> e o fluxo de nutrientes pelas raízes, que resulta na redução da fotossíntese e a produção subsequente de hidratos de carbono (NAVAS & GARNIER, 2002).

Plantas cultivadas possuem vários mecanismos de adaptação sob déficit hídrico, mas as respostas são complexas e a adaptação é atribuível a capacidade da planta exercer um ou mais desses mecanismos. Para evitar a desidratação, as plantas mantêm um elevado potencial de água nos tecidos. A redução da perda de água, geralmente depende do controle estomático, da transpiração e da absorção de água pelo sistema radicular profundo (KHAN et al., 2010).

Assim, o conhecimento dos processos morfológicos e fisiológicos que são afetados pelo estresse hídrico, bem como as estratégias da planta em atenuar estes efeitos merecem uma atenção considerável (SANTOS & CARLESSO, 1998). A análise periódica dos componentes vegetativos, fisiológicos e produtivos permitirão identificar os processos que promovem mecanismos de adaptação das plantas à seca e, conseqüentemente, tolerância das plantas à seca.

O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do crescimento das plantas de cobertura sob regime hídrico variável cultivado na entressafra no Cerrado.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF) sob Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (teor de argila de  $570 \text{ g kg}^{-1}$ ), A moderado (SANTOS et al., 2013). A unidade está localizada na BR 020 Km 18 (latitude  $15^{\circ}35'58''$  Sul e longitude  $47^{\circ}42'50''$  Oeste), zona rural da região administrativa de Planaltina-DF. A altitude da área é de aproximadamente 1014 m com temperatura média anual de  $22^{\circ}\text{C}$  e pluviosidade média de 1.202 mm (SILVA et al., 2016).

No final do ciclo da soja (cultura antecessora) foi realizada a amostragem do solo na entre linha da semeadura em três profundidades e a análise química do solo (Tabela 1). A semeadura das culturas de amaranto (BRS Alegria, SPEHAR et al., 2003), milho (BRS 1501, EMBRAPA MILHO E SORGO, 2015) e quinoa (BRS Piabiru, SPEHAR et al., 2002) foram realizadas em maio de 2014. Os tratos culturais incluíram a dessecação da área, adubação, sulcagem, semeadura, capinas e raleio, controle de insetos praga e adubação nitrogenada (Tabela 2).

As unidades experimentais foram constituídas por oito linhas de semeadura, com espaçamento de 0,4 metros e oito metros de comprimento, resultando numa área de  $25,6 \text{ m}^2$ . O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo a parcela principal a lâmina de água e as culturas nas subparcelas com coletas mediadas no tempo (Figura 1).

O regime hídrico (RH) foi obtido utilizando barra irrigadora de aspersão com 40 m de largura, ligada ao carretel com velocidade regulável, com aspersores modelo Xi-Wob©-Wobbler 610 regulados para operar com pressão de 10 psi e produção de gotas médias (SENNINGER, 2012). O turno de rega foi fixado em cinco dias adotando a lâmina recomendada para a cultura do trigo do programa de Monitoramento da Irrigação no Cerrado (EMBRAPA, 2016).

Em cada lateral da barra irrigadora foram instalados oito aspersores uniformemente espaçados com diâmetro do bocal de 7,14 mm durante os primeiros 30 dias após a emergência (DAE). Após este período e até o final do ciclo foi adaptada a metodologia do *line source* (HANKS et al., 1976), utilizando os aspersores da barra irrigadora para variar os RHs; foram instalados bocais de orifícios decrescentes da área

central até o 6º aspersor (diâmetros dos bocais de 9,53 mm; 9,13 mm; 8,73mm; 8,33 mm; 7,14 mm e 7,14 mm) e excluídos os dois aspersores da extremidade da barra.

Tabela 1. Resultado da análise do solo em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Camada amostrada	Cálcio cmolc. dm <sup>-3</sup>	H+Al cmolc. dm <sup>-3</sup>	K mg.L <sup>-1</sup>	Matéria Orgânica dg.kg <sup>-1</sup>	Mg cmolc. dm <sup>-3</sup>	pH	P mg.L <sup>-1</sup>	S mg.kg <sup>-1</sup>
0 a 0,1 m	3,33	4,61	205,88	2,61	1,39	5,75	46,87	19,17
0,1 a 0-2 m	3,35	4,44	209,25	2,58	1,43	5,80	50,26	20,25
0,2 a 0,3 m	3,25	4,44	236,00	2,56	1,39	5,82	47,46	20,49
Média	3,31	4,50	217,04	2,58	1,40	5,79	48,20	19,97

Tabela 2. Manejo cultural do ensaio

Data	Manejo Cultural	Quantidade	Observação
23/5	Colheita da soja	3.706	kg.ha <sup>-1</sup> soja 13% umidade
30/5	Dessecação da área	3	l.ha <sup>-1</sup> pc Glifosato 720g.kg <sup>-1</sup>
		125	ml.ha <sup>-1</sup> pc Carfentrazona-eflúica 400 g.l <sup>-1</sup>
12/6	Adubação	750	kg.ha <sup>-1</sup> 04.14.08 incorporado com discos espaçados de 20 cm
13/6	Sulcação	8	sulcos espaçados 40 cm
14/6	Semeadura	200	sementes.m <sup>-1</sup> de amaranto
		56	sementes.m <sup>-1</sup> de milho
		100	sementes.m <sup>-1</sup> de quinoa
22/6	Controle insetos praga	1	kg.ha <sup>-1</sup> pc Acefato fersol 750g.kg <sup>-1</sup> controle de vaquinha, lagarta rosca e mosca branca
29/6	Controle insetos praga	160	ml.ha <sup>-1</sup> pc Bifrentina 100 g.l <sup>-1</sup> controle de mosca branca
05/7	Capina		capina manual na entre linha
10/7	Capina		capina manual na entre linha, início do raleio e amontoa
10/7	Controle insetos praga	200	ml.ha <sup>-1</sup> pc Lambda-cialotrina 50 g.l <sup>-1</sup> controle de vaquinha
13/7	Capina		final da capina manual
13/7	Adubação nitrogenada	100	kg.ha <sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de Ureia (450g.kg <sup>-1</sup> )
18/7	Raleio		Final do raleio preservando 10 plantas m <sup>-1</sup>

A aplicação média de água em todo o ensaio foi de 453 mm. Durante a fase de irrigação uniforme houve a precipitação de 21 mm em três de junho, que somadas às nove irrigações, proporcionaram a aplicação média de 148 mm (1/3 da média total) de 14 de maio a 17 de junho. Na fase de aplicação em níveis (line source modificado) houve 18 irrigações e reduzidas precipitações (5,10 mm) que forneceram a aplicação média de 305 mm no ensaio (2/3 da média total) de 20 de junho a 9 de setembro. As médias da umidade relativa e a velocidade do vento foram 57% e 1,9 km h<sup>-1</sup>, respectivamente, ambas com maiores oscilações no final do ciclo (Figura 2).

Durante o ensaio a temperatura média foi de 21°C, a mínima de 14°C (predomínio em julho) e a máxima de 29°C (predomínio em setembro). Temperaturas inferiores a 11°C ocorreram entre quatro e sete horas da manhã em dois dias no final do mês de junho, cinco dias no mês de julho (atingindo 8°C) e dois dias no mês de agosto.

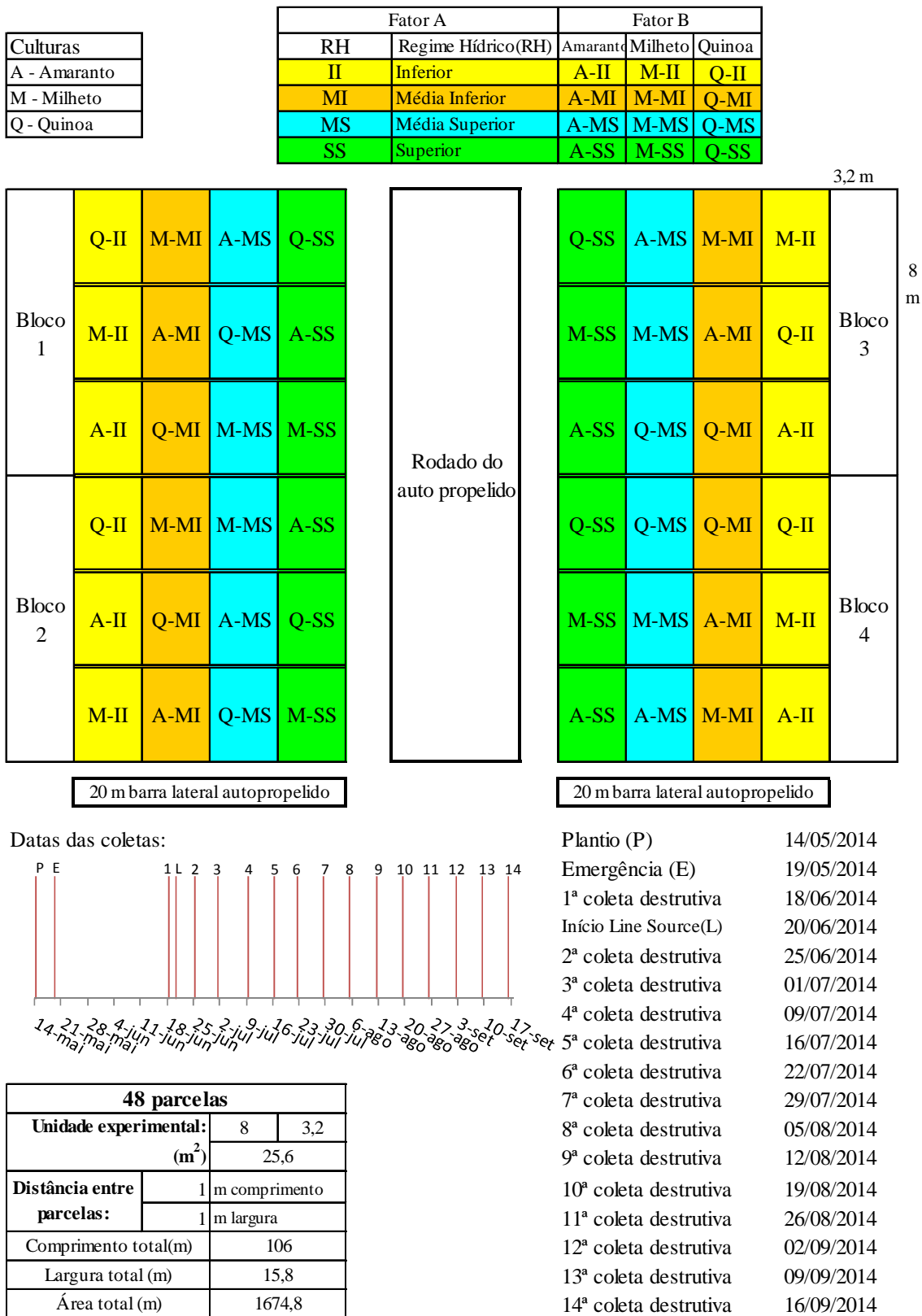


Figura 1. Croqui experimental com partição das parcelas e calendário das coletas.

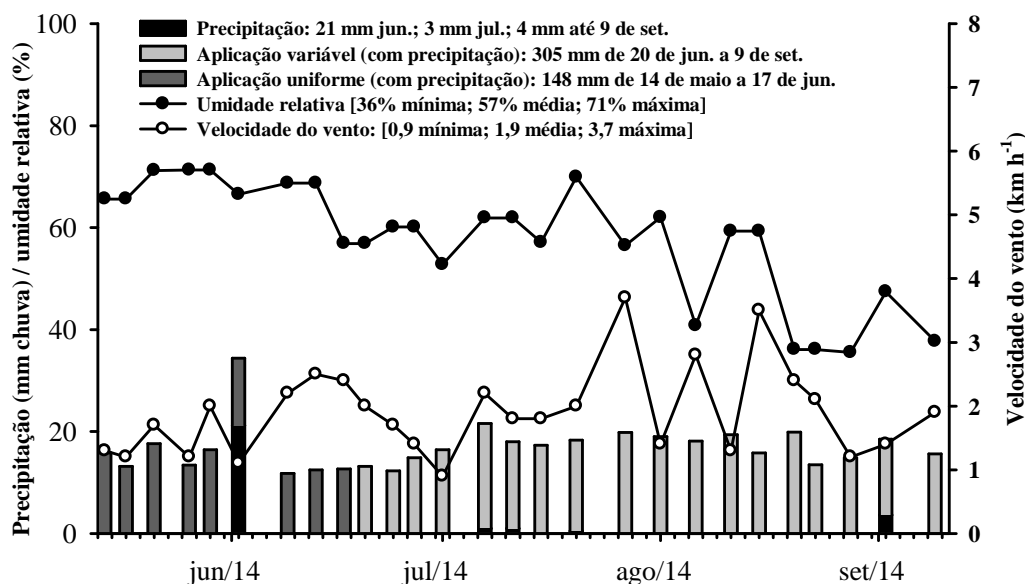


Figura 2. Coletas intervalares da umidade relativa (%), velocidade do vento ( $\text{km h}^{-1}$ ), precipitação (mm chuva) da estação climatológica e registros das lâminas aplicadas pela barra irrigadora no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Apesar do cultivo habitual de plantas de cobertura ou da adubação verde ocorrer no verão ou na safrinha (março a agosto), o experimento foi conduzido no inverno porque é uma forma de conduzir ensaios no campo isolando o fator água, mas sob temperaturas diárias decrescentes no desenvolvimento vegetativo e início da maturidade, o crescimento das plantas pode ser reduzido e o ciclo alongado. De acordo com National Research Council (1984), o gênero *Amaranthus* apresenta fotoperiodismo de dias longos em latitudes superiores a  $30^\circ$ . Contudo, Castrillón-Arbeláez e Délano-Frier (2012) observaram a espécie *A. cruentus* insensível ao fotoperíodo, enquanto Teixeira et al. (2003) observaram alongamento do ciclo e ausência de granação em algumas linhagens desta espécie cultivadas no inverno na Embrapa Cerrados. Spehar (2006) optou por utilizar linhagens de quinoa insensíveis ao fotoperíodo para composição da variedade BRS Piabiru. O milho é considerado uma planta de dia curto e apresenta sensibilidade ao fotoperíodo principalmente na ausência de estresse hídrico (CALVO et al., 2010; COSTA & PRIESNITZ, 2014).

Foram distribuídos 16 coletores na área experimental para aferir a lâmina aplicada (quatro coletores em cada regime hídrico). A lâmina acumulada durante 118 dias apresentou um comportamento sigmoidal (Figura 3), com o coletor mais externo do ensaio acumulando a estimativa de 155 mm, enquanto na área central a maior lâmina foi associada ao 16º coletor (estimativa de 671 mm). O ponto de inflexão, que divide o



aumento das taxas crescentes (1ª seção) do aumento a taxas decrescentes (2ª seção) foi estimado entre o 5º e 6º coletor (associado ao RH MI) acumulando 355 mm.

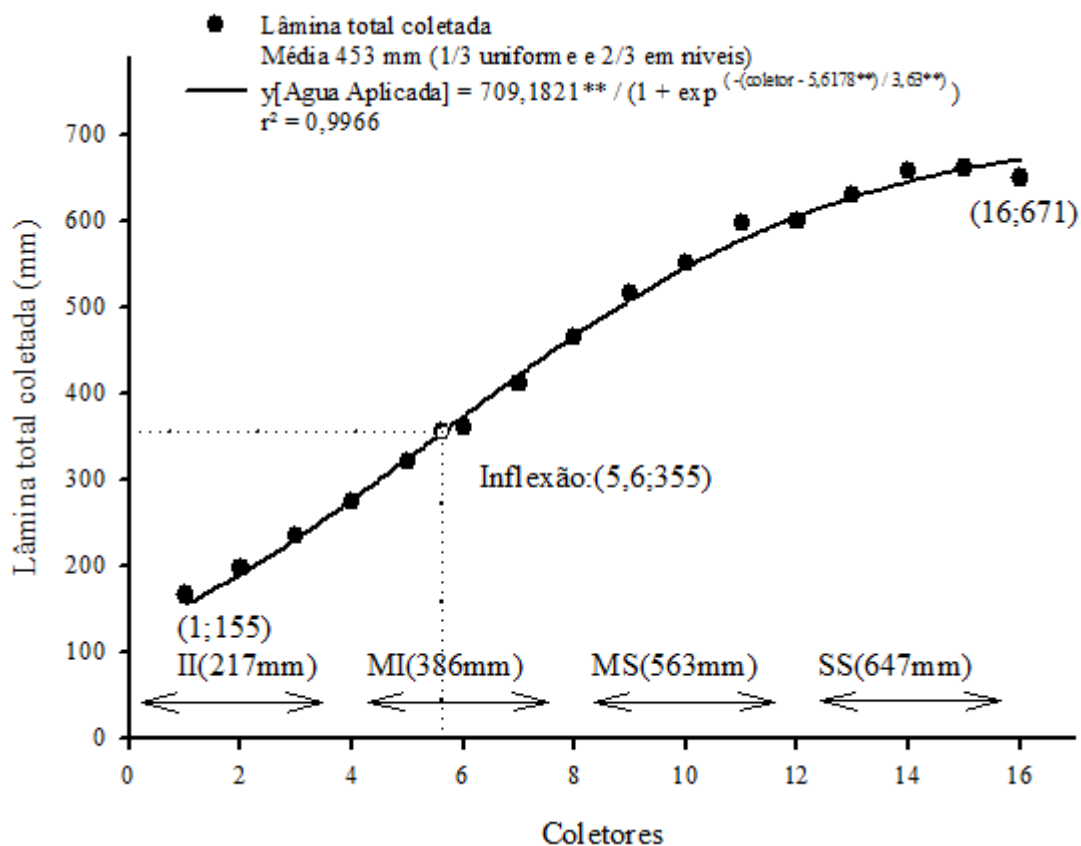


Figura 3. Lâmina total coletada (mm) entre os RH (inferior-II, médio inferior-MI, médio superior-MS; superior-SS) na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Os RHs totalizaram quatro lâminas de água: inferior (II, 217 mm), médio inferior (MI, 386 mm), médio superior (MS, 563 mm) e superior (SS, 647 mm).

O crescimento e fisiologia das plantas foram avaliados mediante coletas semanais destrutivas aos 30, 37, 43, 51, 58, 64, 71, 78, 85, 92, 99, 106 e 120 DAE. Foram amostradas três plantas nas quatro linhas centrais da parcela e separados o caule, as folhas e as inflorescências para se obter as seguintes variáveis: altura da planta, diâmetro do coletor, número de folhas, número de nós com ramos vegetativos incluindo as folhas, teor de clorofila e massa seca do caule, das folhas e das estruturas reprodutivas. As medições da área e do comprimento foliar foram realizadas na planta coletada que apresentou maior altura por amostragem na unidade experimental. Após 71 DAE foram reunidas a massa seca das inflorescências de três plantas amostradas por unidade experimental para trilha, limpeza e obtenção da progressão de enchimento dos grãos.

Para a obtenção da massa da matéria seca, expressa em  $\text{g.planta}^{-1}$ , o material coletado foi desidratado em estufa de ar, a 65 °C, até atingir peso constante. A área e o comprimento foliar foram quantificados mediante coletas destrutivas de uma planta em cada parcela utilizando o equipamento Li 3100C Area Meter.

O conteúdo relativo de água (CRA) corresponde a quantidade de água medida em um dado instante de um tecido, comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter. Foram coletadas folhas completamente desenvolvidas de uma planta por parcela todas as quartas feiras antes do amanhecer e essas foram mantidas em caixa de isopor e levadas ao laboratório de biologia vegetal da Embrapa Cerrados. De acordo com a metodologia descrita por Barrs e Weatherley (1962), foram extraídos discos foliares de cada planta e armazenados em placas de petri para pesagem imediata em balança analítica, determinando-se a massa fresca. Posteriormente foram adicionadas 10 ml de água Milli-Q em cada placa de petri cobertas com papel filtro para submersão dos discos foliares. As placas de petri foram armazenadas em sala refrigerada com temperatura de 18 a 21°C durante 32 horas. Após esse período, todas as placas foram retiradas para a pesagem da massa túrgida, retirando-se o excesso d'água com um lenço de papel. Para obtenção da massa seca, os discos foliares foram acondicionados em estufa com a temperatura de 68°C durante 32 horas, obtendo-se o CRA com fórmula descrita a seguir:

$$CRA (\%) = \frac{(MF-MS)}{(MT-MS)} \times 100 \quad (1)$$

Em que MF é a massa fresca das amostras foliares; MT é a massa da amostra túrgida e MS a massa da amostra seca.

Os índices de clorofila *a*, *b* e *total*, de três plantas por parcela, foram determinados utilizando-se o aparelho portátil ClorofiLOG modelo CFL 1030, da Falker Automação Agrícola. O aparelho contém diodos que são capazes de emitir luz, que passa pela amostra da folha chegando ao receptor fotodiodo de silício, convertendo a luz em sinais elétricos analógicos, que possibilita ter resultados para a leitura da clorofila *a*, *b* e *total*. O aparelho ClorofiLOG fornece resultados em unidades adimensionais, valores IFC (Índice de Clorofila Falker) (Falker, 2008). As medições não destrutivas do teor de clorofila foram realizadas na véspera das coletas destrutivas.

Os componentes produtivos avaliados no tempo foram submetidos à análise de variância, utilizado o *software* SISVAR 5.3, visando identificar a significância pelo teste F a 1 e 5% entre as espécies para os quatro RHs ou o efeito isolado do RH. Foram

avaliados ajustes nos modelos lineares (linear e quadrático) e modelos não lineares (sigmoidal) no SIGMAPLOT® e selecionadas as melhores equações em função da significância dos coeficientes e da magnitude dos coeficientes de determinação para explicar o comportamento do componente no tempo.

Os RHs que apresentaram comportamento representado com o mesmo modelo matemático foram classificados em função dos seguintes parâmetros:

- (1) ajustes lineares (L): valor do componente produtivo na última coleta;
- (2) ajustes quadráticos (Q) passando por um ponto máximo: coordenadas no máximo estimado da equação (primeira derivada igual a zero);
- (3) ajustes quadráticos (Q) passando por um ponto mínimo: valor do componente produtivo na última coleta;
- (4) ajustes sigmoidais (S): coordenadas estimadas no ponto de inflexão (valor máximo da primeira derivada);
- (5) sem ajustes matemáticos(I): foram comparadas as médias.

Os RHs que não apresentaram comportamentos semelhantes foram comparados com o valor estimado na última coleta. Valores inteiros idênticos entre os componentes produtivos nos RHs foram associados com o sinal de igual (=), com diferenças de até 10% com o sinal “~” e acima de 10% com os sinais de maior (>) ou menor (<).

Após quatro meses da semeadura e três meses do início das diferentes lâminas de água, foi avaliada a umidade gravimétrica do solo (Equação 2) para os blocos um (Q-II, M-MI, A-MS, Q-SS) e três (M-II, M-MI, A-MS, Q-SS) com 3 repetições para cada parcela em 3 profundidades.

$$\text{Umidade gravimétrica (\%)} = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (2)$$

Em que MU é a massa do solo úmido na parcela e profundidade amostrada e MS é a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas.

Concomitantemente, foram amostradas 10 plantas inteiramente ao acaso para cada RH nas parcelas de milho do bloco três, que apresentava o perfilhamento mais intenso para os RH MS e SS. Também foram coletadas 10 plantas da área mais externa do RH II (2 linhas da parcela com menor disponibilidade de água). Foram separados os perfilhos para avaliar a altura do maior perfilho, diâmetro do coleto, número de folhas por perfilho, área foliar total e por perfilho, número de espigas (sem grãos), massa seca total do caule e da parte aérea e calculadas a relação massa do caule pela massa total e relação altura pelo diâmetro do coleto.

Os dados aos 120 DAE da umidade do solo e dos componentes vegetativos do milho avaliados no bloco três foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de significância e, se significativos, avaliados as diferenças entre os tratamentos com o teste Tukey a 5%, utilizando o *software* SISVAR 5.3 (Ferreira, 2008).

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade do solo no final do ensaio foi semelhante em todas as profundidades para os RHs SS, MS e MI (Tabela 3). Somente o RH II apresentou diferença estatística na profundidade de 0 a 10 cm (11% de umidade) comparada com as outras profundidades (média de 15% de umidade). A umidade do solo no RH SS e MS foram semelhantes em todas as profundidades e superiores aos demais tratamentos. O RH MI apresentou umidade do solo superior ao RH II, com exceção da profundidade de 20 a 30 cm que não diferiram entre si. Latossolos argilosos podem reter umidade de solo de 24% a 28% (CARVALHO et al., 2014) e superiores a 30% na capacidade de campo (0,006 MPa) enquanto tensões superiores 1 MPa reduzem a umidade de 10 a 15% (MATIAS et al., 2009).

Tabela 3. Umidade gravimétrica do solo (%) aos 120° dias após a emergência (DAE) na área central dos regimes hídricos (RH) em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

RH <sup>1</sup>	Camada Amostrada			Média
	0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0,20 a 0,30 m	
SS (647 mm)	22,58 aA	23,75 aA	23,08 aA	23,14
MS (563 mm)	23,83 aA	23,00 aA	22,42 aA	23,08
MI (386 mm)	16,17 bA	16,58 bA	17,17 bA	16,64
II (271 mm)	11,25 cB	14,58 cA	15,58 bA	13,81
Média	18,46	19,48	19,56	19,17

Quadrado Médio					
Lâmina(L)	Profundidade(P)	L x P	Resíduo-B	CV (%)	n
795,00 **	18,15 **	18,95 **	2,84	8,79	144

1 - Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey (p<0,05).

A maioria dos componentes avaliados apresentou interação significativa, indicando o comportamento temporal distinto das plantas de cobertura sob diferentes RHs (Tabela 4).

Tabela 4. Quadrados médios e níveis de significância de componentes avaliados de acordo com a fonte de variação.

Fonte de variação	Lâmina(L)	Resíduo-A	Coleta (C)	L x C	Resíduo-B	CV A (%)	CV B (%)	n
Massa parte aérea colmo principal	1212 **	542	8136 **	252 **	41327	37,07	42,83	576
Número de perfilhos	6,56 ns	21,25	22,64 **	3,57 *	1179	44,10	43,47	576
Massa dos perfilhos	5751 **	3787	12981 **	871 **	209976	93,42	92,05	576
Massa média dos perfilhos	174 **	98	421 **	22 *	7473	73,05	84,27	576
Número de espigas	234 **	104	1031 **	49 **	6938	84,10	91,10	576
Massa média das espigas	1,19 ns	7,24	51,03 **	1,00 ns	425,17	57,67	58,49	576

Tabela 4. Quadrados médios e níveis de significância de componentes avaliados de acordo com a fonte de variação.

Fonte de variação	Lâmina(L)	Resíduo-A	Espécie(E)	L x E	Resíduo-B	Coleta (C)
Altura das plantas	157432 **	80550	64943 **	20627 **	43978	220445 **
Área do coleto	17306872 **	4149404	93172995 **	7752829 **	5844026	38678689 **
Massa do caule	5975 **	341	4544 **	1127 **	142	9282 **
Nº nós vegetativos	459 **	349	34137 **	117 **	683	670 **
Número de folhas	65577 **	1615	1823833 **	35379 **	2091	30519 **
Massa das folhas	529 **	214	2776 **	224 **	344	407 **
Massa parte aérea total	50745 **	14432	49804 **	2510 ns	25676	86165 **
Massa da inflorescência	14963 **	2018	29162 **	2125 **	4253	26328 **
Área foliar	4477877 **	405932	14207337 **	1060942 **	1816249	4164246 **
Comprimento foliar	459952 **	206310	649854 **	97216 *	890289	1749741 **
Massa dos grãos	22683 **	5812	6650 **	534 ns	3282	12106 **
CRA	88 ns	757	210 ns	33 ns	1993	12469 **
Clorofila a	611 **	452	1187 **	169 **	1020	1542 **
Clorofila b	469 ns	1243	4170 **	559 **	2475	1156 **
Clorofila total	1994 *	2791	9420 **	1318 **	4653	5020 **
% Clorofila a	594 *	781	4784 **	635 **	2460	1700 **
% Clorofila b	594 *	781	4784 **	635 **	2460	1700 **

Fonte de variação	L x C	E x C	L x E x C	Resíduo-C	CV A (%)	CV B (%)	CV C (%)	n
Altura das plantas	3456 **	10923 **	1025 **	570432	68,54	31,01	13,18	1920
Área do coleto	5426841 **	6410260 **	1349503 **	386377963	118,04	85,78	82,30	1920
Massa do caule	349 **	328 **	110 **	38	127,84	82,41	42,57	1728
Nº nós vegetativos	31 **	253 **	17 ns	24519	39,25	33,63	25,09	1728
Número de folhas	4175 **	21030 **	2810 **	794	77,11	87,75	54,07	1728
Massa das folhas	26 **	129 **	13 **	9741	89,28	69,40	45,98	1728
Massa parte aérea total	4283 **	4458 **	581 *	627351	105,36	86,06	53,00	1728
Massa da inflorescência	1725 **	989 **	258 **	127211	108,18	96,18	62,06	1920
Área foliar	332156 **	1382794 **	137854 **	22532831	30,26	39,20	31,68	624
Comprimento foliar	69349 **	625249 **	39867 **	8507642	43,87	55,80	39,58	624
Massa dos grãos	1028 **	663 **	424 **	31193	61,24	39,86	32,84	256
CRA	74 ns	618 **	76 ns	36377	13,12	13,03	13,70	576
Clorofila a	81 **	137 **	99 **	42923	17,39	16,00	13,51	1584
Clorofila b	84 **	149 **	101 **	64320	93,47	80,77	53,61	1584
Clorofila total	296 **	400 **	331 **	155287	33,03	26,11	19,64	1584
% Clorofila a	91 **	160 **	85 **	52080	11,92	12,96	7,76	1584
% Clorofila b	91 **	160 **	85 **	52080	42,58	46,28	27,72	1584

O amaranto é a cultura mais exigente em água nos componentes vegetativos altura das plantas, área basal do coleto e massa do caule, apresentando no RH SS os maiores valores comparando com as outras culturas (Figura 4; Tabela 5).

O modelo sigmoidal representou o melhor ajuste para a altura de plantas e a massa do caule, com exceção para o amaranto no RH II, que apresentou comportamento quadrático e decréscimo da massa do caule após 79 DAE. Comparando os valores no ponto de inflexão, observou-se diferenças reduzidas entre os RHs SS, MS e MI nesses componentes para o milho e a quinoa, todavia o RH II sempre foi inferior.

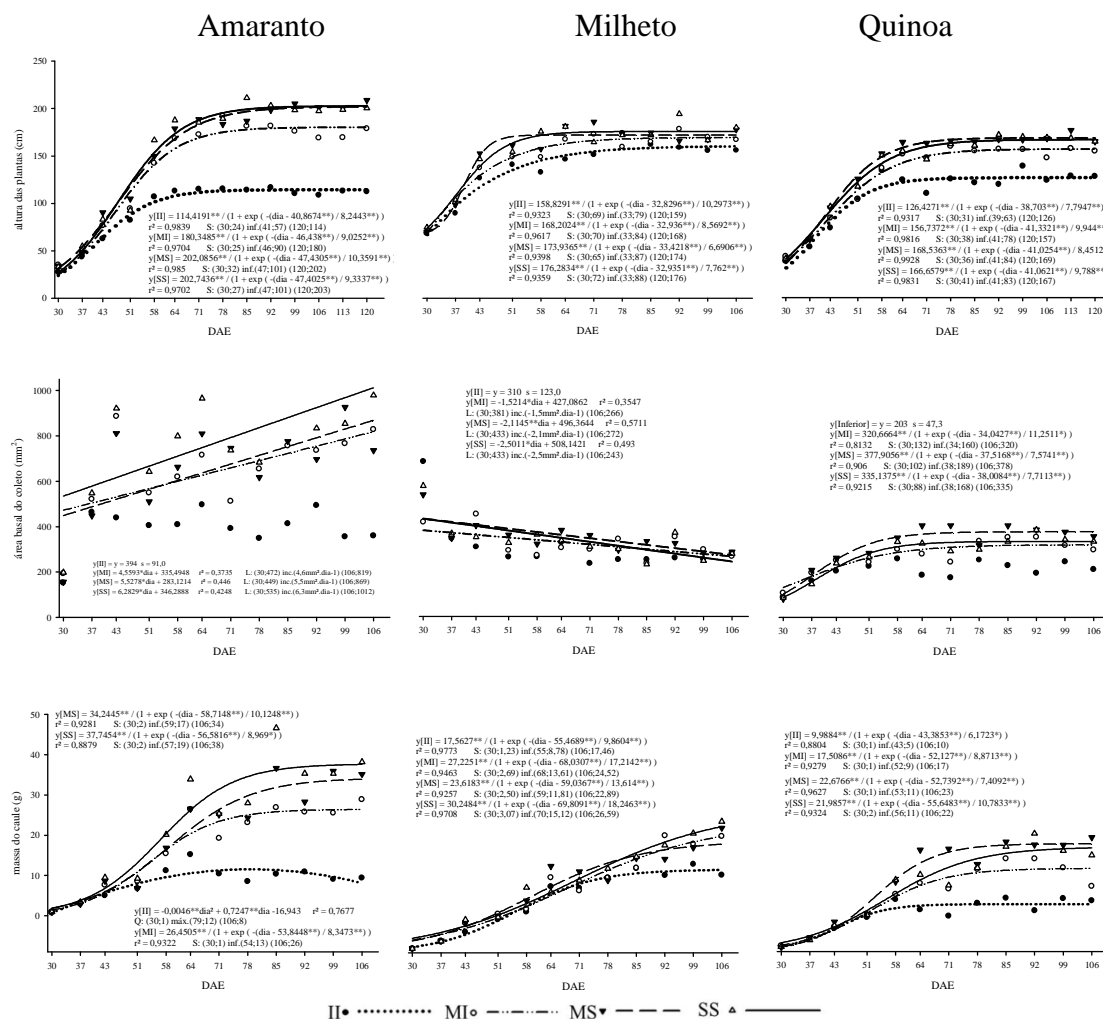


Figura 4. Regressão dos componentes vegetativos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Tabela 1. 5. Análise comparativa dos componentes vegetativos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável.

Cultura	Componentes vegetativos	Ordem	Ajuste	SS	MS	MI	II
Amaranto	Altura das plantas (cm)	SS=MS>MI>II	S	101	101	90	57
	Área basal do coleto (mm <sup>2</sup> )	SS>MS~MI>II	L/I	1012	869	819	394
	Massa do caule (g)	SS>MS>MI>II	S/Q	38	34	26	8
Milheto	Altura das plantas (cm)	SS~MS~MI>II	S	88	87	84	79
	Área basal do coleto (mm <sup>2</sup> )	SS<MS~MI<II	L/I	243	272	266	310
	Massa do caule (g)	SS~MI>MS>II	S	15	12	14	9
Quinoa	Altura das plantas (cm)	MS~SS~MI>II	S	83	84	78	63
	Área basal do coleto (mm <sup>2</sup> )	MS>SS~MI>II	S/I	335	378	320	203
	Massa do caule (g)	MS=SS>MI>II	S	11	11	9	5

A área basal do coleto teve comportamento ajustado distinto entre as culturas: comportamento sigmoidal para a quinoa, com destaque para o RH MS; comportamento linear crescente para o amaranto; e reduzidas diferenças entre os RHs associadas ao

decréscimo linear desse componente para o milho, em razão do aumento do perfilhamento que provocou alongamento na base de inserções foliares e redução do diâmetro do coleto (Figura 5); para o RH II o perfilhamento reduzido não promoveu alteração no diâmetro basal. A quinoa apresentou o ponto de inflexão dos ajustes sigmoidais o mais precoce (34-38 DAE), podendo indicar sensibilidade reduzida da área basal para os RHs variáveis iniciados aos 30 DAE.



Figura 5. Aumento do perfilhamento após a 3ª coleta na variedade BRS 1501 de milho provocando a redução do diâmetro do coleto.

O amaranto atingiu altura superior a dois metros nos RHs MS e SS. Estes valores foram maiores que os obtidos por Ferreira et al. (2014), em que os autores obtiveram altura máxima de 1,73 m, dependendo da densidade de plantas e dose de adubação nitrogenada, em condições de solo de Cerrado. A área basal do coleto no RH II ficou estagnada durante todo o ensaio, enquanto os RHs superiores apresentaram crescimento surpreendente para um caule com reduzida lenhosidade, a citar a estimativa final no RH SS do diâmetro de 0,036 m, superior ao diâmetro máximo 0,019 m mensurado por Ferreira et al. (2014).

O ponto de inflexão do comportamento sigmoidal para altura das plantas do milho foi uma característica da variedade (33 dias, o mais precoce quando comparada com o amaranto e a quinoa), coincidente com o início do RH variável. No período final da coleta a altura das plantas do milho foi semelhante entre os RH (média de 1,69 m), contudo a variedade BRS 1510 apresenta o potencial de atingir a altura de 1,80 m (Embrapa Milho e Sorgo, 2015b). Barreto et al. (2001) obtiveram diferença de 29% na altura para aplicação de estresse hídrico no milho durante 36 dias.



A massa do caule da quinoa apresenta o ponto de inflexão mais precoce entre os RHs (43 até 56 DAE), indicando ser a cultura com o ciclo mais determinado no período do ensaio.

Devido ao ciclo determinado, a quinoa e o amaranto apresentaram o comportamento quadrático para a maioria das medições foliares (Figura 6), com máxima retenção foliar entre 62 e 83 DAE para a quinoa, acúmulo máximo de massa entre 65 e 92 DAE para o amaranto e 63 e 68 DAE para a quinoa, área foliar máxima entre 60 e 72 DAE para o amaranto e 55 e 63 DAE para a quinoa e comprimento foliar máximo entre 63 e 69 DAE para o amaranto e 55 e 65 DAE para a quinoa. Aos 99 DAE as medições foliares da quinoa tenderam a zero independente do RH. O déficit hídrico apresentou precocidade para atingir os valores máximos das medições foliares de amaranto e quinoa, comparando com os regimes hídricos superiores. Os valores máximos das medições foliares foram associados ao RH SS para o amaranto e ao RH MS para a quinoa (Tabela 6). O RH MS proporcionou a quinoa no 106º DAE 40% a mais folhas retidas que os RHs MI e SS.

O milheto apresentou reduzidas variações entre os RHs para as medições foliares, o que pode ser um indicativo de tolerância à seca, com predominância de ajustes lineares crescentes para número e massa das folhas e decrescente para área foliar. O número de folhas no RH II preservou, em média, oito folhas em todo o período de coletas, enquanto os demais RHs acumularam 16 folhas até o final do ciclo. O número de perfilhos também apresentou incrementos lineares para os RHs MI, MS e SS totalizando cinco perfilhos estimado no final do ciclo enquanto o RH II manteve-se em média com três perfilhos.

O número de folhas para o amaranto apresentou comportamento sigmoidal com inflexão após 43 DAE nos RHs MI, MS e SS e superando 40 folhas no 106º DAE. O RH II teve comportamento quadrático com abscisão pronunciada após 71 DAE mantendo apenas 15 folhas no final da medição deste componente.

O aumento do número de folhas do amaranto no final da amostragem associado com redução da massa total é justificado pela senescência das maiores folhas (predominantes na fase vegetativa) e aumento do número de folhas na área apical, próximo da inflorescência. A área e o comprimento foliar apresentaram aos 67 DAE área superior a 1.500 cm<sup>2</sup> e comprimento foliar superior a 520 mm (antes da senescência das maiores folhas), sendo o dobro do comprimento quando comparado com a medição final deste componente. Em ensaio com o *A. cruentus* cultivado em casa

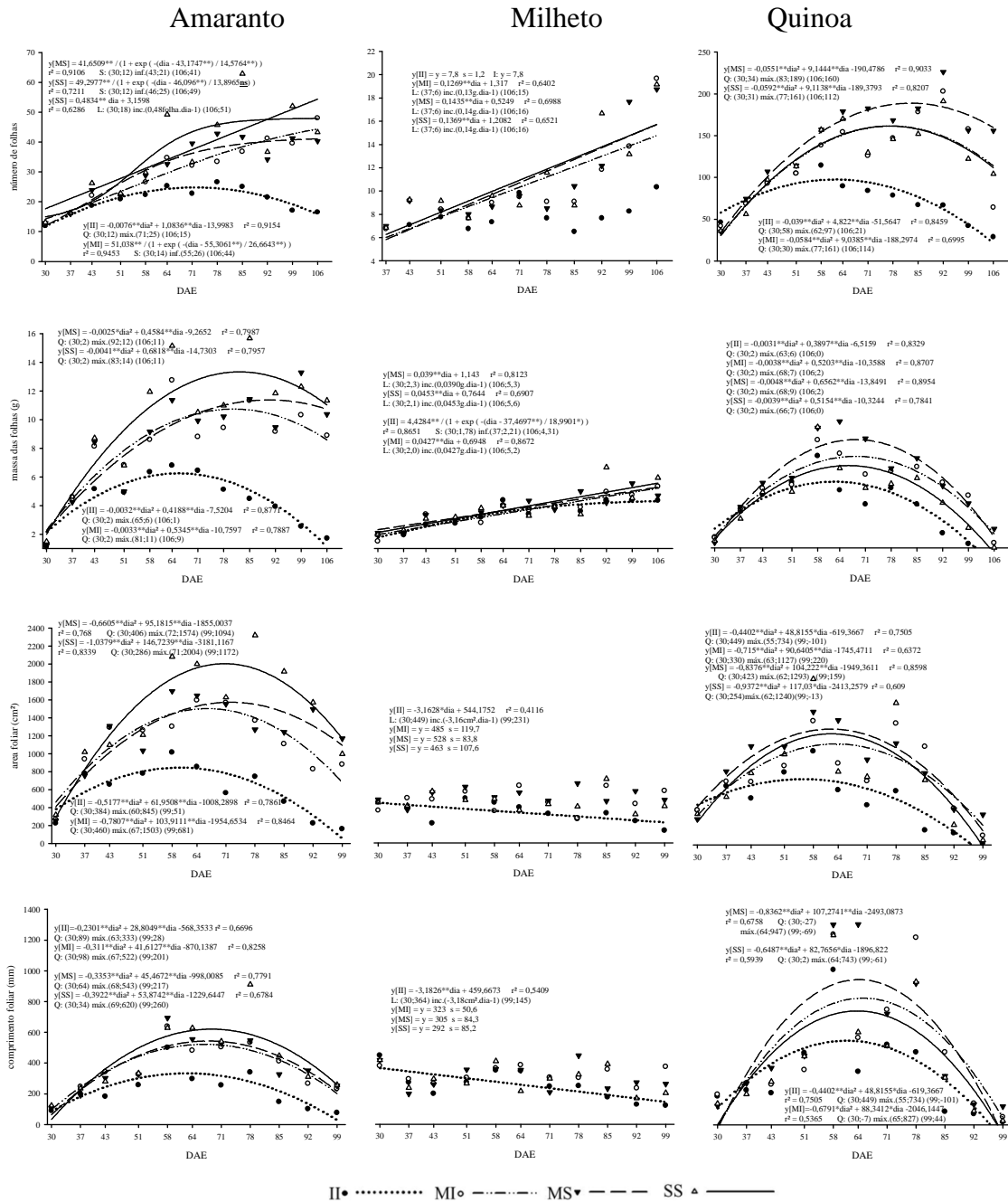


Figura 6. Regressão das medições foliares do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

de vegetação Liu e Stützel (2004) encontraram área foliar superior a  $1.200 \text{ cm}^2$  para a suficiência enquanto a deficiência hídrica reduziu a área foliar para intervalos entre  $500$  e  $900 \text{ cm}^2$ .

O RH II reduziu a área foliar do milho de  $449$  para  $231 \text{ cm}^2$  e o comprimento foliar de  $364 \text{ mm}$  para  $145 \text{ mm}$ . Nos demais regimes hídricos foi mantido durante todo período a média aproximada de  $492 \text{ cm}^2$  e  $307 \text{ cm}$ , respectivamente para a área e comprimento foliar. Barreto (2001) verificou que o tratamento sob estresse hídrico

(supressão da irrigação por 36 dias) promoveu redução de apenas 12% no comprimento foliar do milho.

Tabela 6. Análise comparativa das medições foliares do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável.

Cultura	Medições foliares	Ordem	Ajuste	SS	MS	MI	II
Amaranto	Número de folhas	MI~SS>MS>MI	S/Q	49	41	44	15
	Massa de folhas (g)	SS>MS~MI>II	Q	14	12	11	6
	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	SS>MS~MI>II	Q	2004	1574	1503	845
	Comprimento foliar (mm)	SS>MS~MI>II	Q	620	543	522	333
Milheto	Número de folhas	SS=MS~MI>II	L/I	16	16	15	8
	Massa de folhas (g)	SS~MS~MI>II	L/S	5,6	5,3	5,2	4,3
	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	MS~MI>SS>II	I/L	463	528	485	231
	Comprimento foliar (mm)	MI~MS~SS>II	I/L	292	305	323	145
Quinoa	Número de folhas	MS>SS=MI>II	Q	161	189	161	97
	Massa de folhas (g)	MS>SS=MI>II	Q	7	9	7	6
	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	MS~SS>MI>II	Q	1240	1293	1127	734
	Comprimento foliar (mm)	MS>MI>SS>II	Q	743	947	827	734

Sob déficit hídrico a redução da área foliar é considerada uma frequente resposta fisiológica derivada da inibição da expansão celular. Este mecanismo de adaptação conserva o suprimento de água no solo por período mais longo devido a redução da transpiração, todavia, sob déficit hídrico prolongando, é estimulada a abscisão foliar (MICKELBART et al., 2013).

O ponto máximo da massa de folhas da quinoa antecedeu o período com maior número de folhas. Isso ocorreu por causa da senescência pronunciada das maiores folhas, predominantes no início do ciclo, e aumento das folhas menores anexadas com as inflorescências e (figura 7), a ponto que apesar do número expressivo de 160 folhas no RH MS aos 106 DAE apresentar a massa de apenas duas gramas. A quinoa apresentou o ponto máximo mais precoce de todas as medições foliares (55-63 DAE), notadamente devido a ocorrência do polimorfismo e massa foliar variável ao longo do ciclo.

As análises dos componentes vegetativos e foliares do milho restringiram-se a medições do colmo principal visando comparar com uma planta dos pseudocereais. Contudo, o componente produtivo massa total da parte área aos 106 DAE (figura 8) destaca o milho (colmo principal e perfilhos) com maior biomassa (RH MS com 109 g e RH SS com 111 g, Tabela 7), seguido do amaranto (RH SS com 103 g) enquanto a quinoa acumulou o máximo de 62 g no RH MS, 25% superior ao RH SS.



Figura 7. Formas predominantes do folíolo apical: (a) predominantes nas inflorescências (a), intermediárias (b), predominantes no estágio vegetativo com 3 a 12 dentes. Adaptado de Spehar et al. (2014)

A aptidão forrageira do milho cultivado no inverno foi confirmada com a produção reduzida da massa de inflorescências (espigas) em relação a massa total da parte aérea: 18% entre os RHs do milho, inferior a 63% e 55% da razão comparada com o amaranto e a quinoa, respectivamente. Para o amaranto cultivado no verão também na Embrapa Cerrados, Ferreira et al. (2014) encontraram valores similares variando de 52% a 65%. O elevado acúmulo de massa na inflorescência apical do amaranto provocou acamamento acentuado nos RHs MI, MS e SS (Figura 9), apesar do pronunciado diâmetro do coleto; considerando a preservação no raleio de 10 plantas por metro sugere-se que outros ensaios avaliem a redução do número de plantas do amaranto na linha de semeadura e o aumento do número de plantas de quinoa considerando a massa reduzida de inflorescência (36 g no RH MS) comparada com o amaranto (72 g no RH MS).

Petter et al. (2013) avaliaram dois híbridos de milho e duas espécies de *Brachiaria* em casa de vegetação submetidos a quatro RHs em 30 DAE e finalizando o ensaio aos 65 DAE, e destacaram o acúmulo de biomassa do milho (60% no caule) e a superioridade no volume do sistema radicular comparado com as outras espécies. Também não houve diferenças estatísticas entre os RH para biomassa das plantas e suas partições (folhas, caule, raiz). O volume acentuado do sistema radicular do milho, que pode explorar maior volume do solo, inclusive em profundidade, auxilia na manutenção hídrica das plantas considerando que no RH II havia 15% de umidade no solo entre 0,10 e 0,30 m de profundidade (tabela 1).

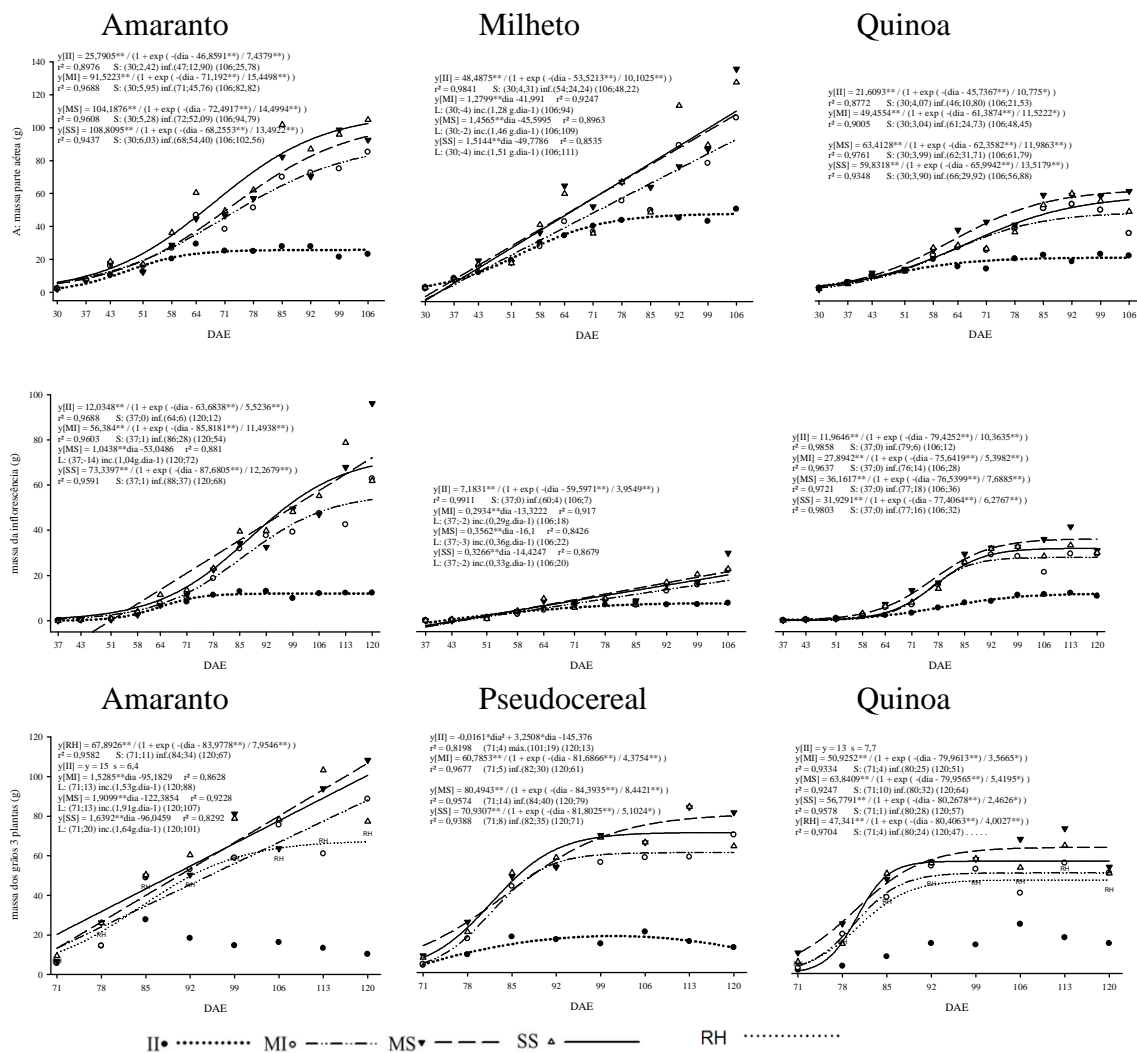


Figura 8. Regressão dos componentes produtivos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Tabela 7. Análise comparativa dos componentes produtivos do amaranto, milho e quinoa sob regime hídrico variável.

Cultura	Componentes produtivos	Ordem	Ajuste	SS	MS	MI	II
Amaranto	Massa parte aérea total (g)	SS~MS>MI>II	S	54,4	52,1	45,8	13
	Massa da inflorescência (g)	MS~SS>MI>II	S/L	68	72	54	12
	Massa dos grãos 3 plantas (g)	MS~SS>MI>II	L/I	101	107	88	15
Milheto	Massa parte aérea total (g)	SS~MS>MI>II	L/S	111	109	94	48
	Massa da inflorescência (g)	MS~SS>MI>II	L/S	20	22	18	7
Quinoa	Massa parte aérea total (g)	MS~SS>MI>II	S	30	32	25	11
	Massa da inflorescência (g)	MS>SS>MI>II	S	16	18	14	6
	Massa dos grãos 3 plantas (g)	MS>SS>MI>II	S/I	57	64	51	13
Pseudocereal	Massa dos grãos 3 plantas (g)	MS>SS>MI>II	S/Q	71	79	61	13



Figura 9. Acamamento do amaranto no RH MI aos 106 DAE.

O RH MS não teve ajuste sigmoidal para a massa da inflorescência do amaranto, diferindo dos demais RHs, pela não significância do coeficiente no numerador da equação, pois o comportamento dos dados apresentou tendência ao crescimento exponencial, coerente apenas com a primeira fase de uma curva sigmoidal. Optou-se pelo ajuste linear para o RH MS, que apresentou um incremento superior a um grama por dia.

A partir da coleta das inflorescências, foram extraídos os grãos do 71° até 120° DAE. Somente não houve ajuste sigmoidal para a massa dos grãos da quinoa no RH II, todos os demais RHs apresentaram o mesmo tempo para o ponto de inflexão (80 DAE) e o destaque da superioridade de 12% na massa dos grãos do RH MS comparado com o RH SS. A massa dos grãos do amaranto também não apresentou ajuste para o RH II e os demais RHs apresentaram incrementos lineares superiores a 1,5 gramas por dia, com destaque para o RH MS com 1,9 gramas por dia.

Incrementos lineares para o acúmulo da biomassa nos grãos do amaranto para os RH MI, MS e SS e também para inflorescência no RH MS indicam que a completa maturação dos grãos dessa espécie cultivada no inverno poderia ultrapassar os 120° DAE. Ferreira et al. (2014) obtiveram a completa maturação dos grãos aos 90 DAS, para a mesma variedade e local, quando cultivada no verão.

O crescimento sigmoidal para o acúmulo de massa de grãos de amaranto somente foi observado quando foi obtida a massa média de todos os RHs obtendo uma massa no final do ensaio de 67 gramas.

A reunião da massa de grãos dos pseudocereais (amaranto e quinoa) apresentou ajustes significativos para todos os RHs (figura 8) com coeficientes de determinação superiores para os RHs MI e MS, comparando com as culturas isoladas. No RH II os pseudocereais apresentaram comportamento quadrático, com acúmulo máximo de 19 gramas aos 101 DAE. Para os demais RHs o comportamento sigmoidal da quinoa foi determinante para ajustar o mesmo comportamento para os pseudocereais, mais razoável para explicar que o comportamento linear da massa de grãos do amaranto. O RH MS dos pseudocereais também se destaca acumulando 79 gramas aos 120 DAE (tabela 7).

A análise de todos os componentes avaliados apresenta o milho com reduzidas diferenças entre os RHs, porém o RH SS é ligeiramente superior perante os demais.

O amaranto apresenta superioridade do RH SS na maioria dos componentes (vegetativos e medições foliares), todavia a inflorescência e os grãos apresentam superioridade do RH MS.

Para a quinoa o RH MS é superior em todos os componentes avaliados, indicando que essa cultura pode ser sensível ao excesso de água ou exigente na aeração do solo, apesar das reduzidas diferenças na umidade do solo entre os RHs MS e SS até 0,30 m (Tabela 1).

Avaliações distintas do milho são apresentadas na figura 10 e tabela 8. A massa da parte aérea do colmo principal e as medições dos componentes associadas com o perfilhamento tiveram comportamentos semelhantes: predominância de ajustes lineares e o RH II inferior aos demais RHs. Apesar do intenso aumento no número de espigas apresentando o triplo comparado ao RH II, a massa média das espigas teve comportamento quadrático e alcançou o máximo entre 75 e 78 DAE, contudo todas as espigas eram estéreis (Figura 11).

Costa et al. (2005) observaram que o cultivo de milho no inverno prolonga o ciclo da cultura e reduz o crescimento e a massa devido à sensibilidade da espécie ao fotoperíodo e ao termoperíodo, justificando os vários componentes produtivos que apresentaram incremento linear até o 106º DAE. O aparecimento de plantas estéreis de milho foi verificado sob baixas temperaturas (13 a 16°C) no período de pré-floração (MASHINGAIDZE & MUCHENA, 1982).



No período de indução a floração do milho (43 a 60 DAE) foram registradas 115 horas de temperatura inferiores a 16°C (Figura 12), a maioria entre zero e sete horas da manhã. Portanto, a variedade BRS 1501 apresentou sensibilidade a baixas temperaturas inibindo a produção de grãos nas espigas.

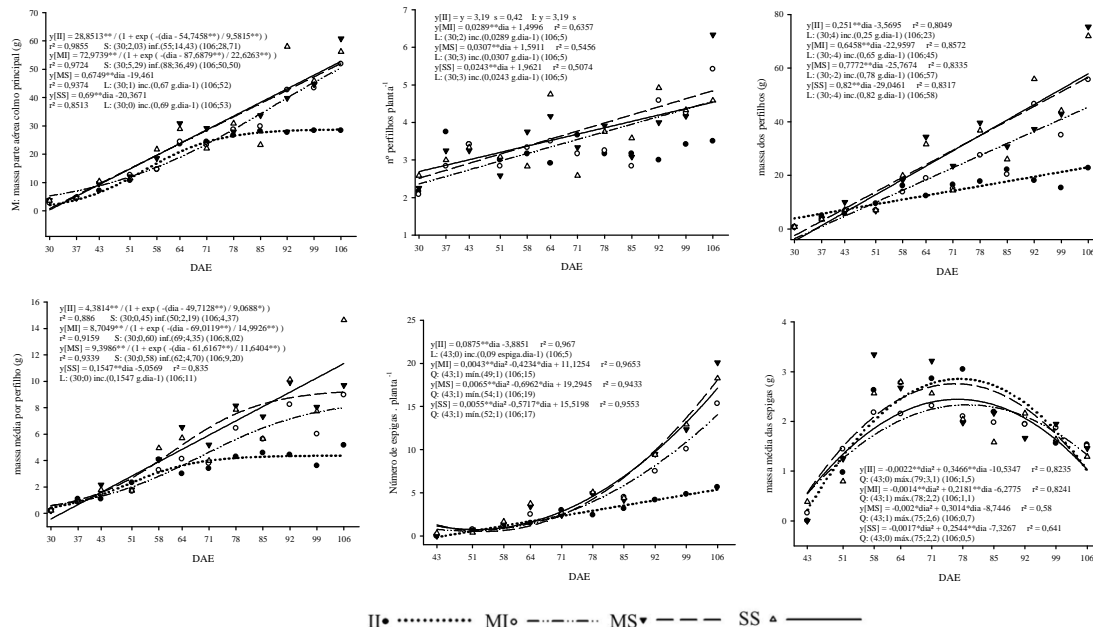


Figura 10. Regressão dos componentes específicos do milho sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Tabela 8. Análise comparativa dos componentes específicos do milho sob regime hídrico variável.

Componentes específicos do milho	Ordem	Ajuste	SS	MS	MI	II
Massa parte aérea colmo principal (g)	SS~MS~MI>II	L/S	53	52	51	29
Número de perfilhos	SS~MS~MI>II	L/I	5	5	5	3
Massa dos perfilhos (g)	SS~MS>MI>II	L	58	57	45	23
Massa média dos perfilhos (g)	SS>MS~MI>II	S/L	11	9,2	8	4,4
Número de espigas	MS>SS>MI>II	Q/L	17	19	15	5
Massa média das espigas (g)	SS~MI<MS<II	Q	2,2	2,6	2,2	3,1

De acordo com Ong e Monteith (1985), durante o segundo estágio de crescimento do milho, a determinação do número de flores viáveis nas espiguetas dependem do sistema reprodutivo identificar a taxa de crescimento favorável por unidade de tempo, que pode ser expressa em gramas de matéria seca por dia (ou megajoules por dia) e está fortemente correlacionada com a quantidade de radiação interceptada (determinação da oferta de assimilados) por planta e por período térmico (determinação da taxa de desenvolvimento) na antese.





Figura 11. Espigas estéreis de milho aos 63 DAE.

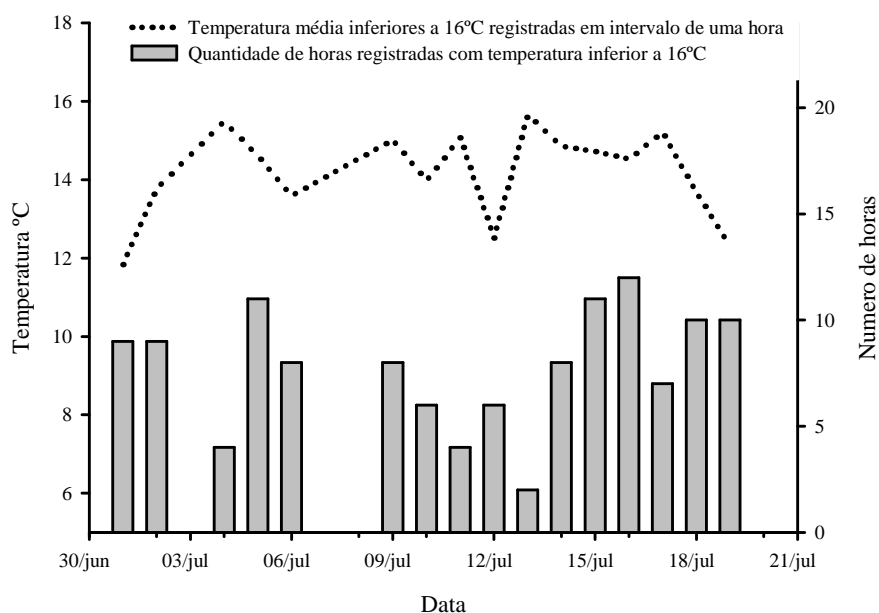


Figura 12. Registros horários da temperatura do ar inferiores a 16°C no período de 1º a 19 de julho e quantidade de horas das ocorrências, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

As diferenças reduzidas entre os RHs MI, MS e SS, o comportamento linear dos componentes produtivos (massa do colmo principal, massa dos perfilhos e massa da parte aérea) e a elevada formação de espigas estéreis são indícios que os fotoassimilados produzidos tiveram outros fatores limitantes além do RH, prolongando seu ciclo vegetativo a taxas constantes.

As diferenças entre os RHs foram reduzidas para o número de espigas, número de perfilhos, massa da parte aérea, massa do caule e área foliar para plantas de milho coletadas aos 120 DAE (Tabela 9). Houve diferença entre o RH MS e o RH II para

altura das plantas, número de folhas por perfilho, área foliar por perfilho, relação altura e área basal do coleto. A coleta de plantas de milho na bordadura externa do ensaio, denominada inferior extremo, associada com a menor lâmina aplicada (155 mm na figura 3) não apresentou diferenças significativas para a maioria dos componentes avaliados (RH 217 mm na figura 3); para as plantas de milho localizadas no RH inferior extremo com a menor lâmina aplicada no ensaio apresentou redução apenas para dois componentes foliares comparando com o RH II: número de folhas por perfilho e a área foliar.

Tabela 9. Características vegetativas e componentes produtivos da média de 10 plantas inteiramente ao acaso de milho sob e regime hídrico variável aos 120 DAE na Embrapa Cerrados, Brasília (Planaltina), DF.

Regime hídrico	Altura da planta (cm)	Número de folhas/perfilho	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Área foliar (cm <sup>2</sup> )/perfilho	Número de perfilhos
Média superior	145,97 a	14,96 a	254,63 a	24,76 a	6,60 a
Superior	142,75 ab	13,94 ab	231,76 a	18,41 ab	4,80 a
Média Inferior	135,25 abc	12,71 ab	220,48 a	17,80 ab	5,60 a
Inferior	114,19 c	9,26 bc	207,63 a	17,19 b	5,40 a
Inferior extremo	118,62 bc	5,25 c	89,35 b	14,26 b	4,20 a

Regime hídrico	Relação massa caule/total(%)	Relação altura/coleto	Massa total do caule(g)	Massa total da parte aérea (g)	Número de espigas
Média superior	65,08 a	21,08 a	77,80 a	126,00 a	6,70 a
Superior	63,28 ab	18,87 ab	61,40 ab	96,80 ab	5,92 a
Média Inferior	60,28 ab	17,39 ab	61,40 ab	94,80 ab	4,43 ab
Inferior	59,20 ab	16,70 b	50,80 ab	80,80 ab	3,96 ab
Inferior extremo	58,55 b	14,84 b	32,00 b	50,40 b	1,38 b

Fonte de variação	Lâmina(L)	Repetição	Perfilho	Resíduo	CV (%)	n
Altura da planta	5455,23 **	753,76	7163,36	1127,86	25,37	133
Número de folhas/perfilho	370,87 **	26,83	123,88	43,25	56,98	133
Área foliar	91565 **	53719	83717	15599	60,91	133
Área foliar /perfilho	380,54 **	343,09	218,67	95,00	52,61	133
Número de espigas	103,79 **	10,04	31,30	16,16	85,83	133
Relação massa caule/total(%)	193,29 *	40,71	432,24	58,99	12,61	133
Relação altura/coleto	163,74 **	89,75	37,18	30,23	30,70	133
Massa total do caule(g)	237,74 *	23,44		75,27	39,36	25
Massa total da parte aérea (g)	3772,24 *	405,34		811,77	31,74	25
Número de perfilhos	4,06 ns	2,26		2,39	29,03	25

1 – Médias seguidas pelas mesmas letras são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para a variedade BRS 1501, o florescimento é previsto aos 50 dias e a maturação aos 120 dias (Embrapa Milho e Sorgo, 2015a). Não foi possível estender as medições após o mês de setembro (120 DAE) para o ensaio cultivado no inverno

(implantado em maio) devido à possibilidade de ocorrência de chuvas no mês de outubro.

Costa et al. (2005) destacaram a aptidão do BRS 1501 para produção de biomassa e grãos na seca comparando com outras quatro variedades de milho. Nesse ensaio com semeadura em março na região de Seropédica-RJ, provavelmente, a variedade BRS 1501 não foi submetida a baixas temperaturas na fase de indução floral.

Os modelos lineares foram predominantes para explicar o comportamento do milho nas coletas mediadas no tempo, com coeficiente de determinação médio de 0,73 (Tabela 10). Para o amaranto e a quinoa, o comportamento foi explicado principalmente pelos modelos sigmoidais seguido dos modelos quadráticos.

Tabela 10. Compilação dos modelos e coeficiente de determinação ( $r^2$ ) ajustados para o amaranto, milho e quinoa nos componentes vegetativos, produtivos e medições foliares.

Cultura	Número de modelos					Média do coeficiente de determinação ( $r^2$ )		
	Indeterminado	Linear	Quadrático	Sigmoidal	Total	Linear	Quadrático	Sigmoidal
Amaranto	2	7	14	17	40	0,72	0,81	0,93
Milho	9	28	7	16	60	0,73	0,84	0,95
Quinoa	2		16	22	40		0,75	0,94
Total	13	35	37	55	140	0,73	0,80	0,94

Considerando o início do line source aos 30 DAE, observou-se que a média do ponto de inflexão dos ajustes sigmoidais de 14 componentes associados ao RH II incidiu aos 50 DAE, enquanto nos demais RHs ocorreram em média aos 59 DAE. Isso pode ser indício que o suprimento adequado de água favorece o período de incremento dos componentes avaliados a taxas crescentes; e no final do ensaio a média dos componentes avaliados sob ajuste sigmoidal nos RHs MI, MS e SS superaram em 225% os valores apresentados no RH II.

O crescimento e a biomassa das plantas podem ser assimétricos e representados pela função Gompertz (Purves & Law, 2002; Damgaard & Weiner, 2008; Lv et al., 2008) ou Richards (1959), contudo a elevada média obtida para os coeficientes de determinação dos modelos sigmoidais simétricos ajustados neste ensaio (0,94) é suficiente para comparar com os modelos lineares (0,73) e quadráticos (0,80).

Rodriguez et al. (2011) avaliou a dinâmica do crescimento do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) no campo na estação chuvosa (1.071 mm) e na estação seca (200 mm), em Cuba, testando modelos lineares e não lineares para altura da planta e a massa seca da planta. O comportamento foi distinto para as estações avaliadas: o modelo de Gompertz (sigmoidal assimétrico) apresentou melhor ajuste para os 12

períodos de coleta de dados na estação chuvosa enquanto o modelo logístico (sigmoidal simétrico) foi melhor para representar o comportamento nas 10 coletas de dados da estação seca e preferindo os modelos lineares.

Não houve efeito significativo dos RHs para número de nós vegetativos e conteúdo relativo de água (CRA) (Figura 13).

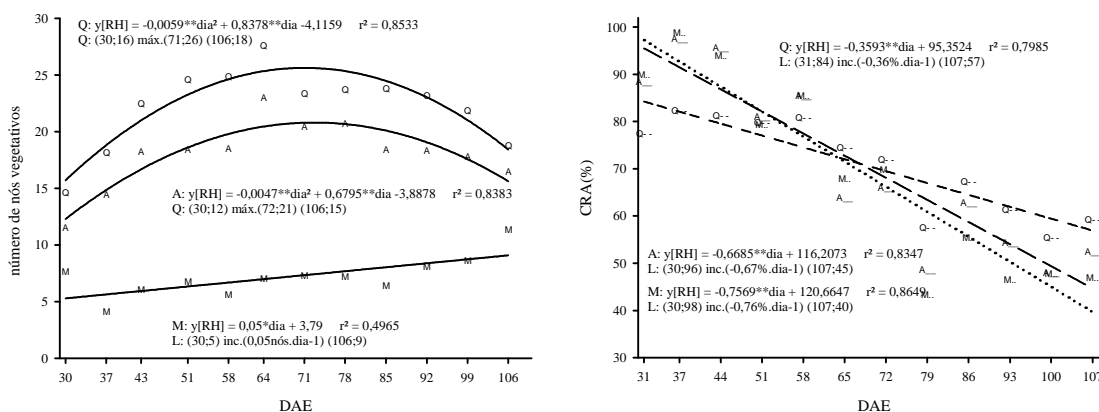


Figura 13. Regressão dos números de nós com folhas anexadas e o CRA para a interação do amaranto, milheto e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

O número de nós do amaranto com folhas anexadas apresentou comportamento quadrático correlacionado com o número de folhas (Figura 6) na fase vegetativa uma vez que é uma característica da espécie gerar inicialmente uma folha para cada nó, atingindo o máximo de 21 nós aos 72 DAE. Com o aparecimento da inflorescência (Figura 8), ocorreu aumento do número de folhas do amaranto além do número de nós vegetativos.

O número de nós com folhas anexadas de quinoa teve comportamento quadrático, atingindo o máximo de 26 nós vegetativos por planta aos 71 DAE, independente do RH. A relação estimada entre número de folhas de quinoa (Figura 6) por nó é de quatro folhas no RH II e seis a sete folhas nos demais RH.

O número de nós no colmo principal do milheto teve incremento linear, com cinco nós no início e nove nós no final da amostragem, independente do RH. Barreto et al. (2001) também obtiveram aumento de cinco nós apenas para o tratamento sem estresse hídrico.

Para o CRA das folhas do amaranto foi observada uma tendência de redução linear de 0,67% ao dia, atingindo 50% no final do período. Slabbert et al. (2011) encontraram decréscimos acentuados atingindo 33% de CRA para as folhas do amaranto no 18º dia após interromperem a irrigação em casa de vegetação. A

preservação do CRA entre os RHs desse ensaio pode ser indicativo de tolerância a seca do amaranto. Liu e Stützel (2002) verificaram diferenças estatísticas mais significativas para a razão massa seca e massa turgida do amaranto submetidos a diferentes RH do que a determinação do CRA e destacaram a elevada capacidade desta planta para ajustamento osmótico.

A quinoa foi a que mais preservou o CRA nesse ensaio. Foi observada tendência de redução linear de 0,36% ao dia, atingindo no final do período 60% de CRA, que pode ser um indicativo de tolerância a seca.

O CRA do milho apresentou tendência de reduzir linearmente 0,76% ao dia, atingindo 46% no final do período, o menor conteúdo entre as plantas testadas.

Optou-se por analisar o conteúdo de Índice Falker© de Clorofila (IFC) das plantas independente do RH (Figura 14).

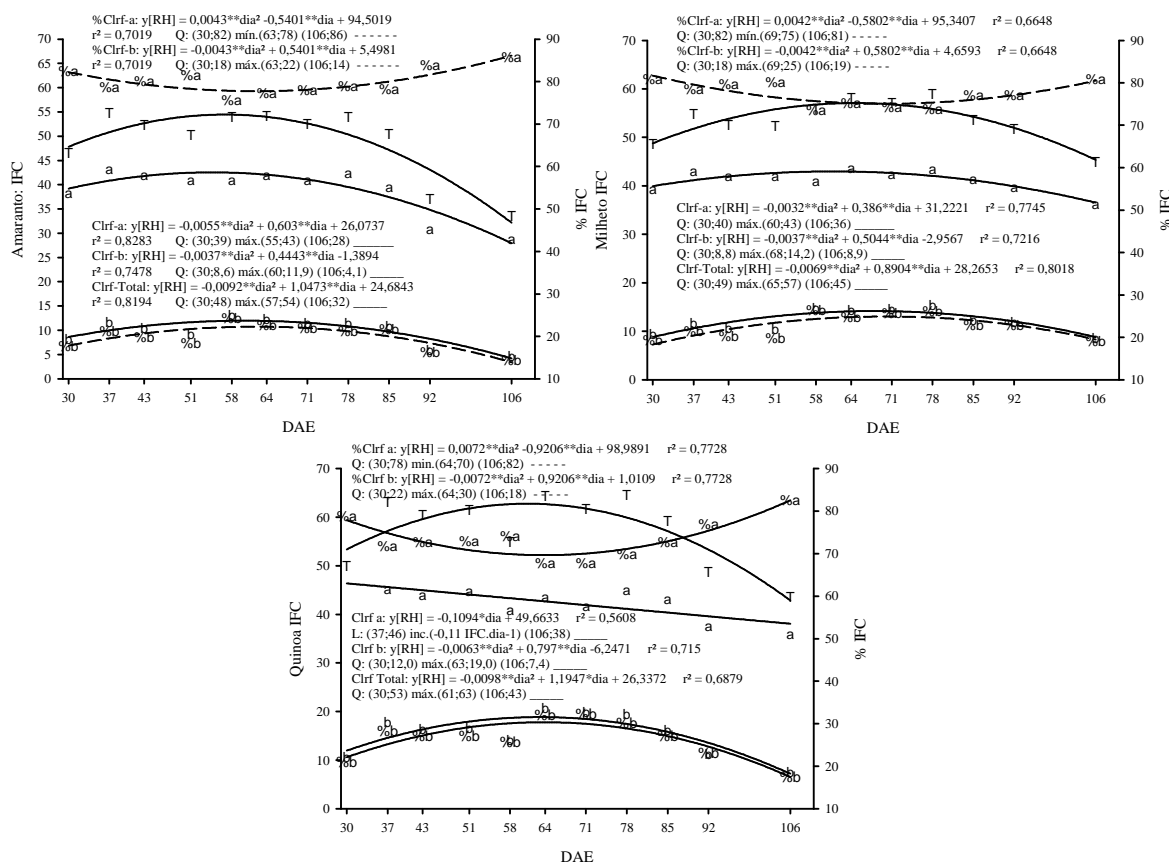


Figura 14. Regressão do conteúdo do IFC para interação do amaranto, milho e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

No amaranto, a clorofila *a* apresentou menos variações durante os períodos de coleta, ocorrendo o aumento isolado com o máximo no 55° DAE (43 IFC) enquanto sua participação na clorofila *total* decresce até atingir o mínimo no 63° DAE (78% de clorofila *a*), enquanto o percentual da clorofila *b* (máximo de 22%) apresenta mais

oscilações durante o ciclo que garante o efeito quadrático para a clorofila *total* passando por um máximo no 57° DAE (54 IFC).

A clorofila *a* da quinoa também apresentou variação reduzida ao longo do ciclo (46 a 38 IFC) representado pelo decréscimo linear de 0,11 IFC ao dia e, conseqüentemente, reduzida variação no percentual de clorofila *a* (70 a 82%), passando por um mínimo de 70% aos 64 DAE. A clorofila *b* e o percentual de clorofila *b* variaram de 7,4 (18%) a 19 (30%) IFC e apresentaram comportamento quadrático com o valor máximo aos 63 e 64 DAE respectivamente; a oscilação durante o ciclo da quinoa da clorofila *b* superior a clorofila *a* determinou o comportamento quadrático para a clorofila total (63 a 43 IFC).

No milho a clorofila *a* apresenta menos variações durante os períodos de coleta, ocorrendo o aumento isolado com o máximo no 60° DAE (43 IFC) enquanto sua participação na clorofila total decresce até atingir o mínimo no 69° DAE (75%), indicando que a clorofila *b*, mesmo com participação de 25% na clorofila total, apresenta mais oscilações que garantem o efeito quadrático para a clorofila total passando por um máximo no 65° DAE (57 IFC).

Comparando as plantas, a maioria das medições de clorofila são representadas por funções quadráticas passando por um ponto máximo (Tabela 11). Somente o percentual de clorofila *a* possui a função quadrática passando por um ponto mínimo, devido as oscilações menores comparadas com a clorofila *b*. A maior concentração de clorofila *b* da quinoa está associada ao menor percentual de clorofila *a* comparada com o amaranto e o milho. A quinoa também apresenta o maior valor absoluto de clorofila *a*. O milho apresentou as menores oscilações entre as medições no tempo enquanto o amaranto apresenta a maior degradação de clorofila no final do ciclo.

Oliveira et al. (2014) encontraram IFC diferentes para o feijão fava apenas em um terço dos tratamentos com estresse hídrico até 48 DAE e ausência de diferenças do IFC no 60° e 80° DAE. Petter et al. (2013) também encontraram elevada variabilidade do IFC para cinco plantas de cobertura em casa de vegetação sob quatro RHs e justificam que a variabilidade na medição deve-se ao fato dos medidores portáteis determinarem valores da clorofila por unidade de área (radiação transmitida em três comprimentos de luz através da clorofila) favorecendo duas distorções: da ausência de déficit hídrico para o déficit hídrico moderado a redução da turgescência das folhas (potencial hídrico) concentra as células e cloroplastos por unidade de área; e para o

déficit hídrico pronunciado os valores decrescem pela redução no número de células ativas com cloroplastos e podem aproximar dos valores medidos de folhas turgidas.

Tabela 11. Conteúdo do IFC para interação do amaranto, milho e quinoa com as coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

IFC	Posição	Amaranto	Milho	Quinoa
Clorofila <i>a</i> (Quadrático: Amaranto e Milho; Linear: Quinoa)	Inicial	39	40	46
	Máximo	43	43	
	Final	28	36	38
Clorofila <i>b</i> (Quadrático)	Inicial	8,6	8,8	12
	Máximo	11,9	14,2	19
	Final	4,1	8,9	7,4
Clorofila Total (Quadrático)	Inicial	48	49	53
	Máximo	54	57	63
	Final	32	45	43
% Clorofila <i>a</i> (Quadrático)	Inicial	82	82	78
	Mínimo	78	75	70
	Final	86	81	82
% Clorofila <i>b</i> (Quadrático)	Inicial	18	18	22
	Máximo	22	25	30
	Final	14	19	18

## 1.4 CONCLUSÃO

1. A dinâmica de crescimento das plantas foi variável com os RHs adotados.
1. O ciclo do amaranto e do milho é prolongado no inverno.
2. A densidade de plantas do amaranto BRS Alegria cultivado no inverno deve ser inferior a 10 plantas por metro para evitar o acamamento.
3. O aumento da densidade de plantas de quinoa pode proporcionar aumento da produtividade.
4. O amaranto é a planta mais exigente de recursos hídricos, que apresenta maiores respostas com o RH SS e maior degradação de clorofila no final do ciclo.
5. A quinoa apresenta boa tolerância a seca, maior resposta com o RH MS e maior preservação do CRA no final do ciclo.
6. O milho BRS 1501 apresenta sensibilidade térmica para cultivo no inverno, inviabilizando a produção de grãos, contudo excepcional aptidão para produção de biomassa, inclusive sob déficit hídrico pronunciado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. A. N de; FERNANDES, G. de C. Cereais integrais na alimentação infantil **International Journal of Nutrology**, Catanduva v.4, n.3, p.46-52, set-dez. 2011.
- ASSAD, E.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; DE CASTRO, L. H. R.; DA SILVA, F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros, frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.993-1003. 1993.
- BARRETO, G. P.; LIRA, M. DE A.; SANTOS, M. V. F. DOS; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. Avaliação de Clones de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um Híbrido com o Milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Submetidos a Estresse Hídrico. 1. Parâmetros Morfológicos. **Rev. bras. zootec.**, v.1, n. 30, p. 1-6, 2001.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **J. Biol. Sci.** n. 15, p. 413-428. 1962.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO; S. R. Produtividade de fitomassa e relação c/n de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.
- CARVALHO, L. C. C.; SILVA, F. M. da; FERRAZ, G. A. e S.; SILVA, F. C. da Análise espacial do teor de argila e umidade gravimétrica, em diferentes camadas de profundidade, em um Latossolo Vermelho distrófico. **Nucleus**, v.11, n.2, out. 2014
- CASTRILLÓN-ARBELÁEZ, P. A.; DÉLANO-FRIER, J. P. Respuestas moleculares y bioquímicas inducidas en *Amaranthus cruentus* L. en respuesta a la defoliación por insectos herbívoros. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 7, p. 85-97.



- CATELAN, F. **Avaliação de grãos de milho (*Pennisetum glaucum*) na alimentação de coelhos em crescimento**. 2010. 52 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- COSTA, A. C. T.; GERALDO, J.; PEREIRA, M. B.; PIMENTEL, C. Unidades térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1171-1177, dez. 2005.
- COSTA, A. C. T.; PRIESNITZ, R. Influência do arranjo espacial do milho em relação aos estádios fenológicos e unidades térmicas. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 07, n. 01, p. 37 – 47, jan.-abr. 2014.
- COSTA, D. M. A. da; BORGES, A. S. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Holos**, Natal, v.21, n. 1, p. 97-111, maio 2005.
- DAMGAARD, C; WEINER, J. Modeling the growth of individuals in crowded plant populations. **Journal of Plant Ecology**. v. 1, n. 2, p. 111-116, 2008.
- DEBSKI, B.; GRALAK, M. A.; BERTRANDT, J.; KŁOS, A. Minerals and polyphenols content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant. **Probl. Hig. Epidemiol.** v. 94, n. 2, p. 300-304, 2013.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. **Milho - BRS 1501**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/233/milho---brs-1501>>. Acesso em: 01 dez. 2015a.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. **Variedade de milho BRS 1501**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/br1501.html>>. Acesso em: 01 dez. 2015b.
- EMBRAPA. **Software para uso eficiente da água e economia na irrigação em cultivos no Cerrado**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2395/software-para-uso-eficiente-da-agua-e-economia-na-irrigacao-em-cultivos-no-Cerrado>>. Acesso em: 23 fev. 2016.
- ESCOBEDO-LÓPEZ, D; GARAY, A. V. A; SILVA, L. G. C. Formas de consumo del amaranto en Mexico. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 24, p. 341-354.
- FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Equipamento eletrônico portátil para medição do teor de clorofila em plantas**, BUAES, A.G.; DELVAN, F.H ; SILVA, M.A.M. Patente Brasileira, Int. Cl. G01N 21/25, BR PI0705579-0 AZ, 09/12/2008.
- FAO. **The world sorghum and millet economies. Facts, trends and outlook**. FAO, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w1808e/w1808e00.htm#Contents>> Acesso em: 03 ago. 2013.
- FERREIRA, C. C; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; SPEHAR, C. R.; FARIAS, T. R. R. Efeito da densidade de semeadura e doses de nitrogênio sobre a produtividade e biometria de amaranto, no Cerrado do Planalto Central. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 534-546, out. 2014.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista symposium**. v. 6, n. 2, p 36-41, jul. 2008.
- GARAY, A. V. A; ESCOBEDO-LÓPEZ, D; ESPINOSA, L. C.; RANGEL, E. E. El cultivo de amaranto en México, descripción de la cadena, implicaciones y retos. In:

RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 22, p. 315-330.

GARCIA, J. C.; DUARTE, J. O. **Cultivo do Milheto – Importância Econômica. Embrapa Milho e Sorgo: Sistemas de Produção**. n. 3, set. 2009. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto\\_4\\_ed/economia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_4_ed/economia.htm)>. Acesso em: 03 ago. 2013.

GOMES, P. C.; RODRIGUES, M. P.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, M. F. M.; MELLO, H. H. de C.; BRUMANO, G. Determinação da composição química e energética do milheto e sua utilização em rações para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p. 1617-1621, 2008.

GUIMARÃES-JÚNIOR, R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S. **Utilização do milheto para produção de silagem**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 30 p. (Documentos, 259).

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

JAYME-OLIVEIRA, A.; JAKELAITIS, A.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; LIMA, C. A.; RAMOS, M. L. G. Análise exploratória sobre a disposição dos produtores rurais do sudoeste goiano adotarem cultivos alternativos na safrinha. In: II Congresso de Pesquisa e Pós Graduação – Pesquisa e Desenvolvimento Regional: um desafio de todos! 2013, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde: Câmpus Rio Verde IFGoiano, 2013.

KHAN H.R.; PAULL J.; SIDDIQUE K.H.M.; STODDARD F.L. Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective. **Field Crops Research**, v.115, n.3, p. 279-286, 2010.

KOZIOL, M. J. Composición química. In: WAHLI, C. **Quinoa hacia su cultivo comercial**. Quito: Latinreco, 1990. p. 137-159.

KRÓLICZEWSKAB, B.; ZAWADZKIB, W.; OPALIŃSKIA, S.; SKIBAC, T. Effect of extruded amaranth grains on performance, egg traits, fatty acids composition, and selected blood characteristics of laying hens. **Livestock Science**. v. 155, n. 2–3, p. 308–315, ago, 2013.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientiae Horticulture**, n. 102, p. 15–27, 2004.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. **Europ. J. Agronomy**, v. 16, p. 137–150, 2002.

LÓPEZ, A. M. Amaranto (*Amaranthus* spp.), planta ritual mesoamericana. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 1, p. 3-13.

LV, Q.; SCHNEIDERB, M. K.; PITCHFORDA, J. W. Individualism in plant populations: Using stochastic differential equations to model individual neighbourhood-dependent plant growth. **Theoretical Population Biology**. V. 74, n. 1, p. 74–83, ago. 2008.

MASHINGAIDZE, K.; MUCHENA, S. C. The induction of floret sterility by low temperatures in pearl millet (*Pennisetum typhoides* (Burn) Sjah and Hubfard). **Zimbabwe Journal of Agricultural Research**, Cawseway, v. 20, p. 29-37, 1982.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M. PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. da Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, jul.-set., 2009.

MICKELBART, M. V.; HASEGAWA, P. M.; SALT, D. E. Respostas e adaptação ao estresse abiótico – as mudanças fenotípicas na estrutura e no comportamento foliares são importantes respostas ao estresse. Tradução de Paulo Luiz Oliveira. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. cap. 26, p. 763-767.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Introduction. In \_\_\_\_\_. **Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop**. 1. ed. Washington: National Academy Press, 1984. p. 1-13.

NAVAS, M. L., GARNIER, E. Plasticity of whole plant and leaf traits in *Rubia perigrina* in response to light, nutrient and water availability. **Acta Oecologica**, v. 23, n. 6, p. 375-383, dez. 2002.

OCAMPO, J. A. H; ROSA, A. P. B de la Caracterización bioquímica y estructural de las proteínas de reserva de amaranto. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnología**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 20, p. 293-302.

OLIVEIRA, A. E. S.; SIMEÃO, M. MOUSINHO, F. E. P.; GOMES, R. L. F. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Holos**, v. 30, n.1, p. 143-151, 2014.

ONG, C.K.; MONTEITH, J.L. Response of pearl millet to light and temperature. **Field Crops Research**, n. 11 141-160. 1985.

PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milheto – Apresentação**. Embrapa Milho e Sorgo: Sistemas de Produção. n. 3, set. 2009. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto\\_4\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_4_ed/index.htm)>. Acesso em: 06 ago. 2013.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M.; PIAULINO, A. C.; XAVIER, Z. F.; SANTOS, J. M.; MIRANDA, J. M. S. Desempenho de plantas de cobertura submetidas à déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3307-3320, 2013.

PURVES D. W.; LAW, R. Experimental derivation of functions relating growth of *Arabidopsis thaliana* to neighbour size and distance. **Journal of Ecology**. n. 90, p. 882-894, 2002.

RAZAEL, J.; Y. ROUZBEHAN, Y.; FAZAELI, H.; ZAHEDIFAR. M., Carcass characteristics, non-carcass components and blood parameters of fattening lambs fed on diets containing amaranth silage substituted for corn silage. **Small Ruminant Research**, v. 114, n. 2, p. 225-232, set. 2013.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**. v. 10, n. 2, p. 290-301, 1959.

RODRIGUEZ, L.; TORRES, V.; MARTÍNEZ, R. O.; JAY, O.; NODA, A. C.; HERRERA, M. Models to estimate the growth dynamics of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 4, p. 349-354, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SENNINGER. Xi-Wob© Wobblor. In: \_\_\_\_\_. **Irrigação Mecanizada: Baixa pressão – alto desempenho**. Clermont-Florida: Senninger Irrigation Inc., 2012. p. 5. Disponível em: <<http://www.senninger.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/Pivot-UP3-Catalog-Portuguese.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2016.

SILVA, A. Z.; JACOBSEN, S. E. ; RAZZAGHI, F.; FLORES, R. A. ; RUIZ, K. B. ; MORALES, A. ; SILVA, H. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. In: BAZILE, D.; BERTERO, D.; NIETO, C. **Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013**. Santiago do Chile: FAO, 2014. p. 2 – 22.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016 (no prelo).

SLABBERT, M. M.; KRÜGER, G. H. J. Assessment of changes in photosystem II structure and function as affected by water deficit in *Amaranthus hypochondriacus* L. and *Amaranthus hybridus* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, p. 978-984, 2011.

SPEHAR, C. R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 41-62, jan.-abr. 2006.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Avances y desafíos de la producción y utilización de la quinua en Brasil. In BAZILE, D, et al. **Estado del arte de la quinua em el mundo em 2013**. Santiago/Montpellier: FAO/CIRAD, 2014. p. 681-706.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. S. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 889-893, jun. 2002.

SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L.; CABEZAS, W. A. R. L.; ERASMO, E. A. L. Amaranto BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 659-663, maio 2003.

SPEHAR, C. R.; TRECENZI, R. Desempenho agrônômico de espécies tradicionais e inovadoras da agricultura em semeadura de sucessão e entressafra no Cerrado do planalto central brasileiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 102-111, jan-fev. 2011.

TAPIA, M. E. El largo camino de la quinoa: ¿Quiénes escribieron su historia? In BAZILE, D, et al. **Estado del arte de la quinua em el mundo em 2013**. Santiago/Montpellier: FAO/CIRAD, 2014. p. 3-10.

TEIXEIRA, D. L.; SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 45-51, jan. 2003.

## CAPÍTULO II - PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO NA ENTRESSAFRA DE AMARANTO E QUINOA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO.

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi propor um calendário para viabilizar o cultivo de amaranto e quinoa na entressafra no Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo a parcela principal as lâminas de água e a subparcela as culturas de amaranto e quinoa.

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina – DF) sob Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado. Durante os primeiros 30 dias após a emergência, a irrigação foi uniforme (148 mm) e, a partir deste período, as parcelas foram submetidas a irrigação em níveis (line source modificado).

A produção de grãos foi quantificada mediante 16 subdivisões das lâminas para cada lateral da barra irrigadora permitindo o cálculo da eficiência da água aplicada e a produtividade marginal. Foi obtido ao ajuste sigmoidal para evolução da produtividade dos grãos em função das lâminas crescentes objetivando comparar com a oferta hídrica em 4 épocas de semeadura no período da safrinha de acordo com a série histórica de precipitação de 2004 a 2013 da estação climatológica da Embrapa Cerrados.

O amaranto foi a cultura mais exigente em água, podendo atingir até 1250 kg ha<sup>-1</sup> para a primeira época e tolerar a semeadura até 7 de março com a redução de produção para 600 kg ha<sup>-1</sup>. A quinoa pode atingir 2220 kg ha<sup>-1</sup> na primeira época e 780 kg ha<sup>-1</sup> se a semeadura ocorrer em 14 de março. Não é recomendada a semeadura dos pseudocereais após 14 de março.

**Palavras-chave:** *Amaranthus cruentus*, *Chenopodium quinoa*; estresse hídrico; safrinha; line source modificado

## CHAPTER II - PROPOSAL FOR OFFSEASON CULTIVATION OF AMARANTH AND QUINOA ON AN OXISOIL OF CERRADO.

**Abstract:** The objective was to propose a timetable to enable the cultivation of amaranth and quinoa during offseason in the Cerrado. The experimental design was a randomized block with split plot design with four replications, where the plot was water slides and the subplot amaranth and quinoa cultivation. The study was carried out in the experimental area of Embrapa Cerrados (Planaltina - DF) under Cerrado Rhodic Hapludox (Oxisol), clayey, A moderate. During the first 30 days after emergence, irrigation was uniform (148 mm) and, from this period, they were submitted to irrigation levels (modified line source). Grain production was quantified by 16 subdivisions of the blades to each side of the irrigating bar allowing the efficiency calculation of the applied water and the marginal productivity. A sigmoidal adjustment was obtained for development of grain yield in function of the growing blades aiming to compare with the water supply in four sowing times in the period of off-season according to the historical series of precipitation from 2004 to 2013 in the climatological station of Embrapa Cerrado. Amaranth was the crop with the most water demanding and can reach up to 1250 kg ha<sup>-1</sup> for the first time and tolerate sowing until March 7 to reducing production to 600 kg ha<sup>-1</sup>. Quinoa can reach 2220 kg ha<sup>-1</sup> in the first season and 780 kg ha<sup>-1</sup> if the sowing occurs on March 14. It is not recommended sowing of pseudo cereals after March 14.

**Key words:** *Amaranthus cruentus*, *Chenopodium quinoa*, hydric stress, off-season; line source modified.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de milho em sucessão da soja tem sido uma prática habitual na agricultura empresarial, amparadas pelo apoio de organizada cadeia agroindustrial com ênfase tecnológica no uso de cultivares geneticamente modificados que garantem retorno econômico para área de cultivos extensivos (HADDAD, 1999; SILVA, 2004).

Jayme-Oliveira et al. (2013) constatou que no sudoeste goiano a soja é a principal cultura cultivada pelos produtores na safra de verão (outubro a fevereiro) e, entre eles, 80% cultivam o milho em sucessão no período safrinha (fevereiro a agosto) visando principalmente a produção de grãos e cobertura do solo no entanto alguns cultivam somente a soja na safra principal, em regiões que apresentam períodos restritivos de chuva, após o mês de fevereiro.

A sucessão contínua de soja e milho no sudoeste goiano pode ser extrapolada para o Centro-Oeste e a região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Oeste Baiano) considerando que concentram a maior área plantada e volumes de produção de milho na segunda safra após a produção de soja (CONAB, 2015).

A incidência e a resistência das pragas e doenças são incrementadas na ausência de rotação de culturas, onerando o custo de produção ou resultando em redução da produtividade (TOLEDO-SOUZA et al., 2008).

Jacobsen et al. (2013) sugerem que a segurança alimentar deve incentivar a diversidade estratégica de alternativas alimentares proteicas, e não somente dos cultivares geneticamente modificados, visando preservar a capacidade de resiliência da agricultura. Também é fundamental pesquisar tecnologias de produção poupadoras de recursos, inclusive hídricos, para promoção da agricultura sustentável.

No Cerrado, o cultivo tradicional de plantas para cobertura ocorre em sucessão a safra principal, no período de março a agosto e, em outras regiões, em que existe distribuição de chuva no inverno, o cultivo pode ocorrer após o período da safrinha (Alvarenga et al., 2001). Especificamente na região dos Cerrados no Centro Oeste é o predomínio de duas estações bem definidas, seca e chuvosa (SANO et al., 2008), classificado conforme Köppen como tropical estacional (Aw).

O amaranto (*Amaranthus cruentus* L. família Amaranthaceae) e a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. família Chenopodiaceae) podem ser alternativa inovadora para a proteção do solo e diversificação agrícola (SPEHAR & TRECENTI, 2001) considerando as poucas opções viáveis de plantas de cobertura para o Cerrado do Brasil

Central, apesar de originários da cordilheira dos Andes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984; LÓPEZ, 2012; TAPIA, 2013). Essas plantas apresentam bom desenvolvimento em condições de estresses abióticos com estratégias de adaptação fisiológica e morfológica ao déficit hídrico (COSTA & BORGES, 2005; SILVA et al., 2014).

O amaranto e a quinoa são classificados como pseudocereais por possuírem elevado teor de amido no grão e apresentarem uso semelhante aos cereais (família Poaceae, sin. Gramineae). Para a American Whole Grain Council, os pseudocereais podem ser utilizados como alternativa aos grãos integrais, que mantêm as partes nutritivas essenciais após o processamento do alimento, e por não possuírem glúten, o que favorecem o consumo de pessoas portadoras de doenças celíacas (ALMEIDA & FERNANDES, 2011).

O amaranto já integra uma organizada cadeia de processamento alimentar no México, incentivando a produção de origem familiar e concentrando seus produtos alimentícios no setor de panificação. A diversidade de produtos derivados do amaranto no México assemelha ao milho: farinha integral, granola, doces artesanais, produtos extrusados, macarrão, barras energéticas, concentrados proteicos e alimentos para lactentes, (GARAY et al., 2012). Esses derivados se destacam pelo conteúdo proteico, vitaminas, ferro e minerais e podem ser para suplementação de pessoas desnutridas ou anêmicas e para a prevenção da osteoporose (ESCOBEDO-LÓPEZ et al., 2012).

Na alimentação humana o consumo tradicional de quinoa é através dos grãos ou na forma de flocos (grãos prensados). Os grãos de quinoa possuem sabor amargo característico pela presença de saponina na parte externa, normalmente removida quando destinada ao consumo humano (DEBSKI et al., 2013).

Apesar do amaranto e da quinoa apresentarem potencial para cultivo alternativo no Cerrado, Assad et al (1993) verificou que a interrupção do período chuvoso é manifestada, historicamente, por determinado período no cultivo da safrinha então o cultivo dessas culturas em sucessão podem apresentar o crescimento e o desenvolvimento comprometidos.

As modificações na planta sob déficit hídrico acarretam em mudanças de alocação de massa, e estão intimamente relacionadas com mecanismos de aclimação e com a eficiência do uso da água (EUA). O primeiro mecanismo na planta é o fechamento de estômatos visando manter o potencial de água na folha, contudo essa ação reduz a assimilação de CO<sub>2</sub>, o fluxo de nutrientes pelas raízes e , por conseguinte, a



redução da fotossíntese e a produção subsequente de hidratos de carbono (NAVAS & GARNIER, 2002).

Portanto, a manutenção de um elevado potencial de água nos tecidos vegetais é fundamental para evitar a desidratação. Todavia as respostas das plantas para adaptarem ao déficit hídrico são complexas dependendo da capacidade da planta exercer um ou mais dos mecanismos de aclimatação morfológico ou fisiológico: controle estomático, de transpiração e absorção de água pelo sistema radicular profundo (KHAN et al., 2010).

Assim, merece atenção considerável a investigação dos processos morfológicos e fisiológicos que são afetados pelo estresse hídrico e as estratégias da planta em atenuar estes efeitos (SANTOS & CARLESSO, 1998).

A investigação de diferentes regimes hídricos permitirá identificar a resposta variável deste recurso afetando a produção de grãos e a extrapolação para outros períodos com pluviometria semelhante.

Uma forma de conduzir ensaios no campo isolando o fator água na área experimental da Embrapa Cerrados foi a instalação em plena estação seca, inverno, contudo o crescimento das plantas pode ser reduzido e o ciclo alongado pela ocorrência de temperaturas diárias decrescentes.

O gênero *Amaranthus* apresentava fotoperiodismo de dias longos em latitudes superiores a 30° (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984), mas Castrillón-Arbeláez e Délano-Frier (2012) observaram insensibilidade ao fotoperíodo para a espécie *A. cruentus*; Na Embrapa Cerrados Teixeira et al. (2003) observaram alongamento do ciclo e ausência de granação em algumas linhagens *A. cruentus* cultivadas no inverno. Spehar (2006) optou por utilizar linhagens de quinoa insensíveis ao fotoperíodo para composição da variedade BRS Piabiru.

O objetivo do trabalho foi propor um calendário para viabilizar o cultivo de amaranto e quinoa na entressafra no Cerrado.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF) sob Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (teor de argila de 570 g kg<sup>-1</sup>), A moderado (SANTOS et al., 2013). A unidade está localizada na BR 020 Km 18 (latitude 15°35'58" Sul e longitude 47°42'50" Oeste), zona rural da região administrativa de Planaltina-DF. A altitude da área é de 1002 m com temperatura média anual de 22°C e pluviosidade média de 1.202 mm (SILVA et al., 2016).

No final do ciclo da soja (cultura antecessora) foi realizada a amostragem do solo na entre linha da semeadura em três profundidades e a análise química do solo (Tabela 1). A semeadura das culturas de amaranto (BRS Alegria, SPEHAR et al., 2003), e quinoa (BRS Piabiru, SPEHAR et al., 2002) foram realizadas em maio de 2014. Os tratos culturais incluíram a dessecação da área, adubação, sulcagem, semeadura, capinas e raleio, controle de insetos praga e adubação nitrogenada (Tabela 2).

As principais unidades experimentais foram constituídas por oito linhas de semeadura, com espaçamento de 0,4 metros, com oito metros de comprimento, resultando numa área de 25,6 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo a parcela principal as lâminas de água e a subparcela as culturas de amaranto e quinoa. Para mensuração da produção cada parcela foi subdividida em quatro unidades experimentais constituídas de duas linhas de semeadura (Figura 1).

O regime hídrico (RH) foi obtido utilizando barra irrigadora de aspersão com 40 m de largura, ligada ao carretel com velocidade regulável, com aspersores modelo Xi-Wob©-Wobbler 610 regulados para operar com pressão de 10 psi e produção de gotas médias (SENNINGER, 2012). O turno de rega foi fixado em cinco dias adotando a lâmina recomendada para a cultura do trigo do programa de Monitoramento da Irrigação no Cerrado (EMBRAPA, 2016).

Em cada lateral da barra irrigadora foram instalados oito aspersores uniformemente espaçados com diâmetro do bocal de 7,14 mm durante os primeiros 30 dias após a emergência (DAE). Após este período e até o final do ciclo foi adaptada a metodologia do line source (HANKS et al., 1976), utilizando os aspersores da barra irrigadora para variar os RHs; instalou-se bocais de orifícios decrescentes da área central até o 6º aspersor (diâmetros dos bocais de 9,53 mm; 9,13 mm; 8,73mm; 8,33 mm; 7,14 mm e 7,14 mm) e obstruiu-se os dois aspersores da extremidade da barra.

Tabela 1. Resultado da análise do solo em três profundidades, avaliada na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Camada amostrada	Cálcio cmolc. dm <sup>-3</sup>	H+Al cmolc. dm <sup>-3</sup>	K mg.L <sup>-1</sup>	Matéria Orgânica dg.kg <sup>-1</sup>	Mg cmolc. dm <sup>-3</sup>	pH	P mg.L <sup>-1</sup>	S mg.kg <sup>-1</sup>
0 a 0,1 m	3,33	4,61	205,88	2,61	1,39	5,75	46,87	19,17
0,1 a 0-2 m	3,35	4,44	209,25	2,58	1,43	5,80	50,26	20,25
0,2 a 0,3 m	3,25	4,44	236,00	2,56	1,39	5,82	47,46	20,49
Média	3,31	4,50	217,04	2,58	1,40	5,79	48,20	19,97

Tabela 2. Manejo cultural do ensaio

Data	Manejo Cultural	Quantidade	Observação
23/5	Colheita da soja	3.706	kg.ha <sup>-1</sup> soja 13% umidade
30/5	Dessecação da área	3	l.ha <sup>-1</sup> pc Glifosato 720g.kg <sup>-1</sup>
		125	ml.ha <sup>-1</sup> pc Carfentrazona-etflica 400 g.l <sup>-1</sup>
12/6	Adubação	750	kg.ha <sup>-1</sup> 04.14.08 incorporado com discos espaçados de 20 cm
13/6	Sulcação	8	sulcos espaçados 40 cm
14/6	Semeadura	200	sementes.m <sup>-1</sup> de amaranto
		56	sementes.m <sup>-1</sup> de milho
		100	sementes.m <sup>-1</sup> de quinoa
			kg.ha <sup>-1</sup> pc Acefato fersol 750g.kg <sup>-1</sup> controle de vaquinha,
22/6	Controle insetos praga	1	lagarta rosca e mosca branca
29/6	Controle insetos praga	160	ml.ha <sup>-1</sup> pc Bifrentina 100 g.l <sup>-1</sup> controle de mosca branca
05/7	Capina		capina manual na entre linha
10/7	Capina		capina manual na entre linha, início do raleio e amontoa
10/7	Controle insetos praga	200	ml.ha <sup>-1</sup> pc Lambda-cialotrina 50 g.l <sup>-1</sup> controle de vaquinha
13/7	Capina		final da capina manual
13/7	Adubação nitrogenada	100	kg.ha <sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de Ureia (450g.kg <sup>-1</sup> )
18/7	Raleio		Final do raleio preservando 10 plantas m <sup>-1</sup>

A aplicação média de água em todo o ensaio foi de 453 mm. Durante a fase de irrigação uniforme houve a precipitação de 21 mm em três de junho, que somadas às nove irrigações, proporcionaram a aplicação média de 148 mm (1/3 da média total) de 14 de maio a 17 de junho. Na fase de aplicação em níveis (line source modificado) houve 18 irrigações e reduzidas precipitações (5,10 mm) que forneceram a aplicação média de 305 mm no ensaio (2/3 da média total) de 20 de junho a nove de setembro. As médias da umidade relativa e a velocidade do vento foram 57% e 1,9 km h<sup>-1</sup>, respectivamente, ambas com maiores oscilações no final do ciclo (Figura 2).

Foram distribuídos 16 coletores na área experimental para aferir a lâmina aplicada (quatro coletores em cada regime hídrico) e corresponder a partição das parcelas. Os coletores foram instalados nas divisas dos blocos no interior do ensaio até 51 DAE e depois transferidos para o início da área experimental (antes dos blocos um e três). Após 118 dias de coletas sistemáticas da água aplicada (irrigações e

precipitações), a evolução da lâmina aplicada é demonstrada na figura 3 para os coletores pares.

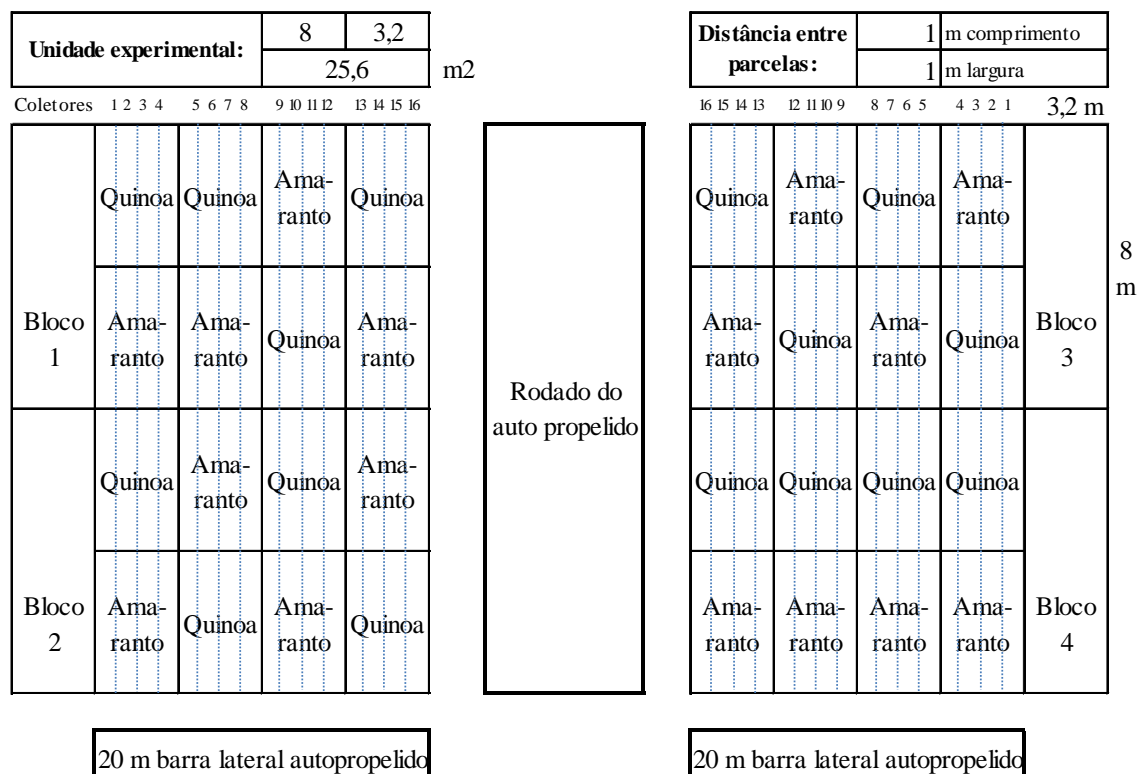


Figura 1. Croqui experimental com partição das unidades experimentais.

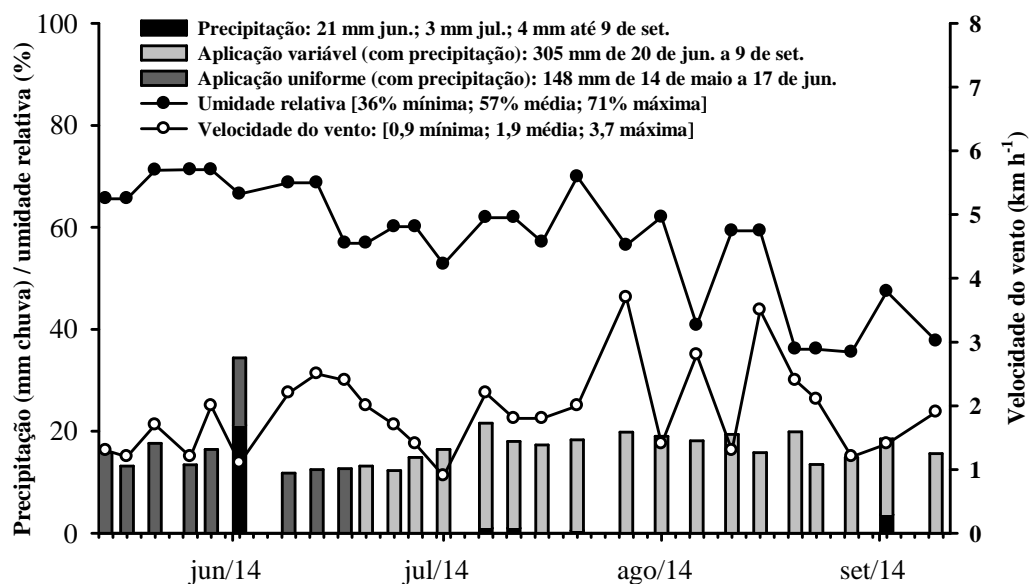


Figura 2. Coletas intervalares da umidade relativa (%), velocidade do vento (km h<sup>-1</sup>), precipitação (mm chuva) da estação climatológica e registros das lâminas aplicadas pela barra irrigadora no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Foi avaliado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC, CHRISTIANSEN, 1942), detalhado na equação 1, das nove aplicações uniformes e 18 irrigações em níveis para cada coletor.

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \quad (1)$$

Em que  $n$  é o número de observações,  $X_i$  é a lâmina de água aplicada no  $i$ -ésimo ponto sobre a superfície do solo e  $\bar{X}$  a lâmina média aplicada. O CUC é considerado excelente acima de 0,90, bom entre 0,80 e 0,90, regular entre 0,70 e 0,80 e ruim menor que 0,70.

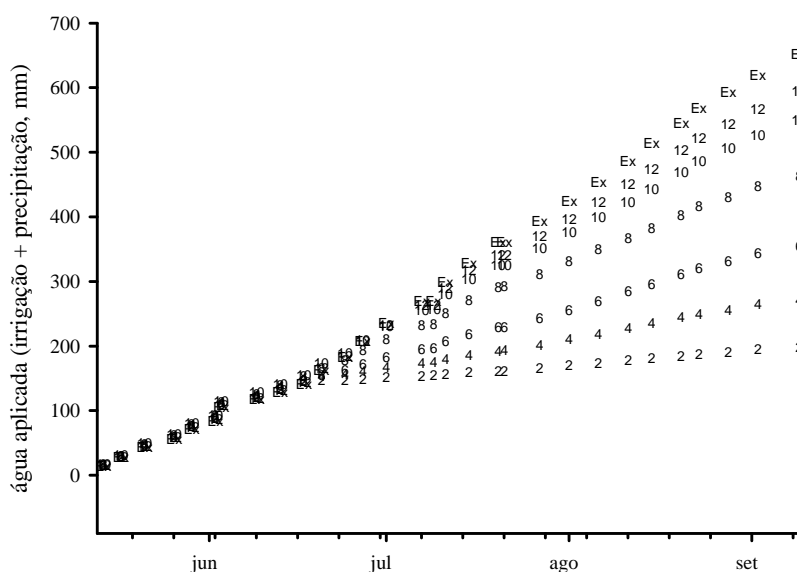


Figura 3. Evolução da lâmina coletada pelos coletores pares (2 a 12) e média dos coletores 14 e 16 (Ex), desde 14 de maio até nove de setembro de 2014 na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

A lâmina acumulada até nove de setembro de 2014, associado ao último registro da figura 3, teve ajuste sigmoidal para todos os 16 coletores do ensaio (Figura 4), com o 1º coletor acumulando a estimativa de 155 mm, e a maior lâmina foi associada ao 16º coletor (estimativa de 671 mm). O ponto de inflexão, que divide o aumento das taxas crescentes (1ª seção) do aumento a taxas decrescentes (2ª seção) foi estimado entre o 5º e 6º coletor acumulando 355 mm.

Após quatro meses da semeadura e três meses do início das diferentes lâminas de água, foi avaliada a umidade gravimétrica do solo (Equação 2) para os blocos um e três (entre linha da posição 2 e 3; 6 e 7; 10 e 11; 14 e 15 das unidades experimentais) com 3 repetições para cada parcela em 3 profundidades.

$$Umidade\ gravimétrica\ (\%) = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (2)$$

Em que MU é a massa do solo úmido na parcela e profundidade amostrada e MS é a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas.

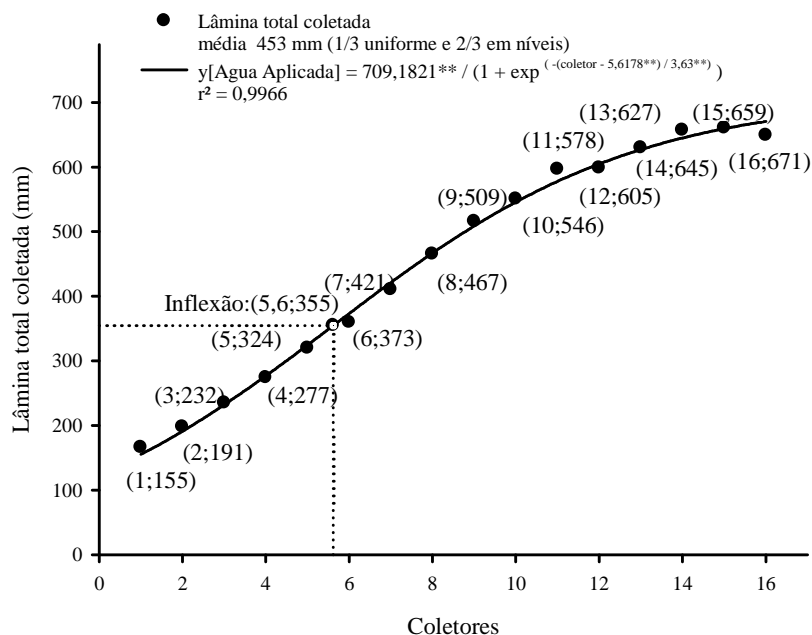


Figura 4. Lâmina total coletada em mm dos 16 coletores na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Os dados da umidade do solo no final do ciclo (120 DAE) foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de significância e, se significativos, avaliados as diferenças entre os tratamentos com o teste Tukey a 5%, utilizando o *software* SISVAR 5.3 (Ferreira, 2008).

Foram suprimidas 42 plantas (coletas destrutivas) nas quatro linhas centrais das parcelas para avaliação em outro ensaio experimental. As bordaduras (2 linhas em cada extremidade) foram preservadas. Então a estimativa da produção, em toneladas por hectare, foi obtida mediante colheita de quatro unidades experimentais por parcela, incluindo a bordadura.

Foi realizada a colheita mecanizada em cada parcela, contudo o sistema de ventilação e trilha da colhedora não foi suficiente para realizar a limpeza dos grãos de quinoa e amaranto dos restos das impurezas. O beneficiamento dos grãos estendeu durante o período de dois meses após a colheita, manuseando as amostras (separação pelo vento e por peneiras de malhas variadas) e uso do separador e classificador de sementes a vácuo para lotes de aproximadamente 100 gramas de grãos.

Para cada lateral da barra irrigadora com o line source modificado, foram obtidas 16 avaliações de produção (incluindo a área central com supressão de plantas) e

associadas com as medições das lâminas obtida por 16 coletores durante todo o ensaio, possibilitando o cálculo da eficiência da água aplicada (EAA) no ensaio:

$$EAA = \frac{\textit{Produtividade}}{\textit{Lâmina aplicada}} \quad (2)$$

No qual a produtividade dos grãos é expressa em kg ha<sup>-1</sup> e a lâmina aplicada em mm acumulados pela irrigação em todo o ciclo.

Outro indicador de eficiência da água aplicada é obtido pela produtividade marginal (PMg) sendo variação incremental da produtividade em função do aumento constante da água aplicada (variações discretas) ou a derivada da produtividade em função da água aplicada (MOTTA, 1998):

$$PMg = \frac{\Delta \textit{produtividade}}{\Delta \textit{lâmina aplicada}} = \frac{\delta \textit{Produtividade}}{\delta \textit{Lâmina aplicada}} \quad (3)$$

Em que a produtividade e a lâmina aplicada foram definidas na equação da EAA. O valor da produtividade marginal máxima coincide com o ponto de inflexão de um modelo matemático (HOFFMANN et al. 1987).

Silva et al. (2016) compararam os registros de precipitação da estação climatológica da Embrapa Cerrados (código 01547016 na Agência Nacional de Águas, 15°35'30" S e 47°42'30"O, 1007 metros de altitude) nos últimos 40 anos, dividindo em decênios (1574 mm de 1974 a 1983; 1469 mm de 1984 a 1993; 1139 mm de 1994 a 2003 e 1202 mm de 2004 a 2013) e concluíram que a média do último decênio é mais representativa do que o uso das normais climatológicas (30 anos). As médias semanais de precipitação para um período favorável ao cultivo da safrinha (após 22 de fevereiro) são demonstradas na figura 5, acumulando durante 18 semanas a precipitação total de 342 mm. Essa estação distancia em 200 metros da área experimental utilizada neste ensaio.

Foram avaliadas as possíveis épocas de cultivo no período da safrinha para o amaranto e a quinoa em função da EAA obtida no ensaio no inverno e comparando com as médias de precipitação semanais coletadas na estação climatológica da Embrapa Cerrados a partir de 22 de fevereiro para o decênio 2004 a 2013. Foram estabelecidas 4 épocas de semeadura:

- 1ª época: semeadura realizada em 22 de fevereiro
- 2ª época: semeadura realizada em primeiro de março
- 3ª época: semeadura realizada em oito de março
- 4ª época: semeadura realizada em 15 de março.

A oferta hídrica diferenciada corresponde ao registro dos intervalos na série histórica de precipitações até 12 de julho, sendo que as precipitações são praticamente nulas após 7 de junho (Tabela 3).

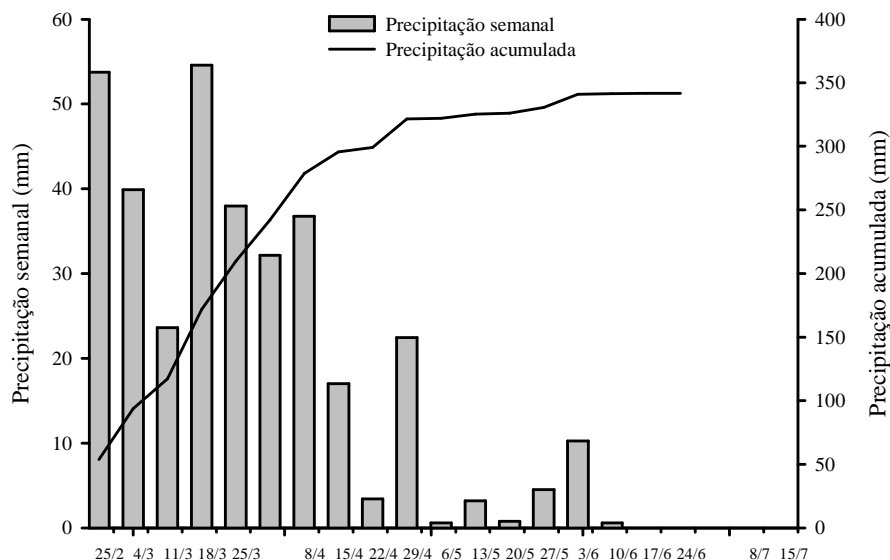


Figura 5. Precipitação média semanal (mm) para o decênio 2004 a 2013 do período de 22 de fevereiro a 12 de julho e respectiva precipitação acumulada para a estação climatológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Tabela 2. 3. Oferta hídrica do período da safrinha em função da precipitação média semanal (mm) do decênio de 2004 a 2013 da estação climatológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

(mm)	22/2	1/3	8/3	15/3	22/3	29/3	5/4	12/4	19/4	26/4	3/5
1ª época	53,74	39,87	23,61	54,59	37,98	32,14	36,74	17,01	3,41	22,44	0,6
2ª época		39,87	23,61	54,59	37,98	32,14	36,74	17,01	3,41	22,44	0,6
3ª época			23,61	54,59	37,98	32,14	36,74	17,01	3,41	22,44	0,6
4ª época				54,59	37,98	32,14	36,74	17,01	3,41	22,44	0,6
(mm)	10/5	17/5	24/5	31/5	7/6	14/6	21/6	28/6	5/7	12/7	Total
1ª época	3,2	0,78	4,52	10,24	0,58	0,13	0				322
2ª época	3,2	0,78	4,52	10,24	0,58	0,13	0	0			268
3ª época	3,2	0,78	4,52	10,24	0,58	0,13	0	0	0		229
4ª época	3,2	0,78	4,52	10,24	0,58	0,13	0	0	0	0	205

Para o ciclo dos pseudocereais (120 dias), foram consideradas as precipitações acumuladas durante 18 semanas priorizando atender o suprimento eficiente de água aplicada e a respectiva produtividade associada. A semeadura preferencial na safrinha pode ser adotada quando o acúmulo de precipitações previstas no decênio suprirem em



mais de 25% a lâmina avaliada no ensaio e, abaixo deste limite, a semeadura será tolerada para o suprimento de água acima de 5% da lâmina avaliada.

Para análise de regressão, os dados foram submetidos inicialmente a análise de variância, utilizado o *software* SISVAR 5.3, visando identificar a significância pelo teste F a 1 e 5% para o amaranto e a quinoa sob 16 lâminas aplicadas. Foram avaliados ajustes nos modelos lineares (linear e quadrático) e modelos não lineares (sigmoidal) no SIGMAPLOT® e selecionadas as melhores equações em função da significância dos coeficientes e da magnitude dos coeficientes de determinação para explicar o comportamento da dispersão dos dados das unidades experimentais para as lâminas aplicadas.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade do vento não afetou a distribuição das 27 lâminas nas unidades experimentais, considerando a produção de gotas médias pelos aspersores e o CUC superior a 0,80 para a maioria dos coletores (Tabela 4). Para o período de aplicação da lâmina uniforme todos os coletores apresentaram boa uniformidade. Na fase de aplicação em níveis 11 aspersores apresentaram boa uniformidade. Para os coletores 1 e 2 o desvio médio (numerador da equação de Christiansen) foi de aproximadamente 1 mm; comparando com a reduzida lâmina média nesses coletores, 1,1 e 2,6 mm respectivamente, a uniformidade é classificada como ruim pelo CUC.

Tabela 4. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para os 16 coletores no período de aplicação uniforme (14 de maio a 17 de junho de 2014) e aplicação em níveis (20 de junho a nove de setembro de 2014), na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Coletor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Uniforme	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89
Níveis	0,28	0,59	0,70	0,75	0,77	0,80	0,82	0,85	0,85	0,86	0,87	0,86	0,88	0,87	0,88	0,88

Considerando a boa uniformidade das lâminas aplicadas, a proposição de calendário de cultivo de amaranto e quinoa, necessita de antecipar as lâminas aplicadas no ensaio do inverno para um período equivalente com a proposição das épocas de semeadura na safrinha. A lâmina total disponível de 322, 268, 229 e 205 mm para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª época de semeadura, respectivamente, possui correspondência com o volume total associado ao 5º (316 mm), 4º (271 mm), 3º (232 mm) e 2º coletor (199 mm).

A correlação entre a lâmina disponível para cada época de semeadura e os volumes associados aos coletores do ensaio foi superior a 90%, indicando boa aproximação entre os dados (Figura 6), principalmente nas menores lâminas.

Todos os componentes produtivos de amaranto e quinoa apresentaram interação significativa com as lâminas coletadas (Tabela 5).

Tabela 5. Quadrados médios e níveis de significância dos componentes produtivos avaliados de acordo com a fonte de variação.

	Lâmina(L)	Resíduo-A	Espécie (E)	L x E	Resíduo-B	CV A (%)	CV B (%)	n			
Produtividade dos grãos	5,67	**	20,43	3,10	**	0,85	**	12,92	34,64	26,68	128
Eficiência da água aplicada	14,68	**	125,04	36,42	**	4,99	**	91,11	39,72	32,83	128

No que se refere a produtividade de grãos os 16 dados de produção foram associados com a estimativa das 16 lâminas coletadas obtendo o comportamento sigmoidal como o melhor ajuste para o amaranto e a quinoa (Figura 7). As oscilações

entre coletas consecutivas podem ser justificadas pela supressão de algumas plantas nas parcelas, porém não impactou na determinação do ajuste: o amaranto apresentou coeficiente de determinação muito bom (0,8164), um pouco superior a quinoa (0,7720). Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t.

A produção de  $0,19 \text{ t ha}^{-1}$  de amaranto foi estimada para a lâmina de 155 mm, gerando crescimento a taxas crescentes até o ponto de inflexão, na qual 325 mm proporcionaram produção de  $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ . O ponto de inflexão associado a lâmina para a produção de amaranto é ligeiramente inferior ao ponto de inflexão da lâmina coletada (355 mm na figura 4). Após o ponto de inflexão, sobre crescimento a taxas decrescentes, é obtido o valor máximo de  $2,49 \text{ t ha}^{-1}$  com a lâmina de 671 mm.

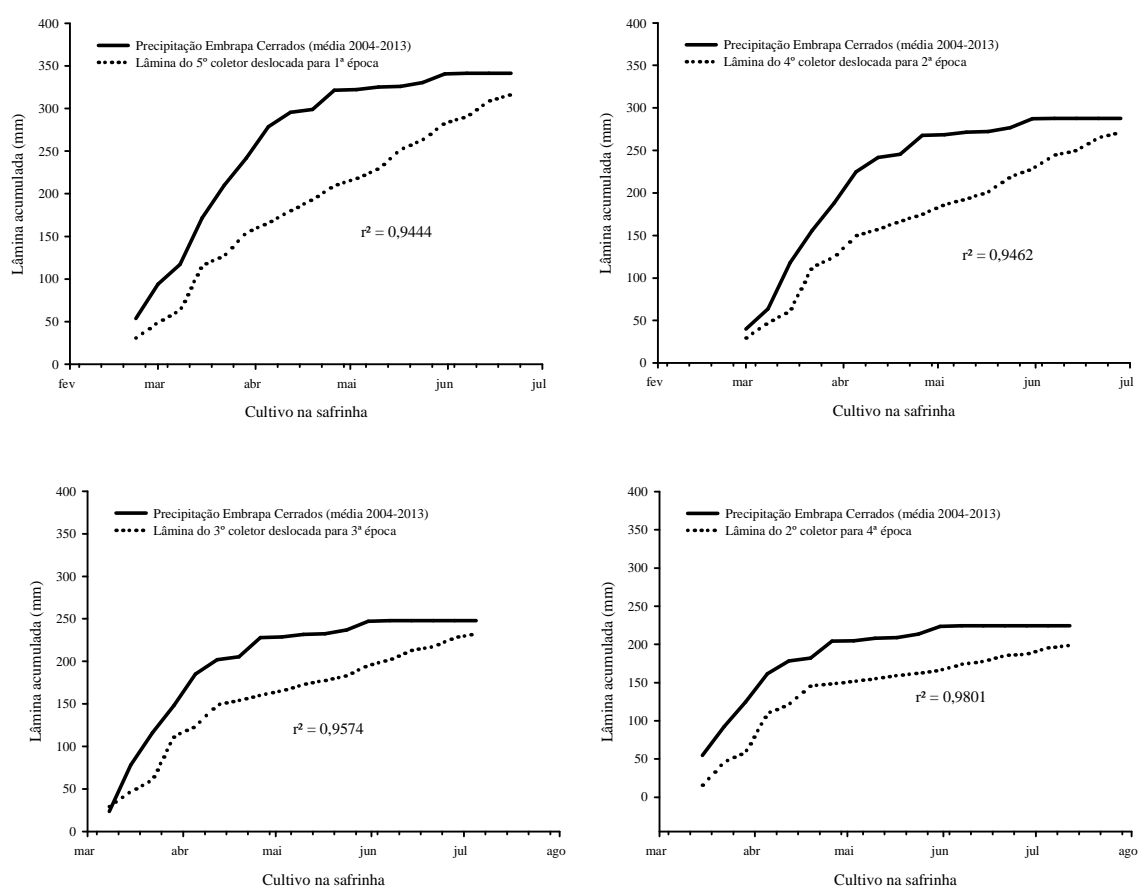


Figura 6. Precipitação acumulada (mm) para o período da safrinha e volumes associados obtidos pelos coletores no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Ferreira et al. (2014) utilizaram a mesma cultivar na Embrapa Cerrados cultivada no verão com completa maturação dos grãos aos 90 dias após a semeadura e obtiveram rendimentos superiores a  $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ . Os rendimentos inferiores obtidos pelo amaranto nesse ensaio podem ser justificados pela maturação incompleta dos grãos com tendência ao prolongamento do ciclo pelo cultivo no inverno. Na ocasião da colheita a massa úmida das infrutescências dificultava a trilha e a extração dos grãos pela

colhedora de parcelas, gerando em maiores perdas. Não foram detectadas perdas significativas na colheita da quinoa, que apresentava os grãos completamente maduros e as hastes desprovidas de folhas.

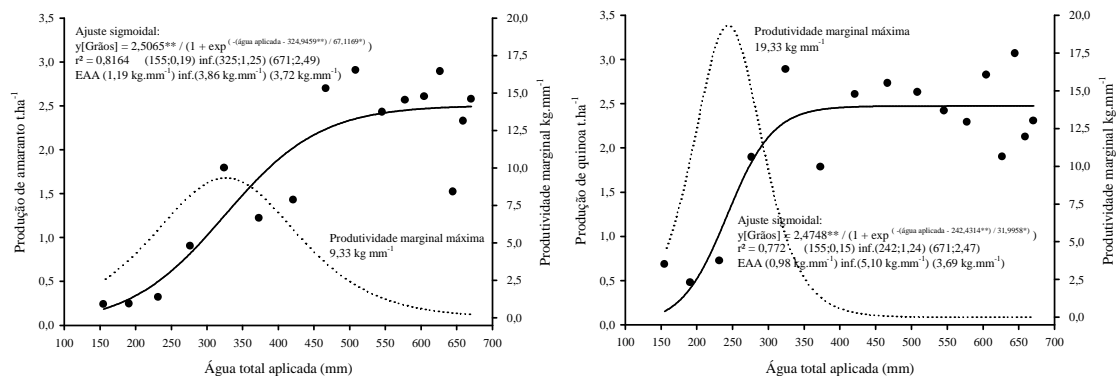


Figura 7. Produção ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) e produtividade marginal ( $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) de amaranto e quinoa no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Determinou-se a eficiência da água aplicada (EAA) para o amaranto nas três principais coordenadas do ajuste sigmoidal: sob déficit hídrico (lâmina de 155 mm) cada mm de água favorece a produção de 1,19 kg; no ponto de inflexão cada mm proporciona 3,86 kg de grãos e na maior lâmina (671 mm) a produção de 3,72 kg por mm de água aplicada.

A água aplicada não é integralmente utilizada pelas plantas, então a EAA é um indicador distinto da eficiência no uso de água (EUA), contudo Liu e Stützel (2004), comparando espécies de amaranto em casa de vegetação, observaram maior EUA para o *A. cruentus* ( $3,75 \text{ g massa seca} \cdot \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$ ) comparado com *A. tricolor* ( $3,25 \text{ g massa seca} \cdot \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$ ) e *A. blitum* ( $2,9 \text{ g massa seca} \cdot \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$ ). Nesse ensaio não houve diferenças significativas na EUA comprando os tratamentos de suficiência e deficiência hídrica.

Outro indicador de eficiência calculado para o amaranto foi a produtividade marginal (PMg), que apresentou o valor máximo de  $9,33 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$  correlacionado com o ponto de inflexão (325 mm) do ajuste sigmoidal.

Para a cultura da quinoa a menor lâmina proporcionou a produção de  $0,15 \text{ t ha}^{-1}$  e EAA de  $0,98 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ ; no ponto de inflexão 242 mm proporcionaram a produção de  $1,24 \text{ t ha}^{-1}$  e EAA de  $5,10 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ , superior ao amaranto, contrariando a tese de Miller et al. (1984) que avaliaram o desempenho de plantas C4 em região árida, destacando que as espécies de amaranto apresentam valores maiores para EUA devido a rota fotossintética C4 comparando com espécies C3. O ponto de inflexão associado a lâmina

para a produção de grãos de quinoa (242 mm na figura 7) comparando com a lâmina do ponto de inflexão (355 mm) corresponde a redução superior a 100 mm, associado a lâmina intermediária entre o 3º e 4º coletor (Figura 4). Após o ponto de inflexão, é obtido o valor máximo de  $2,47 \text{ t ha}^{-1}$  com a lâmina de 671 mm e EAA de  $3,69 \text{ kg.mm}^{-1}$ , próximo ao valor final obtido pelo amaranto.

Em um ensaio na Turquia com a cultivar Titicaca de quinoa avaliando a lâmina de 310 mm com 71 mm a redução de 55% na produtividade apresentou-se menor sensibilidade ao RH comparando a elevação de 180% na EUA (Yazar et al., 2015). Nesse ensaio, comparando a menor lâmina (155 mm) com o ponto de inflexão (242 mm) tem-se a redução de 88% na produtividade e 81% na EAA (faixa de rendimentos crescentes); e comparando a maior lâmina (671 mm) com o ponto de inflexão, tem-se um comportamento semelhante ao ensaio da Turquia: redução de 50% na produtividade e aumento de 138% na EAA, permitindo deduzir que o ensaio da Turquia apresentou rendimentos a taxas decrescentes da produção de grãos em relação ao uso de água.

É notável que a resposta da quinoa ao suprimento inicial de água é superior a resposta do amaranto. O expoente da base de Euler ( $e$ ) na equação ajustada para a quinoa apresenta dois coeficientes que justificam a superioridade comparada com o amaranto sob oferta hídrica limitada: a menor lâmina associada ao ponto de inflexão (242 mm) e o menor denominador no expoente (31,9958); enquanto o amaranto com lâmina superior (325 mm) e maior denominador no expoente (67,1169) apresenta incrementos de produção menores comparando com a quinoa.

Em consonância, a PMg máxima da quinoa supera em  $10 \text{ kg.mm}^{-1}$  a PMg máxima do amaranto (Figura 7) para a lâmina no ponto de inflexão da quinoa (variação discreta de 240 a 242 mm).

A análise das 3 coordenadas da função sigmoideal (início, ponto de inflexão e final) indica os maiores valores de EAA e PMg associados ao ponto de inflexão. Contudo, conforme demonstrado na figura 8, a EAA continua a aumentar após o ponto de inflexão atingindo o máximo de  $7,12 \text{ kg.mm}^{-1}$  associado a 321 mm de água aplicada para a produção de 2.224 kg de quinoa, superior a produção do amaranto (2.130 kg) que foi mais exigente em água (441 mm) e obteve  $4,83 \text{ kg.mm}^{-1}$  de EAA máximo. Os valores máximos de EAA aproximam as maiores produtividades estimadas no ensaio, 2.490 kg de amaranto e 2.470 kg de quinoa (figura 7). Sempre que for possível, deve-se buscar atender a EAA e fornecer os suprimentos adequados de água para o amaranto e a quinoa.

Todavia, sob oferta restrita de água, pode-se optar por reduzir o consumo de água, mesmo sacrificando a produtividade, até atingir a PMg máxima. As coordenadas destacadas na figura 8 indicam que a redução de 25% de água para a quinoa (de 321 para 242 mm) provoca uma redução de 44% na produtividade (de 2224 para 1240 kg.ha<sup>-1</sup>) até a PMg máxima (redução de 28% na EAA). E a redução de 26% de água para o amaranto (de 441 mm para 325 mm) provocará, até a PMg máxima, a redução de 41% na produtividade (de 2130 para 1250 kg.ha<sup>-1</sup>) e a redução de 20% na EAA.

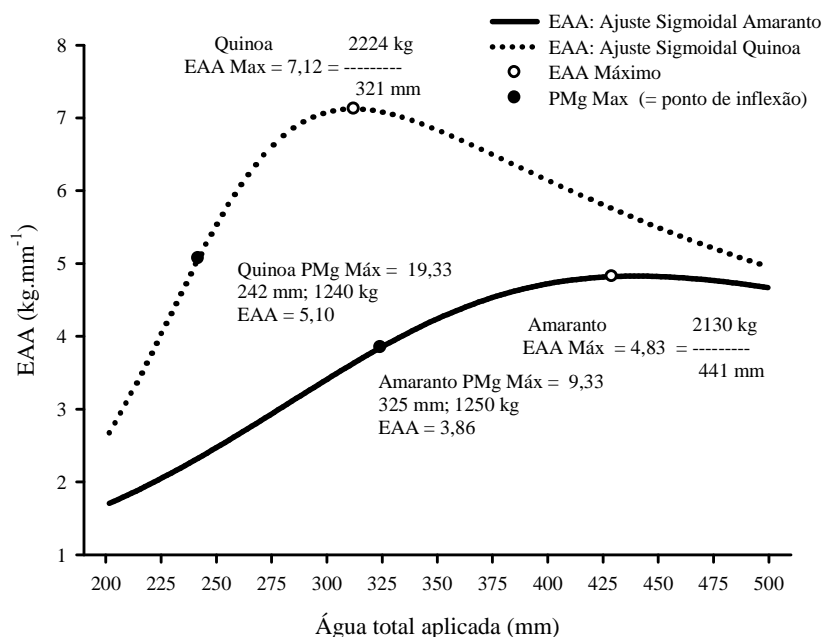


Figura 8. Evolução da eficiência da água aplicada (EAA, kg.mm<sup>-1</sup>) de amaranto e quinoa e associação com a produtividade marginal máxima (kg.mm<sup>-1</sup>) no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

O fornecimento de água inferior a PMg máxima para o amaranto e a quinoa implicará em perdas ainda mais acentuadas da produtividade para cada intervalo constante de redução da lâmina.

A tabela 6 confirma a maior exigência de água do amaranto para atingir indicadores de eficiência e produtividade marginal. Objetivando avaliar o cultivo de amaranto e quinoa, deve-se atender prioritariamente a lâmina que fornece a EAA Máxima, contudo no período da safrinha, sob oferta restrita de água, também serão avaliadas as lâminas que contemplem a PMg máxima e 50% da EAA máxima; não será avaliada a lâmina inicial (155 mm) por causa da reduzida produtividade e a maior lâmina (671 mm) por indicar um consumo abundante de água.

A associação da oferta hídrica de 4 épocas para a semeadura na safrinha (22 de fevereiro, 1º de março, 8 de março e 15 de março) com as 3 lâminas investigadas é

demonstrada na tabela 7. Apenas os excedentes superiores a 5% serão tolerados o cultivo e excedentes superiores a 25% serão apontados como cultivos preferenciais.

A semeadura é favorável para quinoa e amaranto de 22 a 28 de fevereiro (Tabela 8). É uma data tolerada para obter a maior produtividade de quinoa (2,22 t.ha<sup>-1</sup>), mas é uma data preferencial para obter produtividade de 1,24 t.ha<sup>-1</sup>. O amaranto pode tolerar esta data para obter a produtividade de 1,25 t.ha<sup>-1</sup>, contudo, nesta data, a produção preferencialmente será associada a produtividade de 0,60 t.ha<sup>-1</sup>.

Tabela 6. Variação dos indicadores de eficiência e de produtividade marginal no ensaio da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Coordenada	Água aplicada mm total	Produção grãos t.ha <sup>-1</sup>	EAA kg.mm <sup>-1</sup>	%EAA máximo	PMg kg.mm <sup>-1</sup>	%PMg máximo
-----Amaranto-----						
Inicial	155	0,19	1,19	25%	2,59	28%
50% EAA máxima	247	0,60	2,42	50%	6,77	73%
PMg máximo (=Ponto de inflexão)	325	1,25	3,86	80%	9,33	100%
EAA máxima	441	2,13	4,83	100%	4,82	52%
Final (máxima água aplicada)	671	2,49	3,72	77%	0,22	2%
-----Quinoa-----						
Inicial	155	0,15	0,98	14%	4,59	24%
50% EAA máxima	218	0,78	3,56	50%	16,51	85%
PMg máximo (=Ponto de inflexão)	242	1,24	5,10	72%	19,33	100%
EAA máxima	321	2,22	7,12	100%	7,21	37%
Final (máxima água aplicada)	671	2,47	3,69	52%	0,00	0%

De 1º a 7 de março a semeadura é favorável com a produtividade esperada de 1,24 t.ha<sup>-1</sup> para a quinoa e 0,60 t.ha<sup>-1</sup> para o amaranto. Apenas a quinoa pode ser cultivada de 8 a 14 de março obtendo a produtividade esperada de 0,78 t.ha<sup>-1</sup>. Não é viável o cultivo após 15 de março.

Tabela 7. Suprimento relativo de água para as quatro épocas de semeadura em função de três lâminas selecionadas no ensaio: 50% da máxima eficiência de água aplicada (EAA), máxima produtividade marginal e máxima EAA.

Época	Épocas de semeadura da safrinha com pseudocereais					
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>		
Início da safrinha	22/2	1/3	8/3	15/3		
Término da safrinha	21/6	28/6	5/7	12/7		
Precipitação Embrapa Cerrados	342	288	248	224		
	Água aplicada mm total	Produção grãos t.ha-1	Excedente (>0%) ou déficit (<0%) de água para a produção estimada			
-----Amaranto-----						
50% EAA máximo	247	0,60	38%	17%	0%	-9%
PMg máximo	325	1,25	5%	-11%	-24%	-31%
EAA máximo	441	2,13	-23%	-35%	-44%	-49%
-----Quinoa-----						
50% EAA máximo	218	0,78	57%	32%	14%	3%
PMg máximo	242	1,24	41%	19%	2%	-7%
EAA máximo	321	2,22	6%	-10%	-23%	-30%

Tabela 3. 8. Viabilidade de cultivo e produtividade esperada de amaranto e quinoa em quatro épocas de semeadura na safrinha.

Produtividade máxima associada (t.ha <sup>-1</sup> )	Amaranto		Quinoa	
	Preferencial	Tolerada	Preferencial	Tolerada
Período de semeadura na safrinha				
22 até 28 de fevereiro	0,60	1,25	1,24	2,22
1° até 7 de março	0,60	0,60	1,24	1,24
8 até 14 de março	inviável	Inviável	0,78	0,78
15 de março	inviável	Inviável	inviável	inviável
Máximo	1,25		2,22	
Classe modal	0,60		1,24	
Mínimo	0,60		0,78	



## 2.4 CONCLUSÕES

Em virtude de maior exigência em água do amaranto é tolerada a semeadura até 7 de março, enquanto a quinoa pode ser semeada na safrinha até 14 de março, mas se a semeadura for antecipada até 28 de fevereiro obtêm-se a maior produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. A. N de; FERNANDES, G. de C. Cereais integrais na alimentação infantil **International Journal of Nutrology**, Catanduva v.4, n.3, p.46-52, set-dez. 2011.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan./fev. 2001.

ASSAD, E.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; DE CASTRO, L. H. R.; DA SILVA, F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros, frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.993-1003. 1993.

CASTRILLÓN-ARBELÁEZ, P. A.; DÉLANO-FRIER, J. P. Respuestas moleculares y bioquímicas inducidas en *Amaranthus cruentus* L. en respuesta a la defoliación por insectos herbívoros. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 7, p. 85-97.

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: University of California, 1942. 142p. (Bulletin 670).

CONAB Safra 2014/15 – Monitoramento Agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, v.2, n 12, Brasília, p. 1-134, set. 2015.

COSTA, D. M. A. da; BORGES, A. S. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Holos**, Natal, v.21, n. 1, p. 97-111, maio 2005.

DEBSKI, B.; GRALAK, M. A.; BERTRANDT, J.; KŁOS, A. Minerals and polyphenols content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant. **Probl. Hig. Epidemiol.** v. 94, n. 2, p. 300-304, 2013.

EMBRAPA. **Software para uso eficiente da água e economia na irrigação em cultivos no Cerrado**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2395/software-para-uso-eficiente-da-agua-e-economia-na-irrigacao-em-cultivos-no-Cerrado>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

ESCOBEDO-LÓPEZ, D; GARAY, A. V. A; SILVA, L. G. C. Formas de consumo del amaranto en Mexico. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnologia**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 24, p. 341-354.

FERREIRA, C. C; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; SPEHAR, C. R.; FARIAS, T. R. R. Efeito da densidade de semeadura e doses de nitrogênio sobre a produtividade e biometria de amaranto, no Cerrado do Planalto Central. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 534-546, out. 2014.

- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista symposium**. v. 6, n. 2, p 36-41, jul. 2008.
- GARAY, A. V. A; ESCOBEDO-LÓPEZ, D; ESPINOSA, L. C.; RANGEL, E. E. El cultivo de amaranto en México, descripción de la cadena, implicaciones y retos. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnología**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 22, p. 315-330.
- HADDAD, P. **A competitividade do agronegócio e o desenvolvimento regional no Brasil: estudo de clusters**. 1. ed. Brasília: CNPq/Embrapa. 1999. 261 p.
- HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line-source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 40, p. 426-429, 1976.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J.; C.; SERRANO, O.; THAME, A. C. M.; NEVES, E. M. Teoria da produção. 4. In: \_\_\_\_\_. **Administração da empresa agrícola**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1987. p. 71-116.
- JACOBSEN, S. E.; SORENSEN, M.; PEDERSEN, S. M.; WEINER, J. Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity – review article. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, mar. 2013.
- JAYME-OLIVEIRA, A. **A prática da safrinha e os desafios para a diversificação de cultivos**. 2013. 16 p. (relatório de pesquisa). Disponível em: <<https://docs.google.com/file/d/0BwJEBB5PzVvTVmdNWTNqenJOWnc/edit?usp=sharing>>. Acesso em: 16 abr. 2013.
- KHAN H.R.; PAULL J.; SIDDIQUE K.H.M.; STODDARD F.L. Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective. **Field Crops Research**, v.115, n.3, p. 279-286, 2010.
- LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientiae Horticulture**, n. 102, p. 15–27, 2004.
- LÓPEZ, A. M. Amaranto (*Amaranthus* spp.), planta ritual mesoamericana. In: RANGEL, E. R. **Amaranto Ciencia y Tecnología**. Guanajuato: INIFAP/SINAREFI, 2012. cap. 1, p. 3-13.
- MILLER, T.E.; WING, J.S.; HUETE, A.R. The agricultural potential of selected C4 plants in arid environment. **J. Arid. Environ.** n. 7, p. 275–286, 1984.
- MOTTA, R. S. da **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, abr. 1998. 80 p. (Texto para discussão 556).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Introduction. In \_\_\_\_\_. **Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop**. 1. ed. Washington: National Academy Press, 1984. p. 1-13.
- NAVAS, M. L., GARNIER, E. Plasticity of whole plant and leaf traits in *Rubia peregrina* in response to light, nutrient and water availability. **Acta Oecologica**, v. 23, n. 6, p. 375-383, dez. 2002.
- SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2v. 1279 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SENNINGER. Xi-Wob© Wobblor. In: \_\_\_\_\_. **Irrigação Mecanizada: Baixa pressão – alto desempenho**. Clermont-Florida: Senninger Irrigation Inc., 2012. p. 5. Disponível em: <<http://www.senninger.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/Pivot-UP3-Catalog-Portuguese.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2016.

SILVA, A. R. P. da Polo regional ou cluster: o caso do município de Rio Verde, Goiás – Brasil. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 13, n. 5, p. 41-55, out. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15352/8651>>. Acesso em: 15. abr. 2013.

SILVA, A. Z.; JACOBSEN, S. E. ; RAZZAGHI, F.; FLORES, R. A. ; RUIZ, K. B. ; MORALES, A. ; SILVA, H. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. In: BAZILE, D.; BERTERO, D.; NIETO, C. **Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013**. Santiago do Chile: FAO, 2014. p. 2 – 22.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER A. G.; **Climatologia da estação principal da Embrapa Cerrados: 1974 a 2013**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016 (no prelo).

SPEHAR, C. R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 41-62, jan.-abr. 2006.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. S. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 889-893, jun. 2002.

SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L.; CABEZAS, W. A. R. L.; ERASMO, E. A. L. Amarantho BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 659-663, maio 2003.

SPEHAR, C. R.; TRECENZI, R. Desempenho agrônômico de espécies tradicionais e inovadoras da agricultura em semeadura de sucessão e entressafra no Cerrado do planalto central brasileiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 102-111, jan-fev. 2011.

TAPIA, M. E. El largo camino de la quinua: ¿Quiénes escribieron su historia? In BAZILE, D, et al. **Estado del arte de la quinua em el mundo em 2013**. Santiago/Montpellier: FAO/CIRAD, 2014. p. 3-10.

TEIXEIRA, D. L.; SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Caracterização agrônômica de amarantho para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 45-51, jan. 2003.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; CAFÉ FILHO, A. C. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 971-978. ago. 2008.

YAZAR, A.; SEZEN, S. M.; ÇOLAK, Y. B. Yield Response of Quinoa to Irrigation with Drainage Water and Planting Times in the Mediterranean Region. In: IRRIMED2015: “Modern technologies, strategies and tools for sustainable irrigation management and governance in Mediterranean agriculture”, 2015, Bari, Italy. **Proceedings...** Bari: International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Mediterranean Agronomic Institute of Bari (CIHEAM-IAM), 2015.

## CONCLUSÃO GERAL

A coleta sistemática e semanal de plantas para avaliar a dinâmica de crescimento foi fundamental para ajustes de modelos com elevada precisão, destacando os modelos sigmoidais com coeficientes de determinação superiores a 90%. As plantas de cobertura apresentaram excepcional desempenho, mesmo sob estresse hídrico moderado, sobressaindo a cultura do milheto excepcional aptidão para produção de biomassa, enquanto o amaranto e a quinoa demandam lâminas de 325 e 242 mm, respectivamente, para atingir a máxima produtividade marginal de grãos.

A adaptação das plantas ao estresse hídrico foi notável, com reduzidas variações do conteúdo relativo de água e da clorofila nas plantas de cobertura e compensação excepcional da área foliar do milheto, indicando bom nível de reordenamento das estruturas fisiológicas destas plantas para evitar colapso produtivo.

Considerando as reduzidas diferenças na área central do line source modificado, estudos sobre a tolerância de plantas ao estresse hídrico nesta área experimental da Embrapa Cerrados podem ser customizados: a parcela experimental constituída com oito linhas de semeadura (3,2 m) paralela a trajetória da barra irrigadora e seus aspersores puder ser reduzida para quatro linhas (1,8 m), permitindo aumentar o número de regimes hídricos da parcela experimental e, conseqüentemente, ajustar modelos matemáticos para explicar o comportamento das variáveis explicativas nas diversas lâminas, notadamente nas menores lâminas.

Uma aplicação prática deste trabalho foi propor épocas de semeadura para cultivo de amaranto e quinoa na safrinha, comumente caracterizada por cultivo sob oferta hídrica limitada. Notadamente, o amaranto e a quinoa também podem ser avaliados em áreas sob oferta hídrica reduzida promovendo a diversidade de cultivos e a segurança alimentar. O principal empecilho é o provimento mínimo de uma cadeia de processamento para comercialização desses pseudocereais, algo já consolidado para as

commodities milho e soja. Alternativamente esses cultivos em áreas de agricultura familiar, inclusive na safrinha, podem ser suficientes para melhorar a dieta das famílias ou viabilizar o processamento dos excedentes mediante iniciativas associativistas, como, por exemplo, implantar cooperativas de produção e viabilizar a oferta desses pseudocereais beneficiados para o mercado consumidores, substituindo a importação dos países andinos.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A. CLIMATOLOGIA DA ESTAÇÃO PRINCIPAL DA EMBRAPA CERRADOS

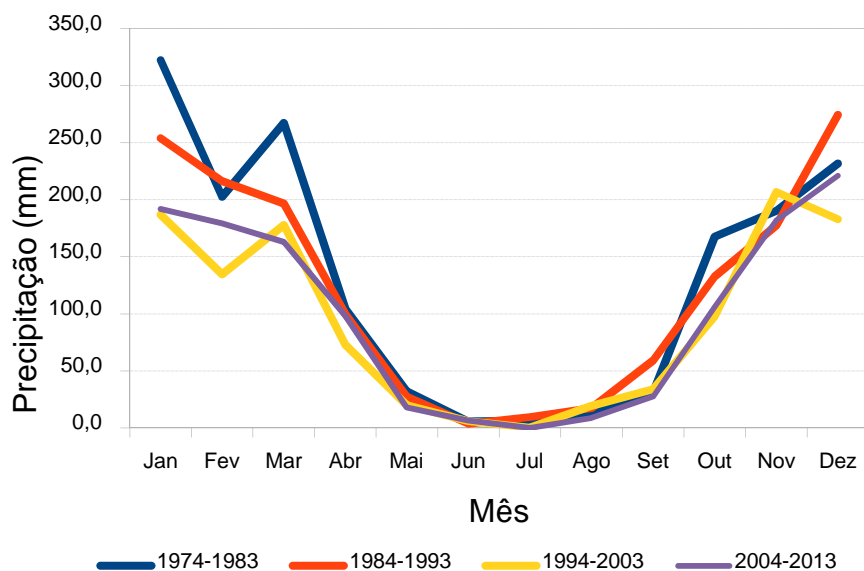


Figura 1A. Valores acumulados médios mensais de precipitação pluvial (mm), referentes aos períodos decenais na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF.

Fonte: Silva et al. (2016)

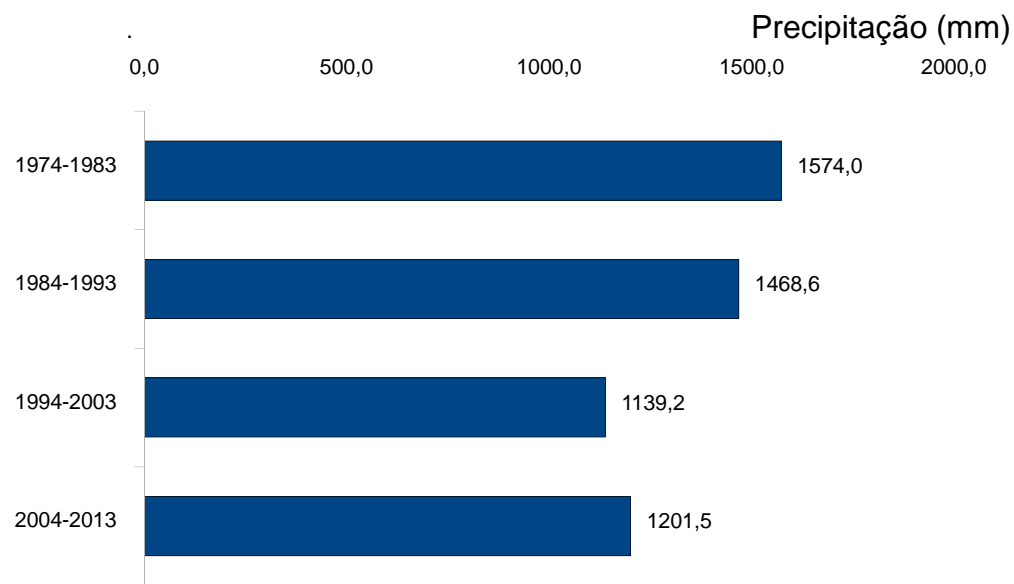


Figura 2A. Valores médios decenais de precipitação pluvial (mm) na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF.

Fonte: Silva et al. (2016)



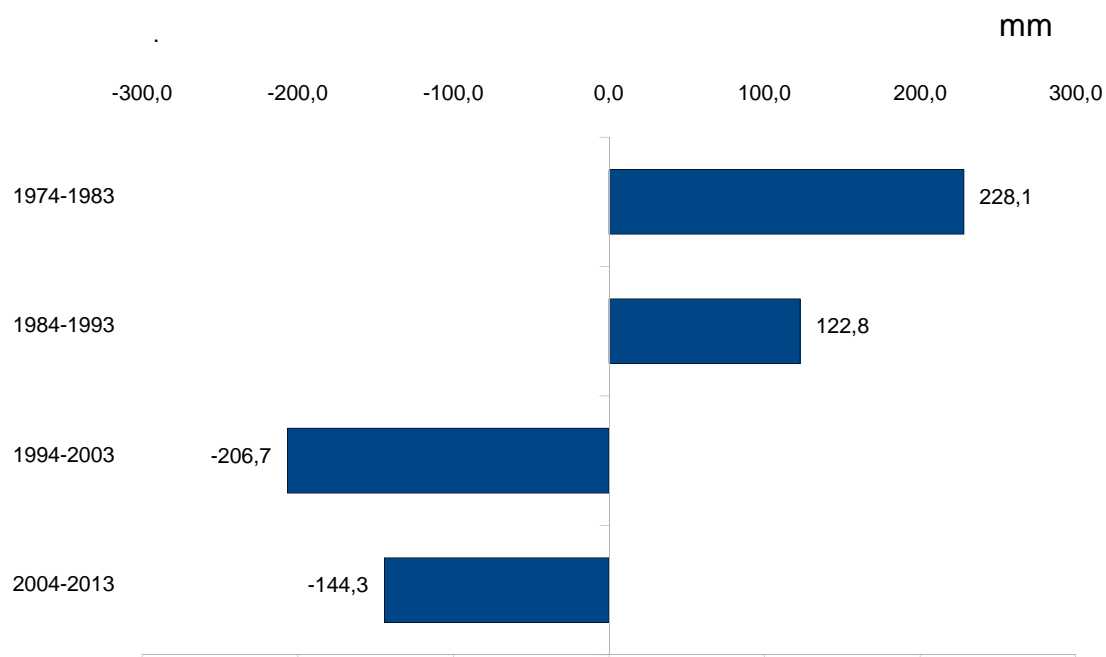


Figura 3A. Desvios das precipitações médias decenais em relação à média geral dos quarenta anos da série na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF.

Fonte: Silva et al. (2016)

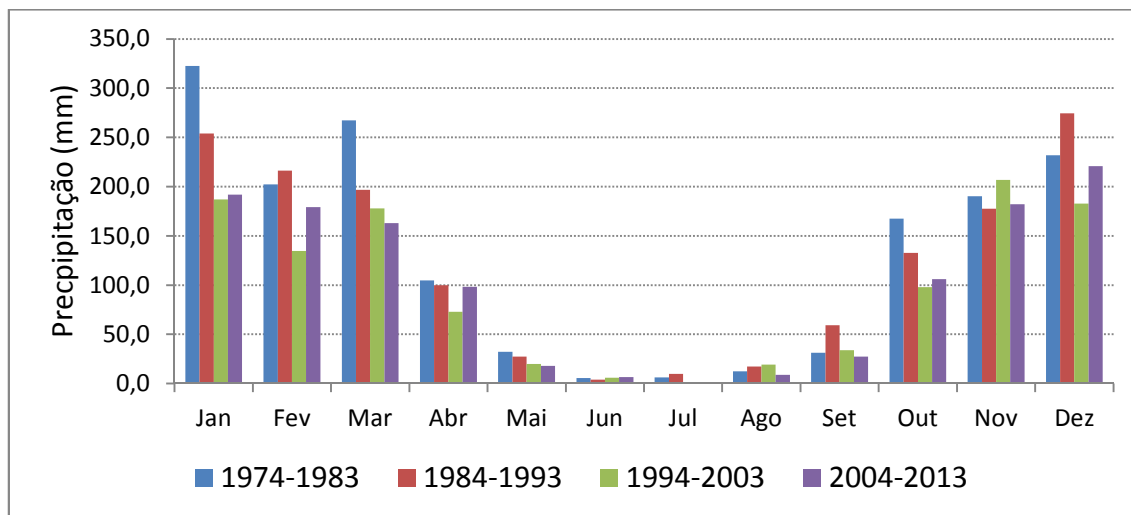


Figura 4A. Valores acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (mm) por decênio, na Estação CPAC-Principal localizada na região administrativa de Planaltina – DF.

Fonte: Silva et al. (2016)

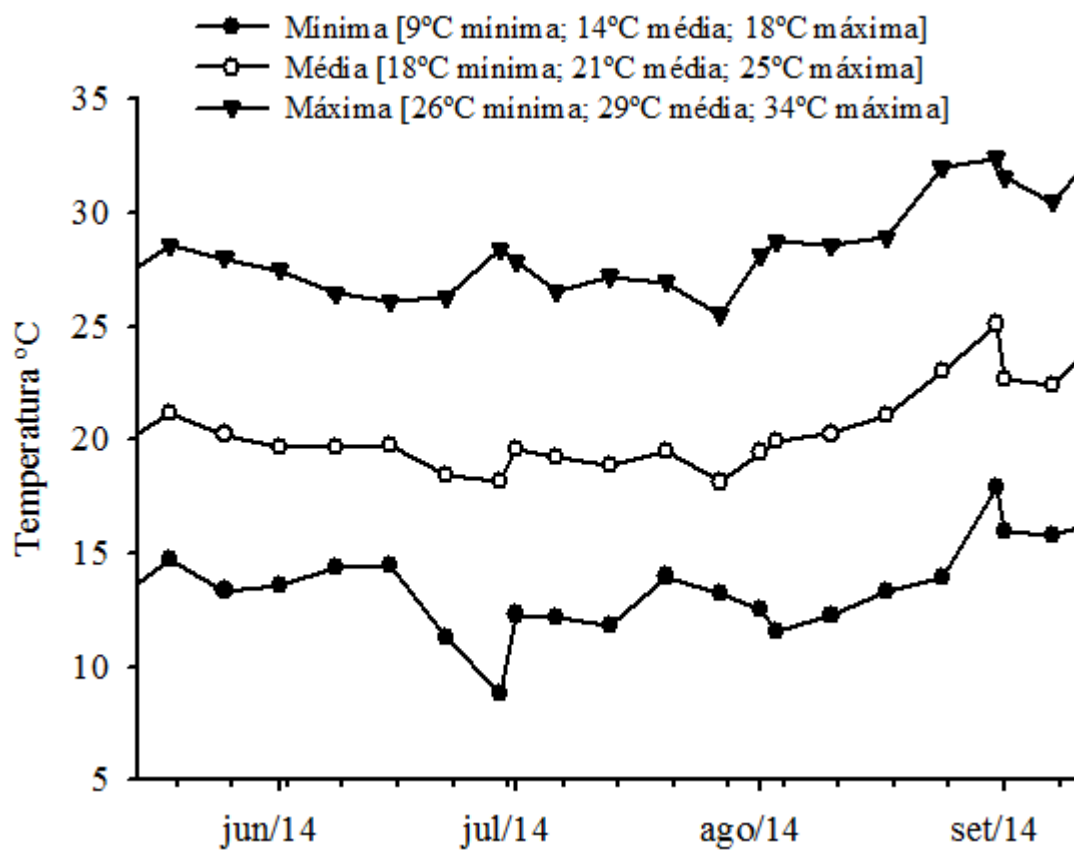


Figura 5A. Coletas intervalares da temperatura (°C) no período de 14 de maio a 9 de setembro de 2014, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

## APÊNDICE B. IMAGENS REGISTRADAS DO ENSAIO



Figura 1B. Localização do ensaio e da estação climatológica, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Fonte: Google (2015)



Figura 2B. Coletores universais para conferência da lâmina aplicada com quatro centímetros de raio, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.



Figura 3B. Aspersores modelo Xi-Wob©-Wobbler 610 para produção de gotas médias na pressão de 10 psi da barra irrigadora.  
Fonte: Senninger (2012)



Figura 4B. Sulcação de quatro linhas com espaçamento de 0,40 metros para instalação do ensaio, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.





Figura 5B. Semeadora regulada para distribuição uniforme das sementes em oito metros de comprimento do sulco por parcela, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.



Figura 6B. Colhedora de parcelas experimentais para trilha de duas linhas de semeadura nas parcelas constituídas com 8 linhas, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.





Figura 7B. Separação dos resíduos da inflorescência e infrutescência dos grãos, com ação do vento (A), uso de peneiras de malhas variadas (B) e separador e classificador de sementes a vácuo (C), na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

## APÊNDICE C. EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA OS COMPONENTES PRODUTIVOS E FISIOLÓGICOS

Tabela 1C. Componentes produtivos e fisiológicos do amaranto e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; cm de altura das plantas) SS=MS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 114,4191^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 40,8674^{**}) / 8,2443^{**}))$ $r^2 = 0,9839$ S: (30;24) inf.(41;57) (120;114) $\hat{y}[\text{MI}] = 180,3485^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 46,438^{**}) / 9,0252^{**}))$ $r^2 = 0,9704$ S: (30;25) inf.(46;90) (120;180) $\hat{y}[\text{MS}] = 202,0856^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 47,4305^{**}) / 10,3591^{**}))$ $r^2 = 0,985$ S: (30;32) inf.(47;101) (120;202) $\hat{y}[\text{SS}] = 202,7436^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 47,4025^{**}) / 9,3337^{**}))$ $r^2 = 0,9702$ S: (30;27) inf.(47;101) (120;203)
(dia; mm <sup>2</sup> de área basal do coleto) SS>MS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = \hat{y} = \hat{y} = 394$ s = 91,0 $\hat{y}[\text{MI}] = 4,5593^{**} \cdot \text{dia} + 335,4948$ r <sup>2</sup> = 0,3735 L: (30;472) inc.(4,6mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;819) $\hat{y}[\text{MS}] = 5,5278^{**} \cdot \text{dia} + 283,1214$ r <sup>2</sup> = 0,446 L: (30;449) inc.(5,5mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;869) $\hat{y}[\text{SS}] = 6,2829^{**} \cdot \text{dia} + 346,2888$ r <sup>2</sup> = 0,4248 L: (30;535) inc.(6,3mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;1012)
(dia; nº nós) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0047^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,6795^{**} \cdot \text{dia} - 3,8878$ r <sup>2</sup> = 0,8383 Q: (30;12) máx.(72;21) (106;15)
(dia; folhas planta <sup>-1</sup> ) MI~SS>MS>MI	$\hat{y}[\text{II}] = -0,0076^{**} \cdot \text{dia}^2 + 1,0836^{**} \cdot \text{dia} - 13,9983$ r <sup>2</sup> = 0,9154 Q: (30;12) máx.(71;25) (106;15) $\hat{y}[\text{MI}] = 51,038^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 55,3061^{**}) / 26,6643^{**}))$ $r^2 = 0,9453$ S: (30;14) inf.(55;26) (106;44) $\hat{y}[\text{MS}] = 41,6509^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 43,1747^{**}) / 14,5764^{**}))$ $r^2 = 0,9106$ S: (30;12) inf.(43;21) (106;41) $\hat{y}[\text{SS}] = 49,2977^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 46,096^{**}) / 13,8965^{**}))$ $r^2 = 0,7211$ S: (30;12) inf.(46;25) (106;49)
(dia; g de massa do caule) SS>MS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,0046^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,7247^{**} \cdot \text{dia} - 16,943$ r <sup>2</sup> = 0,7677 Q: (30;1) máx.(79;12) (106;8) $\hat{y}[\text{MI}] = 26,4505^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 53,8448^{**}) / 8,3473^{**}))$ $r^2 = 0,9322$ S: (30;1) inf.(54;13) (106;26) $\hat{y}[\text{MS}] = 34,2445^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 58,7148^{**}) / 10,1248^{**}))$ $r^2 = 0,9281$ S: (30;2) inf.(59;17) (106;34) $\hat{y}[\text{SS}] = 37,7454^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 56,5816^{**}) / 8,969^{**}))$ $r^2 = 0,8879$ S: (30;2) inf.(57;19) (106;38)
(dia; g de massa de folhas) SS>MS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,0032^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,4188^{**} \cdot \text{dia} - 7,5204$ r <sup>2</sup> = 0,8771 Q: (30;2) máx.(65;6) (106;1) $\hat{y}[\text{MI}] = -0,0033^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,5345^{**} \cdot \text{dia} - 10,7597$ r <sup>2</sup> = 0,7887 Q: (30;2) máx.(81;11) (106;9) $\hat{y}[\text{MS}] = -0,0025^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,4584^{**} \cdot \text{dia} - 9,2652$ r <sup>2</sup> = 0,7987 Q: (30;2) máx.(92;12) (106;11) $\hat{y}[\text{SS}] = -0,0041^{**} \cdot \text{dia}^2 + 0,6818^{**} \cdot \text{dia} - 14,7303$ r <sup>2</sup> = 0,7957 Q: (30;2) máx.(83;14) (106;11)
(dia; g de massa parte aérea) SS~MS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 25,7905^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 46,8591^{**}) / 7,4379^{**}))$ $r^2 = 0,8976$ S: (30;2,42) inf.(47;12,90) (106;25,78) $\hat{y}[\text{MI}] = 91,5223^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 71,192^{**}) / 15,4498^{**}))$ $r^2 = 0,9688$ S: (30;5,95) inf.(71;45,76) (106;82,82) $\hat{y}[\text{MS}] = 104,1876^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 72,4917^{**}) / 14,4994^{**}))$ $r^2 = 0,9608$ S: (30;5,28) inf.(72;52,09) (106;94,79) $\hat{y}[\text{SS}] = 108,8095^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 68,2553^{**}) / 13,4922^{**}))$ $r^2 = 0,9437$ S: (30;6,03) inf.(68;54,40) (106;102,56)



Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; mm <sup>2</sup> de área foliar) SS>MS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,5177**\text{dia}^2 + 61,9508**\text{dia} - 1008,2898$ r <sup>2</sup> = 0,7861 Q: (30;384) máx.(60;845) (99;51)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,7807**\text{dia}^2 + 103,9111**\text{dia} - 1954,6534$ r <sup>2</sup> = 0,8464 Q: (30;460) máx.(67;1503) (99;681)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,6605**\text{dia}^2 + 95,1815**\text{dia} - 1855,0037$ r <sup>2</sup> = 0,768 Q: (30;406) máx.(72;1574) (99;1094)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -1,0379**\text{dia}^2 + 146,7239**\text{dia} - 3181,1167$ r <sup>2</sup> = 0,8339 Q: (30;286) máx.(71;2004) (99;1172)
(dia; cm de comprimento foliar) SS>MS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,2301**\text{dia}^2 + 28,8049**\text{dia} - 568,3533$ r <sup>2</sup> = 0,6696 Q: (30;89) máx.(63;333) (99;28)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,311**\text{dia}^2 + 41,6127**\text{dia} - 870,1387$ r <sup>2</sup> = 0,8258 Q: (30;98) máx.(67;522) (99;201)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,3353**\text{dia}^2 + 45,4672**\text{dia} - 998,0085$ r <sup>2</sup> = 0,7791 Q: (30;64) máx.(68;543) (99;217)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -0,3922**\text{dia}^2 + 53,8742**\text{dia} - 1229,6447$ r <sup>2</sup> = 0,6784 Q: (30;34) máx.(69;620) (99;260)
CRA <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,6685**\text{dia} + 116,2073$ r <sup>2</sup> = 0,8347 L: (30;96) inc.(-0,67% .dia-1) (107;45)
(dia; IF clorofila a) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0055**\text{dia}^2 + 0,603**\text{dia} + 26,0737$ r <sup>2</sup> = 0,8283 Q: (30;39) máx.(55;43) (106;28)
(dia; IF clorofila b) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0037**\text{dia}^2 + 0,4443**\text{dia} - 1,3894$ r <sup>2</sup> = 0,7478 Q: (30;8,6) máx.(60;11,9) (106;4,1)
(dia; IF clorofila total) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0092**\text{dia}^2 + 1,0473**\text{dia} + 24,6843$ r <sup>2</sup> = 0,8194 Q: (30;48) máx.(57;54) (106;32)
(dia; % IF clorofila a) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = 0,0043**\text{dia}^2 - 0,5401**\text{dia} + 94,5019$ r <sup>2</sup> = 0,7019 Q: (30;82) mín.(63;78) (106;86)
(dia; % IF clorofila b) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0043**\text{dia}^2 + 0,5401**\text{dia} + 5,4981$ r <sup>2</sup> = 0,7019 Q: (30;18) máx.(63;22) (106;14)
(dia; g massa da inflorescência) MS~SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 12,0348** / (1 + \exp (-(\text{dia} - 63,6838**) / 5,5236**))$ r <sup>2</sup> = 0,9688 S: (37;0) inf.(64;6) (120;12)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 56,384** / (1 + \exp (-(\text{dia} - 85,8181**) / 11,4938**))$ r <sup>2</sup> = 0,9603 S: (37;1) inf.(86;28) (120;54)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 1,0438**\text{dia} - 53,0486$ r <sup>2</sup> = 0,881 L: (37;-14) inc.(1,04g.dia-1) (120;72)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 73,3397** / (1 + \exp (-(\text{dia} - 87,6805**) / 12,2679**))$ r <sup>2</sup> = 0,9591 S: (37;1) inf.(88;37) (120;68)
(dia; g de massa dos grãos 3 plantas) MS~SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = \hat{y} = \dot{y} = 15$ s = 6,4
	$\hat{y}[\text{MI}] = 1,5285**\text{dia} - 95,1829$ r <sup>2</sup> = 0,8628 L: (71;13) inc.(1,53g.dia-1) (120;88)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 1,9099**\text{dia} - 122,3854$ r <sup>2</sup> = 0,9228 L: (71;13) inc.(1,91g.dia-1) (120;107)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 1,6392**\text{dia} - 96,0459$ r <sup>2</sup> = 0,8292 L: (71;20) inc.(1,64g.dia-1) (120;101)
	$\hat{y}[\text{RH}]^{1} = 67,8926** / (1 + \exp (-(\text{dia} - 83,9778**) / 7,9546**))$ r <sup>2</sup> = 0,9582 S: (71;11) inf.(84;34) (120;67)

<sup>1/</sup> O efeito isolado das espécies apresenta apenas um ajuste para a média dos regimes hídricos.

<sup>2/</sup> s: desvio padrão amostral do tratamento.

<sup>3/</sup> Propriedades indicadas pela derivação: máximo (máx.); mínimo (mín.); inflexão da função sigmoidal (inf.); incremento da função linear (inc.).

<sup>4/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Tabela 2C. Componentes produtivos do milho e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; cm de altura das plantas) SS~MS~MI>II	$\hat{y}[II] = 158,8291^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 32,8296^{**}) / 10,2973^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9323 S: (30;69) inf.(33;79) (120;159)
	$\hat{y}[MI] = 168,2024^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 32,936^{**}) / 8,5692^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9617 S: (30;70) inf.(33;84) (120;168)
	$\hat{y}[MS] = 173,9365^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 33,4218^{**}) / 6,6906^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9398 S: (30;65) inf.(33;87) (120;174)
	$\hat{y}[SS] = 176,2834^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 32,9351^{**}) / 7,762^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9359 S: (30;72) inf.(33;88) (120;176)
(dia; mm <sup>2</sup> de área basal do coleto) SS<MS~MI<II	$\hat{y}[II] = \hat{y} = \hat{y} = 310$ s = 123,0
	$\hat{y}[MI] = -1,5214^{**}\text{dia} + 427,0862$ r <sup>2</sup> = 0,3547 L: (30;381) inc.(-1,5mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;266)
	$\hat{y}[MS] = -2,1145^{**}\text{dia} + 496,3644$ r <sup>2</sup> = 0,5711 L: (30;433) inc.(-2,1mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;272)
	$\hat{y}[SS] = -2,5011^{**}\text{dia} + 508,1421$ r <sup>2</sup> = 0,493 L: (30;433) inc.(-2,5mm <sup>2</sup> .dia-1) (106;243)
(dia; n° nós) <sup>1</sup>	$\hat{y}[RH] = 0,05^{**}\text{dia} + 3,79$ r <sup>2</sup> = 0,4965 L: (30;5) inc.(0,05nós.dia-1) (106;9)
(dia; folhas planta <sup>-1</sup> ) SS=MS~MI>II	$\hat{y}[II] = \hat{y} = \hat{y} = 7,8$ s = 1,2
	$\hat{y}[MI] = 0,1269^{**}\text{dia} + 1,317$ r <sup>2</sup> = 0,6402 L: (37;6) inc.(0,13g.dia-1) (106;15)
	$\hat{y}[MS] = 0,1435^{**}\text{dia} + 0,5249$ r <sup>2</sup> = 0,6988 L: (37;6) inc.(0,14g.dia-1) (106;16)
	$\hat{y}[SS] = 0,1369^{**}\text{dia} + 1,2082$ r <sup>2</sup> = 0,6521 L: (37;6) inc.(0,14g.dia-1) (106;16)
(dia; perfilhos planta-1) SS~MS~MI>II	$\hat{y}[II] = \hat{y} = \hat{y} = 3,19$ s = 0,42
	$\hat{y}[MI] = 0,0289^{**}\text{dia} + 1,4996$ r <sup>2</sup> = 0,6357 L: (30;2) inc.(0,0289 g.dia-1) (106;5)
	$\hat{y}[MS] = 0,0307^{**}\text{dia} + 1,5911$ r <sup>2</sup> = 0,5456 L: (30;3) inc.(0,0307 g.dia-1) (106;5)
	$\hat{y}[SS] = 0,0243^{**}\text{dia} + 1,9621$ r <sup>2</sup> = 0,5074 L: (30;3) inc.(0,0243 g.dia-1) (106;5)
(dia; g de massa do caule) SS~MI>MS>II	$\hat{y}[II] = 17,5627^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 55,4689^{**}) / 9,8604^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9773 S: (30;1,23) inf.(55;8,78) (106;17,46)
	$\hat{y}[MI] = 27,2251^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 68,0307^{**}) / 17,2142^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9463 S: (30;2,69) inf.(68;13,61) (106;24,52)
	$\hat{y}[MS] = 23,6183^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 59,0367^{**}) / 13,614^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9257 S: (30;2,50) inf.(59;11,81) (106;22,89)
	$\hat{y}[SS] = 30,2484^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 69,8091^{**}) / 18,2463^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9708 S: (30;3,07) inf.(70;15,12) (106;26,59)
(dia; g de massa de folhas) SS~MI~MS>II	$\hat{y}[II] = 4,4284^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 37,4697^{**}) / 18,9901^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,8651 S: (30;1,78) inf.(37;2,21) (106;4,31)
	$\hat{y}[MI] = 0,0427^{**}\text{dia} + 0,6948$ r <sup>2</sup> = 0,8672 L: (30;2,0) inc.(0,0427g.dia-1) (106;5,2)
	$\hat{y}[MS] = 0,039^{**}\text{dia} + 1,143$ r <sup>2</sup> = 0,8123 L: (30;2,3) inc.(0,0390g.dia-1) (106;5,3)
	$\hat{y}[SS] = 0,0453^{**}\text{dia} + 0,7644$ r <sup>2</sup> = 0,6907 L: (30;2,1) inc.(0,0453g.dia-1) (106;5,6)

Componente	Equação de regressão, $r^2$ e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; g de massa parte aérea colmo principal) MS~SS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 28,8513^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 54,7458^{**}) / 9,5815^{**}))$ $r^2 = 0,9855$ S: (30;2,03) inf.(55;14,43) (106;28,71)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 72,9739^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 87,6879^{**}) / 22,6263^{**}))$ $r^2 = 0,9724$ S: (30;5,29) inf.(88;36,49) (106;50,50)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 0,6749^{**}\text{dia} - 19,461$ $r^2 = 0,9374$ L: (30;1) inc.(0,67 g.dia-1) (106;52)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 0,69^{**}\text{dia} - 20,3671$ $r^2 = 0,8513$ L: (30;0) inc.(0,69 g.dia-1) (106;53)
(dia; g de massa perfilho) SS~MS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 0,251^{**}\text{dia} - 3,5695$ $r^2 = 0,8049$ L: (30;4) inc.(0,25 g.dia-1) (106;23)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 0,6458^{**}\text{dia} - 22,9597$ $r^2 = 0,8572$ L: (30;-4) inc.(0,65 g.dia-1) (106;45)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 0,7772^{**}\text{dia} - 25,7674$ $r^2 = 0,8335$ L: (30;-2) inc.(0,78 g.dia-1) (106;57)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 0,82^{**}\text{dia} - 29,0461$ $r^2 = 0,8317$ L: (30;-4) inc.(0,82 g.dia-1) (106;58)
(dia; média g de massa perfilho) SS>MS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 4,3814^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 49,7128^{**}) / 9,0688^{**}))$ $r^2 = 0,886$ S: (30;0,45) inf.(50;2,19) (106;4,37)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 8,7049^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 69,0119^{**}) / 14,9926^{**}))$ $r^2 = 0,9159$ S: (30;0,60) inf.(69;4,35) (106;8,02)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 9,3986^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 61,6167^{**}) / 11,6404^{**}))$ $r^2 = 0,9339$ S: (30;0,58) inf.(62;4,70) (106;9,20)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 0,1547^{**}\text{dia} - 5,0569$ $r^2 = 0,835$ L: (30;0) inc.(0,1547 g.dia-1) (106;11)
(dia; g de massa parte aérea total) SS~MS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 48,4875^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 53,5213^{**}) / 10,1025^{**}))$ $r^2 = 0,9841$ S: (30;4,31) inf.(54;24,24) (106;48,22)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 1,2799^{**}\text{dia} - 41,991$ $r^2 = 0,9247$ L: (30;-4) inc.(1,28 g.dia-1) (106;94)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 1,4565^{**}\text{dia} - 45,5995$ $r^2 = 0,8963$ L: (30;-2) inc.(1,46 g.dia-1) (106;109)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 1,5144^{**}\text{dia} - 49,7786$ $r^2 = 0,8535$ L: (30;-4) inc.(1,51 g.dia-1) (106;111)
(dia; mm <sup>2</sup> de área foliar) MS~MI>SS>II	$\hat{y}[\text{II}] = -3,1628^{**}\text{dia} + 544,1752$ $r^2 = 0,4116$ L: (30;449) inc.(-3,16cm <sup>2</sup> .dia-1) (99;231)
	$\hat{y}[\text{MI}] = \hat{y} = \hat{y} = 485$ s = 119,7
	$\hat{y}[\text{MS}] = \hat{y} = \hat{y} = 528$ s = 83,8
	$\hat{y}[\text{SS}] = \hat{y} = \hat{y} = 463$ s = 107,6
(dia; cm de comprimento foliar) MI~MS~SS>II	$\hat{y}[\text{II}] = -3,1826^{**}\text{dia} + 459,6673$ $r^2 = 0,5409$ L: (30;364) inc.(-3,18cm <sup>2</sup> .dia-1) (99;145)
	$\hat{y}[\text{MI}] = \hat{y} = \hat{y} = 323$ s = 50,6
	$\hat{y}[\text{MS}] = \hat{y} = \hat{y} = 305$ s = 84,3
	$\hat{y}[\text{SS}] = \hat{y} = \hat{y} = 292$ s = 85,2
CRA <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,7569^{**}\text{dia} + 120,6647$ $r^2 = 0,8649$ L: (30;98) inc.(-0,76%.dia-1) (107;40)

Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; IF clorofila A) <sup>1/</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0032^{**}\text{dia}^2 + 0,386^{**}\text{dia} + 31,2221$ r <sup>2</sup> = 0,7745 Q: (30;40) máx.(60;43) (106;36)
(dia; IF clorofila B) <sup>1/</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0037^{**}\text{dia}^2 + 0,5044^{**}\text{dia} - 2,9567$ r <sup>2</sup> = 0,7216 Q: (30;8,8) máx.(68;14,2) (106;8,9)
(dia; IF clorof. total) <sup>1/</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0069^{**}\text{dia}^2 + 0,8904^{**}\text{dia} + 28,2653$ r <sup>2</sup> = 0,8018 Q: (30;49) máx.(65;57) (106;45)
(dia;%IF clorofila A) <sup>1/</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = 0,0042^{**}\text{dia}^2 - 0,5802^{**}\text{dia} + 95,3407$ r <sup>2</sup> = 0,6648 Q: (30;82) mín.(69;75) (106;81)
(dia;%IF clorofila B) <sup>1/</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0042^{**}\text{dia}^2 + 0,5802^{**}\text{dia} + 4,6593$ r <sup>2</sup> = 0,6648 Q: (30;18) máx.(69;25) (106;19)
(dia; espigas planta <sup>-1</sup> ) MS>SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 0,0875^{**}\text{dia} - 3,8851$ r <sup>2</sup> = 0,967 L: (43;0) inc.(0,09 espiga.dia-1) (106;5) $\hat{y}[\text{MI}] = 0,0043^{**}\text{dia}^2 - 0,4234^{**}\text{dia} + 11,1254$ r <sup>2</sup> = 0,9653 Q: (43;1) mín.(49;1) (106;15) $\hat{y}[\text{MS}] = 0,0065^{**}\text{dia}^2 - 0,6962^{**}\text{dia} + 19,2945$ r <sup>2</sup> = 0,9433 Q: (43;1) mín.(54;1) (106;19) $\hat{y}[\text{SS}] = 0,0055^{**}\text{dia}^2 - 0,5717^{**}\text{dia} + 15,5198$ r <sup>2</sup> = 0,9553 Q: (43;1) mín.(52;1) (106;17)
(dia; média g massa das espigas) SS~MI<MS<II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,0022^{**}\text{dia}^2 + 0,3466^{**}\text{dia} - 10,5347$ r <sup>2</sup> = 0,8235 Q: (43;0) máx.(79;3,1) (106;1,5) $\hat{y}[\text{MI}] = -0,0014^{**}\text{dia}^2 + 0,2181^{**}\text{dia} - 6,2775$ r <sup>2</sup> = 0,8241 Q: (43;1) máx.(78;2,2) (106;1,1) $\hat{y}[\text{MS}] = -0,002^{**}\text{dia}^2 + 0,3014^{**}\text{dia} - 8,7446$ r <sup>2</sup> = 0,58 Q: (43;1) máx.(75;2,6) (106;0,7) $\hat{y}[\text{SS}] = -0,0017^{**}\text{dia}^2 + 0,2544^{**}\text{dia} - 7,3267$ r <sup>2</sup> = 0,641 Q: (43;0) máx.(75;2,2) (106;0,5)
(dia; g massa das espigas) <sup>5/</sup> MS~SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 7,1831^{**} / (1 + \exp (-(\text{dia} - 59,5971^{**}) / 3,9549^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9911 S: (37;0) inf.(60;4) (106;7) $\hat{y}[\text{MI}] = 0,2934^{**}\text{dia} - 13,3222$ r <sup>2</sup> = 0,917 L: (37;-2) inc.(0,29g.dia-1) (106;18) $\hat{y}[\text{MS}] = 0,3562^{**}\text{dia} - 16,1$ r <sup>2</sup> = 0,8426 L: (37;-3) inc.(0,36g.dia-1) (106;22) $\hat{y}[\text{SS}] = 0,3266^{**}\text{dia} - 14,4247$ r <sup>2</sup> = 0,8679 L: (37;-2) inc.(0,33g.dia-1) (106;20)

<sup>1/</sup> O efeito isolado das espécies apresenta apenas um ajuste para a média dos regimes hídricos.

<sup>2/</sup> s: desvio padrão amostral do tratamento.

<sup>3/</sup> Propriedades indicadas pela derivação: máximo (máx.); mínimo (mín.); inflexão da função sigmoideal (inf.); incremento da função linear (inc.).

<sup>4/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

<sup>5/</sup> As panículas do milho não apresentaram grãos nas coletas semanais.

Tabela 3C. Componentes produtivos da quinoa e respectivas coordenadas das regressões associadas sob regime hídrico variável em coletas mediadas no tempo na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ª derivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; cm de altura das plantas) MS~SS~MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 126,4271^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 38,703^{**}) / 7,7947^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9317 S: (30;31) inf.(39;63) (120;126)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 156,7372^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 41,3321^{**}) / 9,944^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9816 S: (30;38) inf.(41;78) (120;157)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 168,5363^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 41,0254^{**}) / 8,4512^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9928 S: (30;36) inf.(41;84) (120;169)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 166,6579^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 41,0621^{**}) / 9,788^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9831 S: (30;41) inf.(41;83) (120;167)
(dia; mm <sup>2</sup> de área basal do coleto) MS>SS~MI>II	$\hat{y}[\text{Inferior}] = \hat{y} = \bar{y} = 203$ s = 47,3
	$\hat{y}[\text{MI}] = 320,6664^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 34,0427^{**}) / 11,2511^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,8132 S: (30;132) inf.(34;160) (106;320)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 377,9056^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 37,5168^{**}) / 7,5741^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,906 S: (30;102) inf.(38;189) (106;378)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 335,1375^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 38,0084^{**}) / 7,7113^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9215 S: (30;88) inf.(38;168) (106;335)
(dia; nº nós) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0059^{**}\text{dia}^2 + 0,8378^{**}\text{dia} - 4,1159$ r <sup>2</sup> = 0,8533 Q: (30;16) máx.(71;26) (106;18)
(dia; folhas planta <sup>-1</sup> ) MS>SS=MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,039^{**}\text{dia}^2 + 4,822^{**}\text{dia} - 51,5647$ r <sup>2</sup> = 0,8459 Q: (30;58) máx.(62;97) (106;21)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,0584^{**}\text{dia}^2 + 9,0385^{**}\text{dia} - 188,2974$ r <sup>2</sup> = 0,6995 Q: (30;30) máx.(77;161) (106;114)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,0551^{**}\text{dia}^2 + 9,1444^{**}\text{dia} - 190,4786$ r <sup>2</sup> = 0,9033 Q: (30;34) máx.(83;189) (106;160)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -0,0592^{**}\text{dia}^2 + 9,1138^{**}\text{dia} - 189,3793$ r <sup>2</sup> = 0,8207 Q: (30;31) máx.(77;161) (106;112)
(dia; g de massa do caule) MS=SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 9,9884^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 43,3853^{**}) / 6,1723^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,8804 S: (30;1) inf.(43;5) (106;10)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 17,5086^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 52,127^{**}) / 8,8713^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9279 S: (30;1) inf.(52;9) (106;17)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 22,6766^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 52,7392^{**}) / 7,4092^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9627 S: (30;1) inf.(53;11) (106;23)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 21,9857^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 55,6483^{**}) / 10,7833^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9324 S: (30;2) inf.(56;11) (106;22)
(dia; g de massa de folhas) MS>SS=MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,0031^{**}\text{dia}^2 + 0,3897^{**}\text{dia} - 6,5159$ r <sup>2</sup> = 0,8329 Q: (30;2) máx.(63;6) (106;0)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,0038^{**}\text{dia}^2 + 0,5203^{**}\text{dia} - 10,3588$ r <sup>2</sup> = 0,8707 Q: (30;2) máx.(68;7) (106;2)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,0048^{**}\text{dia}^2 + 0,6562^{**}\text{dia} - 13,8491$ r <sup>2</sup> = 0,8954 Q: (30;2) máx.(68;9) (106;2)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -0,0039^{**}\text{dia}^2 + 0,5154^{**}\text{dia} - 10,3244$ r <sup>2</sup> = 0,7841 Q: (30;2) máx.(66;7) (106;0)
(dia; g de massa parte aérea) MS~SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 21,6093^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 45,7367^{**}) / 10,775^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,8772 S: (30;4,07) inf.(46;10,80) (106;21,53)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 49,4554^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 61,3874^{**}) / 11,5222^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9005 S: (30;3,04) inf.(61;24,73) (106;48,45)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 63,4128^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 62,3582^{**}) / 11,9863^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9761 S: (30;3,99) inf.(62;31,71) (106;61,79)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 59,8318^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 65,9942^{**}) / 13,5179^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9348 S: (30;3,90) inf.(66;29,92) (106;56,88)

Componente	Equação de regressão, r <sup>2</sup> e coordenadas [(inicial), (1ªderivada), (final)] <sup>2,3,4</sup>
(dia; mm <sup>2</sup> de área foliar) MS~SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,4402^{**}\text{dia}^2 + 48,8155^{*}\text{dia} - 619,3667$ r <sup>2</sup> = 0,7505 Q: (30;449) máx.(55;734) (99;-101)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,715^{**}\text{dia}^2 + 90,6405^{**}\text{dia} - 1745,4711$ r <sup>2</sup> = 0,6372 Q: (30;330) máx.(63;1127) (99;220)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,8376^{**}\text{dia}^2 + 104,222^{**}\text{dia} - 1949,3611$ r <sup>2</sup> = 0,8598 Q: (30;423) máx.(62;1293) (99;159)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -0,9372^{**}\text{dia}^2 + 117,03^{*}\text{dia} - 2413,2579$ r <sup>2</sup> = 0,6093 Q: (30;254) máx.(62;1240) (99;-13)
(dia; cm de comprimento foliar) MS>MI>SS>II	$\hat{y}[\text{II}] = -0,4402^{*}\text{dia}^2 + 48,8155^{*}\text{dia} - 619,3667$ r <sup>2</sup> = 0,7505 Q: (30;449) máx.(55;734) (99;-101)
	$\hat{y}[\text{MI}] = -0,6791^{*}\text{dia}^2 + 88,3412^{*}\text{dia} - 2046,1447$ r <sup>2</sup> = 0,5365 Q: (30;-7) máx.(65;827) (99;44)
	$\hat{y}[\text{MS}] = -0,8362^{**}\text{dia}^2 + 107,2741^{**}\text{dia} - 2493,0873$ r <sup>2</sup> = 0,6758 Q: (30;-27) máx.(64;947) (99;-69)
	$\hat{y}[\text{SS}] = -0,6487^{**}\text{dia}^2 + 82,7656^{*}\text{dia} - 1896,822$ r <sup>2</sup> = 0,5939 Q: (30;2) máx.(64;743) (99;-61)
CRA <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,3593^{**}\text{dia} + 95,3524$ r <sup>2</sup> = 0,7985 L: (30;85) inc.(-0,36%.dia-1) (107;57)
(dia; IF clorofila A) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,1094^{*}\text{dia} + 49,6633$ r <sup>2</sup> = 0,5608 L: (37;46) inc.(-0,11 IFC.dia-1) (106;38)
(dia; IF clorofila B) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0063^{**}\text{dia}^2 + 0,797^{**}\text{dia} - 6,2471$ r <sup>2</sup> = 0,715 Q: (30;12,0) máx.(63;19,0) (106;7,4)
(dia; IF clorofila total) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0098^{**}\text{dia}^2 + 1,1947^{*}\text{dia} + 26,3372$ r <sup>2</sup> = 0,6879 Q: (30;53) máx.(61;63) (106;43)
(dia; % IF clorofila A) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = 0,0072^{**}\text{dia}^2 - 0,9206^{**}\text{dia} + 98,9891$ r <sup>2</sup> = 0,7728 Q: (30;78) min.(64;70) (106;82)
(dia; % IF clorofila B) <sup>1</sup>	$\hat{y}[\text{RH}] = -0,0072^{**}\text{dia}^2 + 0,9206^{**}\text{dia} + 1,0109$ r <sup>2</sup> = 0,7728 Q: (30;22) máx.(64;30) (106;18)
(dia; g massa inflorescência) MS>SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = 11,9646^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 79,4252^{**}) / 10,3635^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9858 S: (37;0) inf.(79;6) (106;12)
	$\hat{y}[\text{MI}] = 27,8942^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 75,6419^{**}) / 5,3982^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9637 S: (37;0) inf.(76;14) (106;28)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 36,1617^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 76,5399^{**}) / 7,6885^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9721 S: (37;0) inf.(77;18) (106;36)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 31,9291^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 77,4064^{**}) / 6,2767^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9803 S: (37;0) inf.(77;16) (106;32)
(dia; g de massa dos grãos em 3 plantas) MS>SS>MI>II	$\hat{y}[\text{II}] = \hat{y} = \bar{y} = 13$ s = 7,7
	$\hat{y}[\text{MI}] = 50,9252^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 79,9613^{**}) / 3,5665^{*}))$ r <sup>2</sup> = 0,9334 S: (71;4) inf.(80;25) (120;51)
	$\hat{y}[\text{MS}] = 63,8409^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 79,9565^{**}) / 5,4195^{*}))$ r <sup>2</sup> = 0,9247 S: (71;10) inf.(80;32) (120;64)
	$\hat{y}[\text{SS}] = 56,7791^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 80,2678^{**}) / 2,4626^{*}))$ r <sup>2</sup> = 0,9578 S: (71;1) inf.(80;28) (120;57)
	$\hat{y}[\text{RH}]^{1/} = 47,341^{**} / (1 + \exp(-(\text{dia} - 80,4063^{**}) / 4,0027^{**}))$ r <sup>2</sup> = 0,9704 S: (71;4) inf.(80;24) (120;47)

<sup>1/</sup> O efeito isolado das espécies apresenta apenas um ajuste para a média dos regimes hídricos.

<sup>2/</sup> s: desvio padrão amostral do tratamento.

<sup>3/</sup> Propriedades indicadas pela derivação: máximo (máx.); mínimo (mín.); inflexão da função sigmoideal (inf.); incremento da função linear (inc.).

<sup>4/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

## APÊNDICE D. EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS DEPENDENTE DOS REGIMES HÍDRICOS

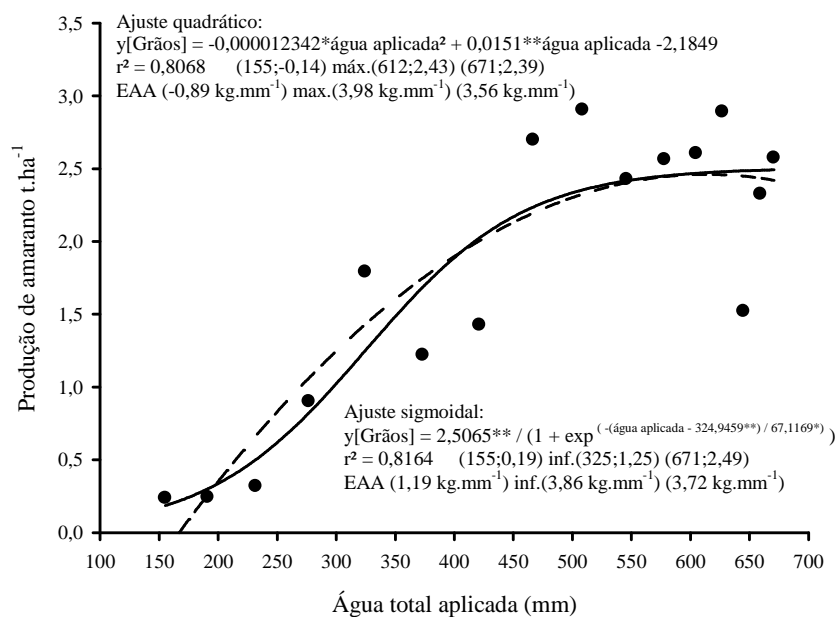


Figura 1D. Ajustes quadrático e sigmoidal da produção de grãos (t.ha<sup>-1</sup>) de amaranto dependente dos regimes hídricos, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

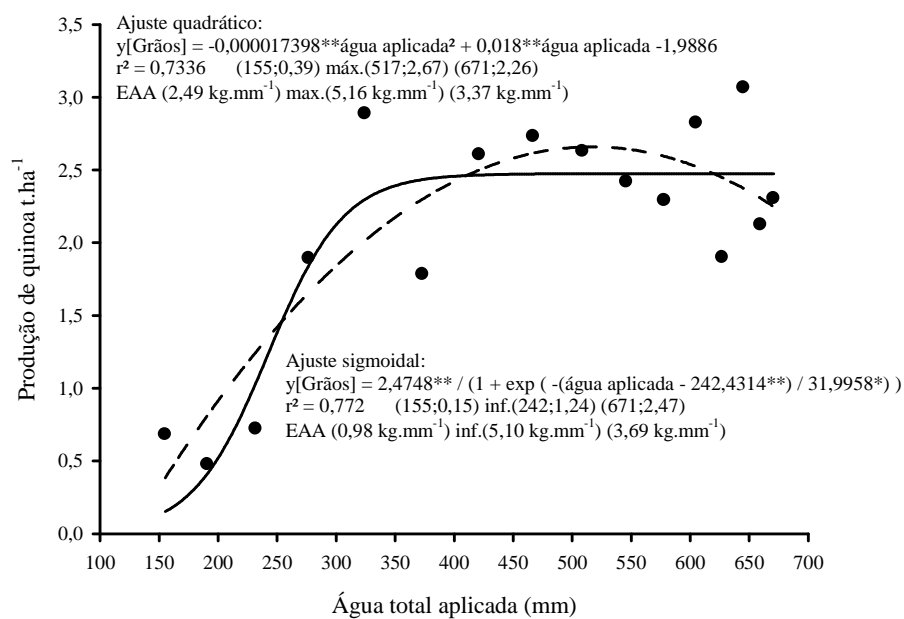


Figura 2D. Ajustes quadrático e sigmoidal da produção de grãos de quinoa (t.ha<sup>-1</sup>) dependente dos regimes hídricos, na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

