



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JONAS DE OLIVEIRA FREIRE

**CULTIVO DO GIRASSOL IRRIGADO SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE NITROGÊNIO**

MOSSORÓ

2016

JONAS DE OLIVEIRA FREIRE

**CULTIVO DO GIRASSOL IRRIGADO SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção o título de Doutor em Manejo do Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel

Co-orientador: Prof. Dr. José Francismar de Medeiros

MOSSORÓ

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F866c Freire, Jonas de Oliveira.
CULTIVO DO GIRASSOL IRRIGADO SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE NITROGÊNIO / Jonas de
Oliveira Freire. - 2016.
41 f. : il.

Orientador: Marcelo Tavares Gurgel.
Coorientador: José Francismar Medeiros.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2016.

1. Oleaginosa. 2. Irrigação. 3. Eficiência no
uso da água. 4. Eficiência no uso do nitrogênio.
5. Line source. I. Gurgel, Marcelo Tavares,
orient. II. Medeiros, José Francismar, co-orient.
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

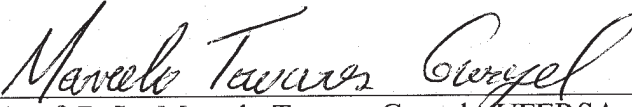
JONAS DE OLIVEIRA FREIRE

**CULTIVO DO GIRASSOL IRRIGADO SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES DE NITROGÊNIO**

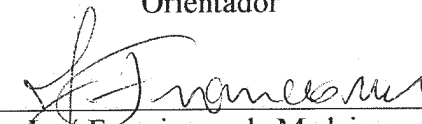
Tese apresentada à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, como parte das
exigências para obtenção o título de Doutor
em Manejo do Solo e Água.

Defendida em: 29 / 08 / 2016.

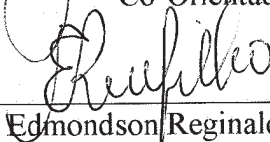
BANCA EXAMINADORA




Prof. D.Sc. Marcelo Tavares Gurgel - UFERSA
Orientador



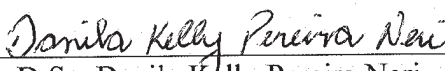
Prof. D.Sc. José Francismar de Medeiros - UFERSA
Co-Orientador



Prof. D.Sc. Edmondson Reginaldo Moura Filho - IFRN
Conselheiro



Prof. D.Sc. Francisco de Queiroz Porto Filho - UFERSA
Conselheiro



Prof.ª D.Sc. Danila Kelly Pereira Neri - IFRN
Conselheira

*Aos meus pais Sebastião Permino Freire e
Marina Alves Freire (In Memoriam).*

*A minha esposa Neuraci Martins da Silva Freire e
aos meus filhos Jonas de Oliveira Freire Filho e
Bárbara Marina Alves Freire Martins*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por guiar meus passos e dar-me força nos momentos difíceis;

Agradeço ao professor Marcelo Tavares Gurgel pela confiança, amizade e pelas orientações na realização deste trabalho;

Agradeço aos conselheiros da banca examinadora pelas sugestões e contribuições na melhoria deste trabalho;

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN/*Campus* Apodi pela infraestrutura e o apoio na realização dos experimentos;

Agradeço aos servidores do IFRN/*Campus* Apodi Felipe Pontes e Cleia Souza pelo suporte na realização dos experimentos;

Agradeço aos bolsistas de iniciação científica do IFRN/*Campus* Apodi Isabela Nakamura, Maíra Valéria, Raíres Ilernísia, Matheus Henrique, Madson Vinícius, Mirla Gêssica e Vinícius Ramires pela ajuda na condução do experimento e coleta dos dados;

Agradeço aos graduandos em licenciatura em química do IFRN/*Campus* Apodi Erineudo Moreira, Monaline Gléica, Priscila Maia e Wanderlei Virginio pela contribuição no beneficiamento dos aquênios e na extração do óleo do girassol;

Agradeço aos amigos que mesmo geograficamente separados contribuíram com o incentivo e apoio moral.

RESUMO

O girassol se adapta a diferentes condições de clima e solo, inclusive ao clima predominante na Região Nordeste, porém, as necessidades hídricas, assim como as recomendações de adubação nitrogenada, ainda não estão perfeitamente definidas. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar a produtividade do girassol e a eficiência do uso da água e nitrogênio. O experimento foi conduzido no período de 29 outubro de 2013 a janeiro de 2014 na Unidade Agrícola Industrial Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Apodi), Apodi, RN. O delineamento estatístico adotado foi em blocos no esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em quatro lâminas de irrigação 58, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc) associadas a quatro doses de nitrogênio 40, 100, 200 e 370% da dose padrão de 70 kg ha⁻¹. A lâmina de água de 517 mm (108% da ETc) associada a dose nitrogenada de 77 kg ha⁻¹ proporcionou 91,3% da produtividade máxima de grãos, sendo estas as doses recomendadas nas condições estudadas. A produtividade de óleo em função das doses de água e nitrogênio acompanhou a tendência da superfície do rendimento de óleo em função das lâminas de água e doses de nitrogênio. As lâminas de água foram mais limitantes às características avaliadas que a adubação nitrogenada.

Palavras-chave: Oleaginosa. Irrigação. Eficiência do Uso da Água. Eficiência no uso do nitrogênio. Line source.

ABSTRACT

Sunflower adapts to different conditions of climate and soil, including the prevailing climate in the Northeast, but the water needs, as well as nitrogen fertilizer recommendations are not yet fully defined. The objective of this study was to evaluate sunflower productivity and efficiency of water and nitrogen use. The experiment was conducted between October 2013 to January 2014 in Unidade Agrícola Industrial Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Apodi), Apodi, in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. Statistical design used was in blocks in the 4 x 4 factorial scheme with four replications. The treatments consisted of four water slides 58, 80, 100 and 120% of crop evapotranspiration (ETc) associated with four doses of nitrogen 40, 100, 200 and 370% of the dose recommended for the cultivation of 70 kg ha⁻¹. The depth water of 517 mm (108% ETc) associated with nitrogen dose of 77 kg ha⁻¹ provided 91.3% of the maximum productivity, these being the doses recommended in the studied conditions. The oil productivity depending on depths water and nitrogen levels followed the trend surface function in oil yield of water depths and doses of nitrogen. The water factor was most limiting characteristics evaluated the nitrogen fertilization.

Keywords: Oleaginous. Irrigation. Water use efficiency. Nitrogen use efficiency. Line source.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos desde o semeio até a colheita, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 09
- Figura 2 – Croqui da área experimental até os 17 DAS (A), após os 17 DAS (B) e isoietas da área experimental após os 17 DAS (C), Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 11
- Figura 3 – Superfície de resposta do diâmetro de capítulo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 17
- Figura 4 – Superfície de resposta da massa de 100 aquênios em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 19
- Figura 5 – Superfície de resposta da altura de plantas em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 20
- Figura 6 – Superfície de resposta da produtividade em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 23
- Figura 7 – Superfície de resposta do rendimento de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 24
- Figura 8 – Superfície de resposta da produtividade de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014 26

Figura 9	–	Superfície de resposta da produtividade de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014	27
Figura 10	–	Superfície de resposta da eficiência do uso do nitrogênio em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014	29
Figura 11	–	Superfície de resposta da eficiência do uso da água na produção de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014	31

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultado da análise química e físico-hídrica do solo na área experimental, Apodi, RN, 2013 08
- Tabela 2 – Resumo da análise de variância do diâmetro médio do capítulo (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), altura média de plantas (AMP), número de capítulos (NMC), produtividade média (PROD), rendimento de óleo (Róleo), produtividade de óleo (Póleo), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso do nitrogênio (EUN) e eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) de girassol cultivar Catissol 01, cultivado sob diferentes doses de água e nitrogênio em Apodi (RN), 2014 14
- Tabela 3 – Médias das variáveis diâmetro médio do capítulo (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), altura média de plantas (AMP), número de capítulos (NMC), produtividade média (PROD), rendimento de óleo (Róleo), produtividade de óleo (Póleo), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso do nitrogênio (EUN) e eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) de girassol cultivar Catissol 01, cultivado sob diferentes doses de água e nitrogênio em Apodi (RN), 2014 15

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMP	Altura média de plantas
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CE	Estado do Ceará
DAS	Dias após a semeadura
DMC	Diâmetro médio de capítulos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
ETr	Evapotranspiração real
EUA	Eficiência do uso da água
EUAóleo	Eficiência do uso da água na produção de óleo
EUI	Eficiência do uso da irrigação
EUN	Eficiência do uso do nitrogênio
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
mm	Milímetro
Kc	Coeficiente de cultivo
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
L	Lâmina de água
MA	Massa da amostra
MM100	Massa média de 100 aquênios
MO	Massa de óleo
N	Nitrogênio
NMC	Número médio de capítulos
Póleo	Produtividade de óleo
PROD	Produtividade de aquênios
Róleo	Rendimento de óleo
RN	Estado do Rio Grande do Norte
WUE	Efficiency in water use

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1	Origem e características botânicas do girassol	03
2.2	Importância da cultura	04
2.3	Necessidade hídrica da cultura	05
2.4	Adubação nitrogenada no girassol	06
3	MATERIAIS E MÉTODOS	08
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	33
	ANEXOS	37

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus Annuus* L.) é uma oleaginosa com características agronômicas desejáveis e potencial de utilização no semiárido nordestino, para tanto, tais características só são alcançadas quando a cultura é manejada de forma correta, com práticas agrícolas fundamentadas (VIANA et al., 2012).

O girassol é utilizado principalmente na alimentação humana, com o óleo de excelente qualidade, elevada estabilidade de oxidação e características nutricionais e funcionais à dieta humana. Na alimentação animal é utilizado na forma de farelo, como silagem e na alimentação de aves com seus aquênios, constituindo uma importante fonte de proteína para a alimentação animal, além da produção integrada de mel pelo potencial atrativo da flor para as abelhas. O girassol também é utilizado na geração de energia como matéria prima na produção de biodiesel. Outro potencial do girassol é como planta ornamental, seja na decoração de jardins ou pela demanda em floriculturas como flor de corte.

O girassol é cultivado em todos os continentes, sendo uma das quatro maiores culturas produtoras de óleo vegetal. Atualmente a Ucrânia, Rússia, China, Romênia, Argentina e Bulgária são os maiores produtores, juntos somam 67,3% da produção mundial que em 2014 foi de 41,34 milhões de toneladas e o Brasil ocupa a 25ª posição no ranking mundial com produção de 158,56 mil toneladas (FAO, 2016).

O teor de óleo nos aquênios de girassol varia dependendo do potencial produtivo do cultivar, possuindo rendimento médio de óleo de 40%. Destaca-se pela concentração de ácidos graxos poli-insaturados, característica essa que confere elevada procura pela indústria de alimentos.

A cultura do girassol é tolerante ao estresse hídrico comparado a outras oleaginosas, devido as características morfológicas e fisiológicas, e ao sistema radicular profundo, que quando bem implantada pode absorver água de uma profundidade de dois metros, o que não significa que seu desenvolvimento não seja alterado com a deficiência hídrica no solo.

O nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol, sua deficiência causa a desordem nutricional sendo o principal nutriente limitante da produção, já que é componente em enzimas e proteínas.

Os fatores de produção, água e adubação nitrogenada, além de limitarem a produção agrícola carecem de um consenso a respeito dos níveis ótimos a serem aplicados, para se conseguir o máximo rendimento agrônômico do girassol, que varia de acordo com a cultivar e

com as condições ambientais uma vez que, assim como a falta, os excessos desses fatores de produção podem refletir no insucesso da cultura em condições de campo.

A região Nordeste do Brasil possui grande parte de seu território inserido em clima Semiárido. O estado do Rio Grande do Norte convive com características climáticas bastante peculiares, cujo período chuvoso se restringe ao primeiro semestre do ano e a estiagem é bastante frequente, prolongando-se por até sete meses do ano, tornando a irrigação peça fundamental para a produção agrícola.

Nos últimos anos o girassol vem despertando interesse dos produtores potiguares. Por ser uma cultura sem tradição na região, não existe estudos sobre o manejo da água e adubação nitrogenada. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta da cultura do girassol a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio, nas condições edafoclimáticas de Apodi-RN.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e características botânicas do girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta oleaginosa originária do continente Norte Americano que foi levada para o continente europeu como planta ornamental pelos colonizadores portugueses e espanhóis em meados do século XVI. As propriedades oleaginosas dos frutos foram descobertas na Rússia em 1830, retornando a América do Norte pelo Canadá (Gonçalves et al., 1999).

Atualmente, o girassol é cultivado em todos os continentes. Os maiores produtores da cultura são a Ucrânia, Rússia, China, Romênia, Argentina e Bulgária, estes detêm 67,3% da produção mundial que em 2014 foi de 41,34 milhões de toneladas. O Brasil apresenta crescimento notável na produção de girassol no Brasil, a qual passou de 123,6 mil toneladas em 2012 para 158,6 mil toneladas em 2014 (FAO, 2016).

O girassol é uma dicotiledônea pertencente à ordem Asterales, família Asteraceae e tribo Heliantheae (Joly, 1993). A espécie *Helianthus annuus* L., faz parte do gênero *Helianthus* juntamente com mais quarenta e nove espécies e dezenove subespécies, sendo doze espécies anuais e trinta e sete perenes, todas nativas das Américas (Ungaro, 1986). Apresenta sistema radicular pivotante e bastante ramificado, e não ocorrendo impedimentos físicos ou químicos, explora grandes profundidades do solo, extraindo água e nutrientes onde outras culturas geralmente não alcançam (Castro et al., 1996).

O caule do girassol é herbáceo, ereto, vigoroso e cilíndrico, com ou sem pelos, geralmente sem ramificações, estriado longitudinalmente, fistulado e oco, cheio de um tecido aquoso e esponjoso que diminuem com a maturação, possuindo coloração verde até a floração, tornando-se amarelo e castanho na época da colheita (Pelegrine, 1985). Suas folhas são alternadas e pecioladas de coloração variando de verde-escuro a verde-amarelo, com comprimento de 8 a 50 cm e com um número de folhas por caule variando entre 20 e 40, dependendo das condições climáticas e da variedade, assumindo diversos formatos e tamanhos (Castro et al., 1996).

A inflorescência é do tipo capítulo, podendo ser plana, convexa ou côncava, formada por várias flores hermafroditas que originam de 800 a 1700 frutos denominados aquênios, arranjados em arcos radiais (Castro et al., 1996). O diâmetro do capítulo varia geralmente de

10 a 40 cm, dependendo da variedade ou híbrido e das condições do desenvolvimento, devido ao clima e solo (Ungaro, 2000).

O girassol é uma planta alógama, ou seja, possui polinização cruzada que é realizada por insetos, principalmente por abelhas. Algumas cultivares tem alto grau de autocompatibilidade, produzindo mesmo na ausência de insetos polinizadores (Castro et al, 1996).

2.2 Importância da cultura

O girassol é uma planta de múltiplas utilizações, dentre elas podemos destacar sua utilização como flor ornamental, uso dos aquênios em substituição as amêndoas em geral, grãos in natura, farelo e silagem para alimentação de animais. Pode ser consumido na alimentação humana in natura, tostado, salgado e na forma de chá, mas é o óleo a principal forma do consumo humano. Também é utilizado como matéria-prima para a produção de biodiesel.

Dentre as diversas características da cultura podemos destacar a ampla adaptação à diferentes condições climáticas, vasta possibilidade de participação em esquema de sucessão, consorciação e rotação de culturas, elevada capacidade de ciclagem de nutrientes devido ao profundo sistema radicular, o elevado teor de óleo nos aquênios de 30 a 50%, o baixo custo da extração do óleo, pois é facilmente obtido por meio do uso de prensas e é uma cultura com melhor aproveitamento da água do solo e da adubação remanescente (Castro et al., 2010; Ungaro, 2006).

O girassol possui em média 40% de óleo em seus aquênios, esse óleo é considerado um produto nobre por suas qualidades nutricionais e estabilidade oxidativa. A qualidade de um óleo é dada pela sua composição de ácidos graxos, o óleo de girassol é composto por 11,6% de ácidos graxos saturados, 23,1% monossaturados (oléico) e 65,3% poliinsaturados (65,1% linoléico e 0,2% linolênico). O elevado teor de ácido Linoléico, confere ao óleo de girassol distinta qualidade, já que este é um ácido graxo essencial que desempenha importantes funções fisiológicas no organismo humano (OLIVEIRA & VIEIRA, 2004). Possui alto teor de ácido linoléico, sendo bastante utilizado no preparo de alimentos por possuir ácidos graxos essenciais. O óleo de girassol ultimamente vem despertando o interesse de muitos consumidores pelo recente conhecimento científico sobre suas propriedades nutricionais, deixando-o em uma posição de destaque no cenário mundial no consumo de óleo comestível. O girassol produz atualmente aproximadamente 1.000 litros de óleo por hectare por ano. Com alto teor de óleo

nos grãos, conseqüentemente com maior rendimento por tonelada que algumas leguminosas anuais. O girassol é uma cultura que se adapta bem a pequena propriedade, favorecendo a inclusão do agricultor familiar na cadeia produtiva, tendo assim importância no aspecto social da agricultura (EMBRAPA, 2006).

2.3 Necessidade hídrica da cultura

A água é um dos recursos mais exigidos pelas plantas, tornando-se frequentemente fator limitante da produção, e para suprir essa demanda é comum o uso da irrigação. Anastasi et al. (2010) afirmam que quando irrigado o rendimento e a produtividade de óleo em cultivos de girassol chegam a dobrar. Os fatores que influenciam na quantidade de água requerida pelas plantas variam em função das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo do solo e da cultura. Entretanto, solos bem preparados e com alta capacidade de armazenamento de água permitem, à planta, tolerar maiores períodos sem chuvas ou irrigação (Castro, 1996).

O estresse hídrico vegetal pode ser causado tanto pelo excesso, reduzindo a aeração e concentração de O₂ no solo, acarretando numa menor absorção de água, quanto pelo déficit de água no solo, afetando o crescimento e o desenvolvimento da planta, modificando sua anatomia, morfologia, bioquímica e fisiologia. O déficit hídrico reduz sensivelmente a produção vegetal, inviabilizando o cultivo em regiões de clima árido ou semiárido. Já o excesso diminui a aeração do solo, afeta a absorção de nutrientes, favorece o surgimento de doenças, além de possibilitar a lixiviação dos nutrientes (Lopes & Lima, 2015).

Para Sfredo et al. (1984) a fase mais crítica ao déficit hídrico para a cultura do girassol é o período entre 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final da floração. Já Castro et al. (2006) afirmam que a fase mais crítica ao déficit hídrico para produção de óleo ocorre nos dez primeiros dias após o secamento das flores liguladas.

Thomaz et al. (2012) verificaram forte correlação entre o teor e rendimento de óleo com a precipitação pluvial ocorrida no período da floração. Castro et al. (2006) observaram redução no rendimento de óleo no girassol quando submetido ao estresse hídrico.

A cultura do girassol tem baixa eficiência no uso da água, uma vez que, cada litro de água consumido produz menos de duas gramas de matéria seca (CAMPOS et al., 2015). A eficiência do uso da água (EUA) está relacionada a economia de água, o uso altamente eficiente da água pela planta e tolerância ao stress hídrico com médio-alto rendimento nestas condições (MEI, 2013). Castro et al., (1996) afirmam que em condições de déficit hídrico a eficiência no

uso da água aumenta de 20 a 50%. Klar (1988) afirma que a fertilidade do solo promove uma maior eficiência de uso da água pelas culturas, sendo o nitrogênio um dos nutrientes que promove expressiva variação na EUA pelas culturas. Assim, quando o rendimento da cultura aumenta com a adubação, a eficiência do uso da água pela cultura também aumenta.

Para a EMBRAPA (2010), as necessidades hídricas do girassol ainda não estão perfeitamente definidas, existindo informações que indicam desde menos de 200 mm até mais de 900 mm por ciclo. Entretanto, na maioria dos casos, 500 a 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao máximo. Apesar de ser considerado tolerante à seca, verifica-se que o déficit hídrico é o principal fator limitante para a produção da cultura quando a fertilidade do solo não se encontra comprometida, podendo reduzir drasticamente a produção de grãos. O total médio de água usada nos diferentes períodos de crescimento da cultura do girassol é de aproximadamente 20% durante o período vegetativo e de 55% durante o florescimento, restando 25% para o período de enchimento de grãos.

2.4 Adubação nitrogenada no girassol

Entre os nutrientes, o nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol, afetando seu crescimento e desenvolvimento. O período que ocorre maior taxa de absorção de nutrientes na cultura do girassol é a fase compreendida imediatamente após a formação do botão floral até o final do florescimento (Biscarro et al, 2008). O nitrogênio é constituinte de aminoácidos e nucleotídeos, sendo fundamental para a obtenção de produtividades elevadas em culturas anuais.

Nas oleaginosas, o nitrogênio é responsável pelo equilíbrio nos teores de proteínas acumuladas e produção de óleo, influenciando o metabolismo de síntese de compostos de reserva nas sementes. Adubação com alto teor de nitrogênio, eleva a concentração do nutriente nos tecidos e reduz a síntese de óleos, favorecendo a rota metabólica de acúmulo de proteínas nos aquênios (Castro et al., 1999).

Para Castro et al. (1996) a adubação nitrogenada deve ser parcelada, com 30% em fundação e o restante 30 dias após a emergência das plantas, principalmente em solos de textura arenosa. O girassol extrai grandes quantidades de nitrogênio do solo, entretanto, parte desse nutriente retorna ao solo após a colheita através dos restos culturais. O crescimento do girassol depende mais de nitrogênio do que qualquer outro nutriente, devido ao sistema radicular

profundo ele é capaz de extrair nitrogênio a partir de camadas do solo que são pouco acessíveis a outras culturas anuais (FAO, 2010).

Carvalho & Pissaia (2002) não observaram alteração no teor de óleo para doses de nitrogênio variando de 0 a 125 kg ha⁻¹, porém obtiveram incremento no rendimento de grãos, cuja estimativa do rendimento de óleo variou de 785,6 a 895,6 kg ha⁻¹ de óleo respectivamente para as doses de 25 a 125 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

O nitrogênio é o segundo nutriente mais requerido pelo girassol, absorvendo 41 kg de nitrogênio para 1000 kg de aquênios produzidos, extraíndo tanto da adubação nitrogenada quanto dos restos culturais, exportando 56% do total absorvido (Castro & Oliveira, 2005). Blamey et al. (1987) argumentam que o nitrogênio é o maior limitante nutricional na produção do girassol, reduzindo de até 60% de seu potencial de produtivo em decorrência da sua deficiência.

A recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do girassol varia entre 50 a 200 kg ha⁻¹ (Quaggio & Ungaro, 1997; Biscarro et al. 2008; Lobo et al. 2012 e Vasconcelos et al. 2015). Lobo et al. (2012), afirmam não haver um consenso na dose ótima para o máximo rendimento da cultura do girassol. Os mesmos afirmam ainda, que a resposta do girassol à diferentes doses de nitrogênio depende do cultivar e das condições ambientais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no período de 29 de outubro de 2013 à 29 de janeiro de 2014, na Unidade Agrícola Industrial Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN/*Campus* Apodi), no município de Apodi-RN, com coordenadas geográficas de latitude: 5° 37' 27'' S, longitude: 37° 48' 88'' W e altitude média de 131 m.

O solo da área experimental é da classe dos CAMBISSOLOS HÁPLICOS, textura franco-argiloso, cujas análises químicas e físico-hídrica nas camadas de 0-20 e 20-40 cm se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise química e físico-hídrica do solo na área experimental, Apodi, RN, 2013.

Camada (cm)	pH	P	K	Na	Mg	Al	Ca	MO
		(mg dm ⁻³)			(cmol _c dm ⁻³)			(g kg ⁻¹)
0 - 20	7,17	2,00	305,00	22,00	2,45	0,0	7,35	18,23
20 - 40	6,40	2,00	207,00	16,00	1,45	0,0	3,00	12,31

Camada (cm)	Argila	Silte	Areia	Ds	Dp	CC	PM	US
	(g kg ⁻¹)			(kg dm ⁻³)		(kg kg ⁻¹)		
0 - 20	243,69	298,21	458,10	1,80	2,45	0,21	0,11	0,27
20 - 40	313,05	365,65	321,30	1,89	2,49	0,19	0,10	0,24

MO: matéria orgânica; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partícula; CC: capacidade de campo; PM: ponto de murcha; US: umidade de saturação.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Apodi é do tipo BSw^h, ou seja, semiárido e muito quente, com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono. A precipitação média anual é de 765 mm. As temperaturas médias anuais são: máxima de 34,1 °C, média de 27,5 °C e mínima de 22,8 °C. A umidade relativa média de 66,8%. Os dados climáticos obtidos durante a condução do estudo encontram-se na Figura 1.

O preparo do solo constou de duas gradagens espaçadas de 15 dias, seguida da abertura dos sulcos com 0,15 m de profundidade para adubação de fundação. A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo e as exigências nutricionais da cultura, conforme a 5ª aproximação das Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999). Assim, aplicou-se 80, 34, 1 e 3 kg ha⁻¹ de P, K, B e Zn respectivamente, sendo o fósforo aplicado em fundação e o potássio, boro e o zinco em cobertura aos 35 dias após a semeadura (DAS). Como fonte dos nutrientes utilizou-se o superfosfato simples, cloreto de potássio, ácido bórico e sulfato de zinco. Aplicou-se 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio em fundação e

8, 50, 120 e 240 kg ha⁻¹ em cobertura aos 35 DAS em função dos tratamentos, na forma de sulfato de amônia.

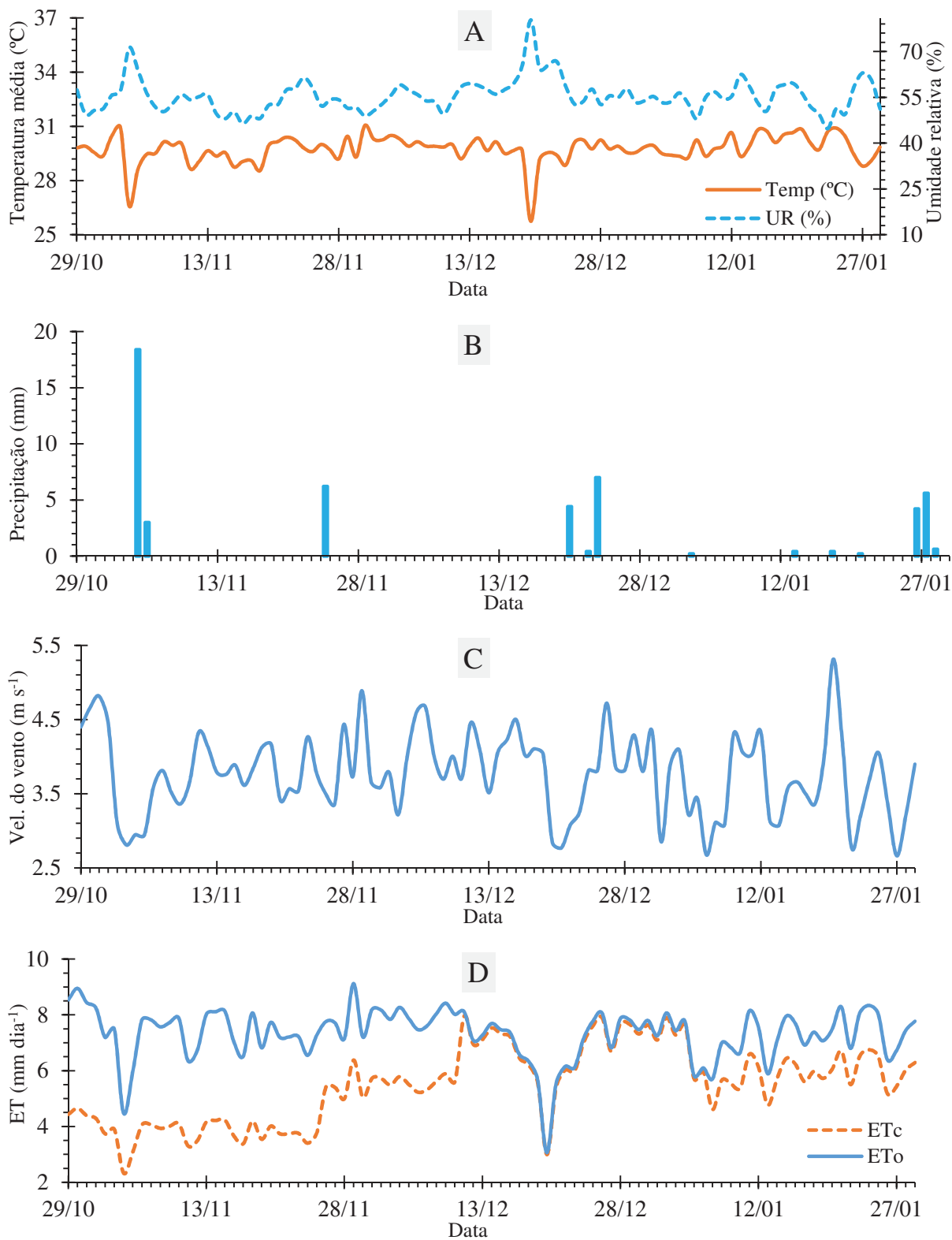


Figura 1. Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos de 29 de outubro de 2013 à 29 de janeiro de 2014, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

A cultivar utilizada foi a Catissol 01 produzida pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), semeando-se três sementes por cova no espaçamento de 0,5 x 0,35 m. O desbaste foi realizado aos 11 DAS deixando uma planta por cova, correspondendo a 26 plantas úteis por parcela e a população de 57.143 plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental foi em blocos no esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em quatro lâminas de irrigação 58, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc) associadas a quatro doses de nitrogênio 40, 100, 200 e 370% da dose recomendada para a cultura de 70 kg ha⁻¹. A área total ocupada pelo experimento foi de 1.248 m² (24 x 52 m) composta por 48 linhas de plantio, as parcelas com área de 11 m² (2 x 5,5 m) com 4 linhas de plantio e área útil ocupando 4,5 m² (1 x 4,5 m) com 26 plantas em 2 linhas de cultivo.

O experimento foi irrigado até os 17 DAS via aspersão convencional fixo composto por três linhas laterais operando individualmente. As linhas laterais possuíam diâmetro de 50 mm e 54 m de comprimento, sendo conectadas a uma linha principal com diâmetro de 50 mm através de cavaletes e registros de gaveta. Cada linha lateral continha dez aspersores, com bocal de 3,0 mm, raio de alcance de 11,8 m, vazão de 0,57 m³ h⁻¹, espaçados de 6 x 12 m e pressão de serviço de 250 kPa (Figura 2A).

Após 17 DAS foram diferenciadas as lâminas de irrigação e o sistema passou a operar em um sistema de “aspersão em linha” (“line source sprinkler system”), de acordo com a metodologia proposta por Hanks et al. (1976). O sistema era composto de uma linha central com dez aspersores espaçados a cada 6 m, sobre uma tubulação de 50 mm localizada no centro da área experimental. As sobreposições dos aspersores promoveram maior precipitação junto à linha lateral e gradiente decrescente perpendicular à tubulação. As parcelas localizaram-se ao longo da direção perpendicular à linha de aspersores permitindo a diferenciação das lâminas de irrigação (Figura 2B e 2C). O sistema de irrigação foi avaliado obtendo-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 91,5%.

As irrigações foram realizadas a cada dois dias, repondo a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc). A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada através da equação de Penman-Monteith Allen et al. (2006), com dados climáticos (Figura 1) foram obtidos na estação meteorológica do INMET (Apodi–A340), instalada próximo à área experimental. A ETc foi obtida com os coeficientes de cultivos (Kc) ajustados por Cavalcante Junior et al. (2013), ou seja, 0,52; 0,70; 0,98 e 0,81 correspondendo as fases fenológicas I, II, III e IV do girassol com a duração de 28, 15, 27 e 23 dias respectivamente.

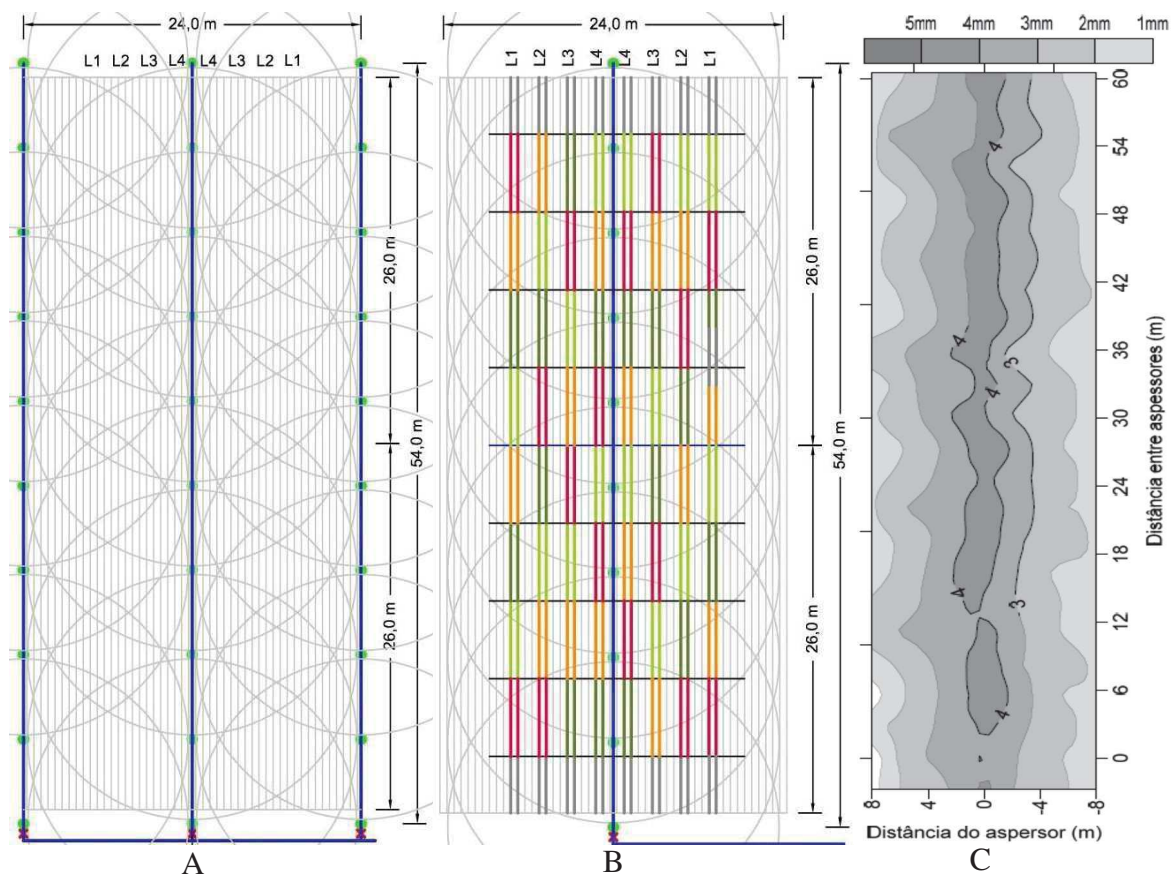


Figura 2. Croqui da área experimental até os 17 DAS (A), após os 17 DAS (B) e isoietas da área experimental após os 17 DAS (C), Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

Aos 11 DAS foi realizada uma capina manual com o intuito de retirar as plantas invasoras. Não foi aplicado nenhum tipo de defensivo agrícola, pois as plantas não sofreram ataques de pragas.

A colheita foi realizada em 29/01/2014 de forma manual aos 93 DAS, quando a coloração dos capítulos apresentava cor castanho clara, evoluindo gradualmente para castanho escuro, conforme recomendação de Balla et al. (1995). Na ocasião da colheita foram obtidos a altura média de plantas (AMP) e o número de capítulos (NC), após a secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C por 72 horas, avaliou-se o diâmetro médio de capítulos (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), a produtividade (PROD), o rendimento de óleo (Róleo), a produtividade de óleo (Póleo), a eficiência do uso da água (EUA), a eficiência do uso do nitrogênio (EUN) e a eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo).

Na determinação do rendimento de óleo, as amostras foram trituradas em um moinho de facas, obtida a massa das amostras (MA) e encaminhadas para um extrator do tipo Soxhlet, onde permaneceram em refluxo com hexano pelo tempo de 6 h. Após a extração do óleo, o

hexano foi recuperado no rotoevaporador e em seguida o óleo extraído foi acondicionado em banho maria a 65 °C por 12 horas, para posterior obtenção da massa de óleo (MO).

As variáveis analisadas foram obtidas pelas seguintes equações:

$$R_{\text{óleo}} = \frac{MO}{MA} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$P_{\text{óleo}} = \text{PROD} \times \frac{R_{\text{óleo}}}{100} \quad \text{Equação 2}$$

$$EUA = \frac{\text{PROD}}{L} \quad \text{Equação 3}$$

$$EUN = \frac{\text{PROD}}{N} \quad \text{Equação 4}$$

$$EUA_{\text{óleo}} = \frac{P_{\text{óleo}}}{L} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

Róleo – rendimento de óleo (%);

MO – massa de óleo (g);

MA – massa da amostra (g);

Póleo – produtividade de óleo (kg ha⁻¹);

PROD – produtividade de aquênios secos em estufa a 65°C por 48 horas (kg ha⁻¹);

EUA – eficiência do uso da água na produção de aquênios (kg ha⁻¹ mm⁻¹);

L – lâmina de água (mm);

EUN – eficiência no uso do nitrogênio na produção de aquênios (kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha);

N – dose de nitrogênio (kg ha⁻¹);

EUAóleo – eficiência do uso da água na produção de óleo (kg ha⁻¹ mm⁻¹).

A altura média de plantas foi obtida em quatro plantas representativas da parcela, medindo-se do solo até a inserção do capítulo (m). Para obtenção do diâmetro médio de capítulo foram mensurados os diâmetros de todos os capítulos da parcela (cm). A massa média de 100 aquênios (g) foi obtida com duas amostras de 100 aquênios conforme Biscarro et al. (2008). A

produtividade foi obtida com a massa dos aquênios de cada parcela (kg ha^{-1}) e a umidade corrigida para 13,0%.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$). Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey, e ao estudo de regressão, utilizando-se o programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2010) e o TableCurve 3D 4.0 (Systat Software, 2002) para obtenção das curvas de respostas.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$). Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey, e ao estudo de regressão, utilizando-se o programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2010) e o TableCurve 3D 4.0 (Systat Software, 2002) para obtenção das curvas de respostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis diâmetro médio do capítulo (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), altura média de plantas (AMP), produtividade (PROD), rendimento de óleo (Róleo), produtividade de óleo (Póleo), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) e a eficiência do uso do nitrogênio (EUN) foram influenciadas significativamente pelas lâminas de água e doses de nitrogênio e o número de capítulos (NC) foi influenciado pelas lâminas de água (Tabela 2). Verificou-se ainda interação significativa entre os fatores lâmina de água e doses de nitrogênio sobre as variáveis massa média de 100 aquênios e eficiência do uso do nitrogênio (EUN).

Tabela 2. Resumo da análise de variância do diâmetro médio do capítulo (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), altura média de plantas (AMP), número de capítulos (NMC), produtividade média (PROD), rendimento de óleo (Róleo), produtividade de óleo (Póleo), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso do nitrogênio (EUN) e eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) de girassol cultivar Catissol 01, cultivado sob diferentes doses de água e nitrogênio em Apodi (RN), 2014

FV	GL	Quadrado Médio				
		DMC	MM100	AMP	NMC	PROD
Lâmina (L)	3	54,81**	25,35**	2,11**	24,14**	13138195,50**
Nitrogênio (N)	3	3,14**	2,09**	0,09*	1,31 ^{ns}	670634,71**
L x N	9	0,16 ^{ns}	0,24**	0,04 ^{ns}	1,84 ^{ns}	22436,77 ^{ns}
Blocos	3	3,38**	0,11 ^{ns}	0,19**	1,56 ^{ns}	43024,60 ^{ns}
Resíduo	45	0,51	0,07	0,03	1,16	71621,00
Total	63	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6,11	5,64	8,48	4,40	11,89

FV	GL	Quadrado Médio				
		Róleo	Póleo	EUA	EUN	EUAóleo
Lâmina (L)	3	153,48**	1804914,38**	16,04**	2193,16**	3,65**
Nitrogênio (N)	3	14,13**	103132,23**	3,32**	9590,05**	0,62**
L x N	9	1,94 ^{ns}	2890,45 ^{ns}	0,19 ^{ns}	491,14**	0,02 ^{ns}
Blocos	3	1,59 ^{ns}	3865,37 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,85 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Resíduo	45	2,07	7197,07	0,28	13,68	0,03
Total	63	-	-	-	-	-
CV (%)	-	4,12	11,88	11,51	13,39	11,31

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; ^{ns} não significativo pelo teste F (p<0,05); ** significativo pelo teste F (p<0,01)

O diâmetro médio de capítulos (DMC) respondeu positivamente as lâminas de irrigação (Tabela 3). Os tratamentos com as lâminas 100% e 120% da ETc não diferenciaram

estatisticamente entre si, sendo superiores aos tratamentos com 80% e 58% da ETC. As lâminas de água influenciaram o DMC dentro das doses nitrogenada em estudo.

Tabela 3. Médias das variáveis diâmetro médio do capítulo (DMC), massa média de 100 aquênios (MM100), altura média de plantas (AMP), número de capítulos (NMC), produtividade média (PROD), rendimento de óleo (Róleo), produtividade de óleo (Póleo), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso do nitrogênio (EUN) e eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) de girassol cultivar Catissol 01, cultivado sob diferentes doses de água e nitrogênio em Apodi (RN), 2014

Variável analisada	Lâmina de água (mm)			
	275	381	478	575
DMC (cm)	9,35 c	10,90 b	13,12 a	13,15 a
MM100 (g)	3,27 d	4,36 c	5,16 b	6,25 a
AMP (m)	1,39 c	1,75 b	2,08 a	2,20 a
NMC	24,38 b	25,88 a	24,56 b	22,88 c
PROD (kg ha ⁻¹)	1108,92 d*	1996,74 c	3197, a	2696,98 b
Róleo (%)	31,17 d*	33,86 c	38,29 a	36,44 b
Póleo (kg ha ⁻¹)	307,88 d	597,16 c	1082,45 a	869,16 b
EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	3,58 c	4,64 b	5,92 a	4,15 b
EUN (kg ha ⁻¹ kg ⁻¹ ha)	13,26 d	23,52 c	39,79 a	33,95 b
EUAóleo (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	1,12 c	1,57 b	2,27 a	1,51 b

Variável analisada	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	28	70	140	260
DMC (cm)	11,08 b	11,48 ab	11,88 ab	12,08 a
MM100 (g)	4,39 c	4,55 c	4,88 b	5,21 a
AMP (m)	1,77 b	1,82 a	1,90 a	1,94 a
NMC	24,50 a	24,00 a	24,63 a	24,56 a
PROD (kg ha ⁻¹)	1994,91 c	2178,65 bc	2379,19 ab	2447,21 a
Róleo (%)	34,13 b	34,41 b	34,98 ab	36,25 a
Póleo (kg ha ⁻¹)	619,76 c	680,91 bc	753,79 ab	802,20 a
EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	4,02 c	4,40 bc	4,84 ab	5,03 a
EUN (kg ha ⁻¹ kg ⁻¹ ha)	63,05 a	24,10 b	15,04 c	8,33 d
EUAóleo (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	1,39 b	1,53 b	1,71 a	1,84 a

Desdobramento das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio					
Variável analisada	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Lâmina de água (mm)			
		275	381	478	575
DMC (cm)	28	8,89 bA	10,26 bA	12,73 aA	12,34 aA
	70	9,32 bA	10,75 bA	12,67 aA	13,19 aA
	140	9,36 cA	11,23 bA	13,42 aA	13,52 aA
	260	9,74 bA	11,35 bA	13,66 aA	13,56 aA
MM100 (g)	28	2,72 cB	4,23 bA	4,60 bB	6,01 aA
	70	2,88 dB	4,21 cA	4,89 bB	6,22 aA
	140	3,56 dA	4,40 cA	5,20 bB	6,34 aA
	260	3,90 cA	4,58 bA	5,93 aA	6,40 aA
AMP (m)	28	1,27 cA	1,68 bA	1,91 abA	2,24 aA
	70	1,40 cA	1,75 bcA	1,91 abA	2,21 aA
	140	1,44 bA	1,74 bA	2,26 aA	2,17 aA
	260	1,47 cA	1,83 bcA	2,26 aA	2,18 abA
NMC	28	24,75 abA	26,00 aA	24,00 abA	23,25 bA
	70	24,75 aA	25,50 aA	24,25 aA	21,50 bA
	140	24,50 abA	26,00 aA	24,50 abA	23,50 bA
	260	23,50 bcA	26,00 aA	25,50 abA	23,25 cA
PROD (kg ha ⁻¹)	28	956,68 cA	1617,76 bB	2898,47 aA	2506,72 aA
	70	983,44 dA	1948,71 cAB	3149,83 aA	2632,62 bA
	140	1173,71 dA	2176,28 cA	3345,10 aA	2821,67 bA
	260	1321,84 dA	2244,20 cA	3395,86 aA	2826,93 bA

Róleo (%)	28	29,77 cB	33,76 bA	37,33 aB	35,66 abA
	70	30,03 cB	33,78 bA	37,57 aAB	36,25 abA
	140	31,49 bAB	33,82 bA	38,05 aAB	36,57 aA
Póleo (kg ha ⁻¹)	260	33,41 cA	34,10 cA	40,20 aA	37,27 bA
	28	251,33 dA	479,02 cB	957,89 aC	790,81 bA
	70	260,90 dA	582,03 cAB	1038,67 aBC	842,05 bA
	140	328,32 dA	650,11 cA	1125,24 aAB	911,48 bA
	260	390,97 dA	677,47 cA	1208,02 aA	932,32 bA
EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	28	3,08 bB	3,76 bB	5,37 aA	3,86 bA
	70	3,17 cB	4,52 bAB	5,84 aA	4,05 bcA
	140	3,79 cAB	5,06 bA	6,20 aA	4,34 bcA
	260	4,26 bA	5,21 bA	6,29 aA	4,35 bA
EUN (kg ha ⁻¹ kg ⁻¹ ha)	28	30,24 dA	51,13 cA	91,61 aA	79,23 bA
	70	10,88 cB	21,56 bB	34,85 aB	29,12 aB
	140	7,42 cB	13,76 bcC	21,15 aC	17,84 abC
	260	4,50 bB	7,64 abC	11,56 aD	9,62 abD
EUAóleo (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	28	0,91 cB	1,26 bB	2,00 aB	1,38 bA
	70	0,95 cB	1,53 bAB	2,19 aAB	1,47 bA
	140	1,19 cAB	1,71 bA	2,35 aA	1,59 bA
	260	1,42 cA	1,78 bA	2,53 aA	1,62 bcA

*Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na linha e por mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade

Corroborando com estes resultados Silva et al. (2011), avaliando a influência de lâminas de irrigação em cultivares de girassol no Vale do Curu-CE, observaram aumento linear para o diâmetro do capítulo para a cultivar Catissol 01. Os mesmos obtiveram diâmetro médio de 18,06 cm para as lâminas variando de 25 a 125% da ECA. Os diâmetros médios obtidos pelos referidos autores foram superiores ao diâmetro médio de capítulo obtido neste experimento, vale ressaltar que neste estudo os diâmetros médios foram mensurados após secagem a 65 °C por 72 horas, reduzindo a umidade e conseqüentemente as dimensões dos capítulos.

Já Soares et al. (2015) observaram ajuste quadrático dos diâmetros de capítulos à reposição hídrica com a cultivar Hélio 251. Os mesmos obtiveram o diâmetro máximo (11,20 cm) para a lâmina estimada de 105% da ETr. Esse valor é inferior aos obtidos nesse estudo, cuja maior média dos diâmetros dos capítulos foi 13,66 cm obtida com a lâmina de 478 mm (100% da ETc). Silva et al. (2007) também constataram que os tratamentos submetidos à deficiência hídrica apresentam menores diâmetros de capítulos.

Para Lobo & Grassi Filho (2007), o diâmetro de capítulo é um componente de produção de grande importância na cultura do girassol, por apresentar associação positiva com a produtividade de grãos.

Quando se considera o diâmetro médio de capítulos em função das doses de nitrogênio obteve-se efeito quadrático (Figura 3). O maior diâmetro (12,08 cm) foi obtido com a dose de 260 kg ha⁻¹ de N. As doses de nitrogênio não influenciaram o diâmetro médio de capítulos dentro de cada lâmina de água estudada (Tabela 3).

As menores dose de nitrogênio pode causar a deficiência do nitrogênio no final da fase vegetativa e no início da fase reprodutiva no girassol, determinando uma redução no número de aquênio e consequentemente a redução no diâmetro do capítulo. Essa redução é reflexo da ação do nitrogênio na fase de diferenciação floral.

O diâmetro de capítulo do girassol em função das lâminas de água (L) e doses de nitrogênio (N) pode ser estimado pelo modelo observado na Figura 3, sendo a maior curvatura do fator lâmina, indica superior expressão deste, sobre a característica analisada.

O diâmetro máximo de capítulo (Figura 3) estimado foi de 13,90 cm, obtido com a combinação da lâmina de água de 630 mm (132% da ETc) com a dose de nitrogênio de 240 kg ha⁻¹ (343% da dose padrão).

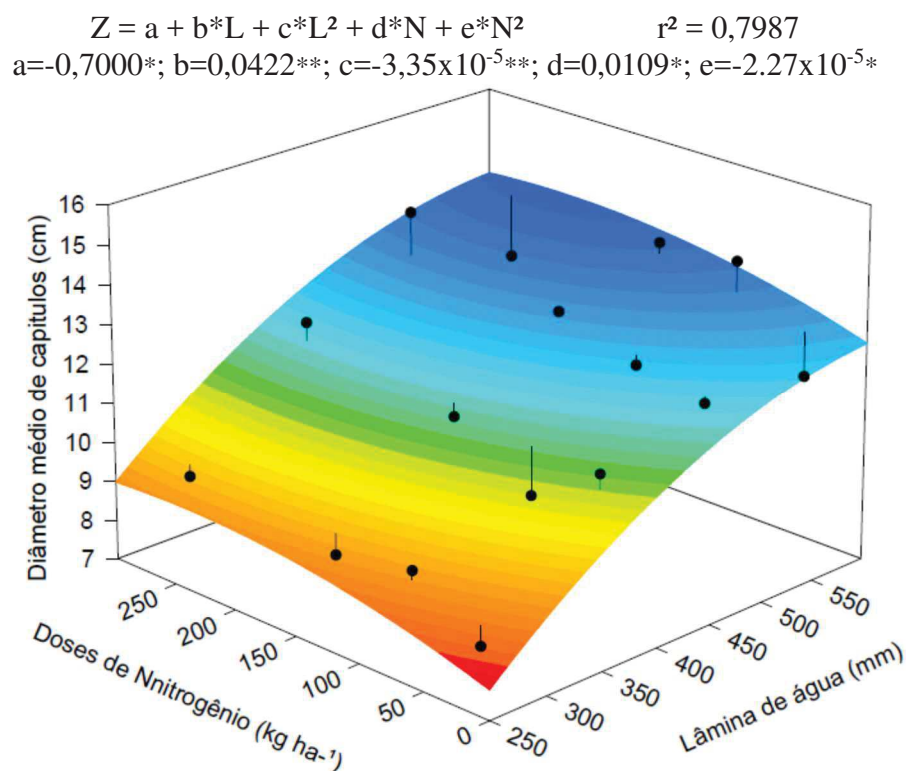


Figura 3. Superfície de resposta do diâmetro de capítulo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

Biscarro et al. (2008), Lobo et al. (2012), Oliveira et al. (2014) e Vasconcelos et al. (2015) também observaram efeito quadrático para o diâmetro médio de capítulos em função da adubação nitrogenada, obtendo os diâmetros estimados de 11,90; 28,24; 15,28 e 14,54 cm para as doses de 44,9; 103,0; 148,7 e 87,3 kg ha⁻¹ de N respectivamente com a cultivar H358, Hélio 251, Hélio 250 e Catissol 01.

Freitas et al. (2012) avaliando os efeitos da adubação nitrogenada e lâminas de irrigação no cultivar Multissol irrigada por gotejamento com água de poço, encontraram comportamento semelhante para o diâmetro do capítulo. Os mesmos obtiveram o diâmetro de capítulo máximo estimado de 15,9 cm, com a combinação da lâmina de 222,5 mm e da dose nitrogenada de 75 kg ha⁻¹.

A diferença entre o diâmetro máximo estimado em função das lâminas de água e doses de nitrogênio ótima obtida no presente trabalho, quando comparada às obtidas por Freitas et al. (2012), pode estar relacionada às características das cultivares e dos sistemas de irrigação empregados.

Com relação a massa de 100 aquênios verificou-se incrementos positivos de 2,72 a 6,40 g em função das lâminas de água e doses nitrogenadas (Tabela 3), sendo que a lâmina de 575 mm superou as demais obtendo massa de 6,25 g.

No que se refere as doses de nitrogênio, observa-se que o tratamento com 260 kg ha⁻¹ de nitrogênio foi superior aos demais, alcançando a massa média de 100 aquênios de 5,21 g (Tabela 3). Os tratamentos com 28 e 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio não tiveram diferença significativa, obtendo a massa média de 100 aquênios de 4,39 e 4,55 g respectivamente, sendo superados pelos demais tratamentos. Constatou-se também influência das doses nitrogenadas na massa média de 100 aquênios nos tratamentos com 275 e 478 mm de lâmina de água (Tabela 3).

Observa-se que a massa média de 100 aquênios respondeu a ambas variáveis independentes com incrementos lineares (Figura 4). A maior inclinação da superfície de resposta para as lâminas de água indica a maior expressão deste fator sobre a massa dos aquênios.

Na massa de 100 aquênios obteve-se aumento linear com taxa de 0,010 g por mm de água aplicada, e ganho linear de 0,004 g por kg ha⁻¹ de nitrogênio adicionado. A massa máxima de 100 aquênios (6,40 g) foi obtida na combinação da lâmina de 575 mm com a dose nitrogenada de 260 kg ha⁻¹ (Figura 4)

Corroborando com estes resultados, Viana et al. (2012) verificaram aumentos lineares para a massa de 100 aquênios em função do aumento das lâminas aplicadas no cultivar Catissol 01. Os mesmos observaram incremento de 0,0023 g por mm de água aplicado, e a maior massa de 100 aquênios (4,82 g) foi obtida com a lâmina de 807,1 mm. Soares et al. (2015) trabalhando em vasos a cultivar Hélio 251 em ambiente protegido, obtiveram resultados condizentes com

esta pesquisa, os mesmos constataram efeito linear crescente com incremento na massa de 100 sementes de 0,014 g por unidade de reposição hídrica no intervalo de 40 a 120% da ETr.

$$Z = a + b*L + c*N \quad r^2 = 0,9310$$

$$a=0,1311*; b=9,76 \times 10^{-3}**; c=3,58 \times 10^{-3}**$$

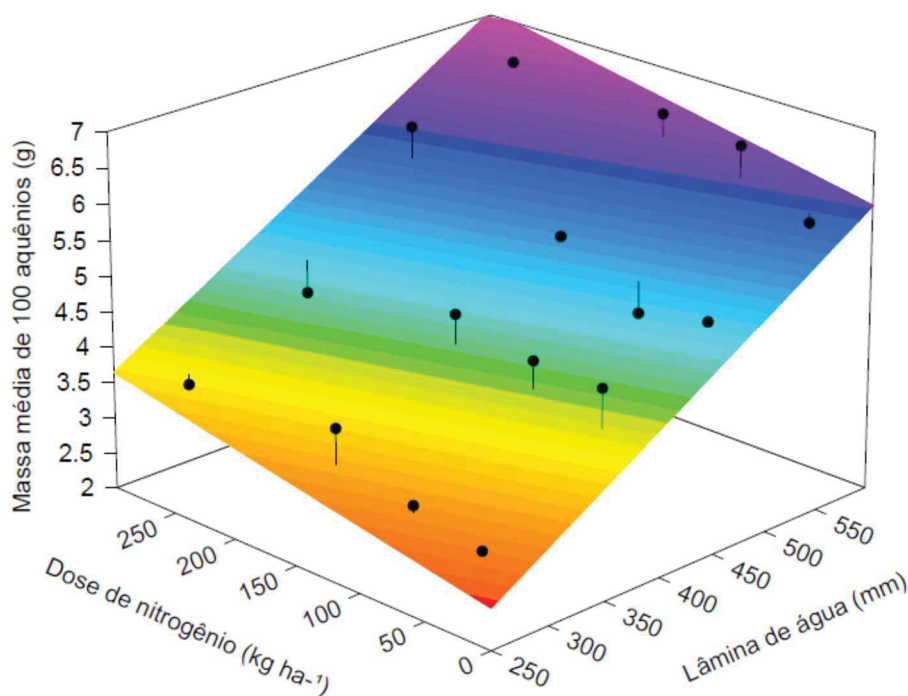


Figura 4. Superfície de resposta da massa de 100 aquênios em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

A altura de plantas não diferenciou para as lâminas de 478 e 575 mm de água, e a lâmina de 275 mm proporcionou alturas de plantas inferiores as demais (Tabela 3).

As doses de nitrogênio de 70, 140 e 260 kg ha⁻¹ não proporcionaram diferenças entre si nas alturas de plantas, sendo estas superiores à altura de plantas do tratamento com 28 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3). As lâminas de água proporcionaram diferenças nas alturas de plantas dentro de cada nível de adubação nitrogenada e as doses de nitrogênio não proporcionaram diferença na altura de plantas dentro das lâminas de água (Tabela 3).

A Figura 5 representa a superfície de resposta da altura de plantas em função das lâminas de água e doses de nitrogênio. Observa-se pela maior inclinação da superfície que as lâminas de água foram mais expressivas para a altura de plantas que as doses de nitrogênio.

A que a altura de plantas apresentou efeito quadrático para as lâminas de água, aumentando até a lâmina máxima estimada de 689 mm, atingindo a altura máxima estimada de 2,38 m quando combinado com a dose de 260 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 5)

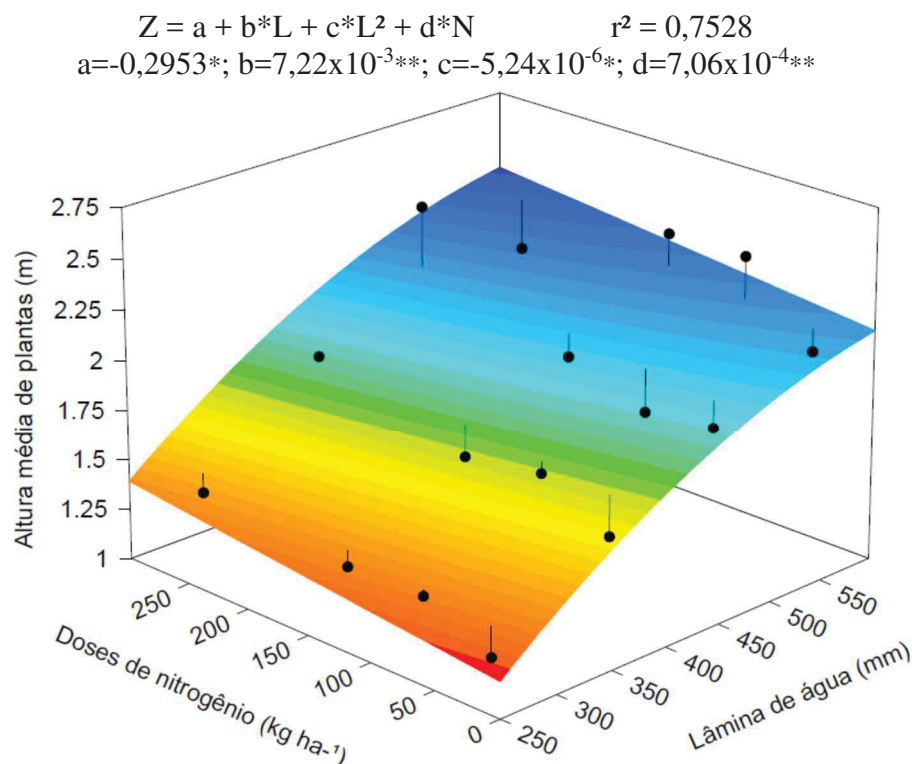


Figura 5. Superfície de resposta da altura de plantas em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

As doses nitrogenadas proporcionaram efeito linear para a altura de plantas, obtendo aumento a taxa de 0,71 mm de altura por kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado. O nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol, sua omissão causa o desbalanceamento nutricional, reduzindo significativamente o desenvolvimento e a altura das plantas.

Viana et al. (2012) analisando a cultivar Catissol 01, também observaram que a altura de plantas em função das lâminas de irrigação se ajustou ao modelo do tipo linear, e a lâmina que proporcionou o maior crescimento (1,08 m) foi de 807,1 mm equivalente a 125 % da ECA. O aumento linear também foi observado por Freitas et al. (2012) com a cultivar Multissol, os mesmos obtiveram a maior altura estimada (1,12 m) para lâmina de 370,8 mm (125% ECA). As alturas médias de plantas em função das lâminas de água obtidas neste experimento foram

superiores as encontradas na literatura. O efeito quadrático obtido nestas condições experimentais deve-se a ocorrência do tombamento das plantas mais altas situadas no tratamento com maior lâmina de água em decorrência da elevada velocidade do vento aos 84 DAS (Figura 1), reduzindo assim, a altura média de plantas no tratamento com maior lâmina (575 mm).

Oliveira et al. (2014) observaram incrementos na altura de plantas com o aumento das doses nitrogenadas, os mesmos obtiveram a altura máxima estimada de 1,87, 1,74 e 1,72 m para a dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente para os híbridos H251, H360 e H250. As alturas de plantas em função das doses nitrogenadas obtidas nesse experimento foram superiores as obtidas por Oliveira et al. (2014). Essa diferença pode ser atribuída aos fatores edafoclimáticos e a diferenças entre o cultivar estudada.

A lâmina de água de 575 mm obteve o número de capítulos inferior as demais lâminas de água (Tabela 3). Essa redução no número de capítulos ocorreu em função do tombamento das plantas que eram mais altas e possuíam capítulos maiores. O tombamento foi provocado pela ação do vento que atingiu maior velocidade aos 84 DAS. As doses nitrogenadas não influenciaram o número médio de capítulos.

Observa-se a superior produtividade (2.829,48 kg ha⁻¹) na lâmina de 478 mm (100% da ETc), decrescendo com a lâmina de 575 mm (120% da ETc), conforme observado na Tabela 3. As lâminas de água influenciaram a produtividade dentro de cada dose nitrogenada em estudo (Tabela 3).

Vale salientar que ocorreu um decréscimo de 15,5% na produtividade no tratamento com maior lâmina (120% ETc) relativo ao tratamento com a lâmina 100% da ETc, podendo ser associado a redução de 8% no número médio de capítulos colhidos neste tratamento (Tabela 3), quando comparado com a média obtida nos demais tratamentos. A redução na quantidade de capítulos colhidos adveio pelo tombamento das plantas mais altas por não suportarem o peso dos capítulos que eram maiores quando submetidos a elevada velocidade do vento com rajadas ocorrida aos 84 DAS (Figura 1C). Os capítulos das plantas tombadas em contato com o solo úmido entraram em decomposição, não sendo contabilizados para a produtividade.

O diâmetro de capítulos e a massa média de 100 aquênios contribuíram para o aumento da produtividade em função das lâminas de água e doses nitrogenadas, pois estes fatores de produção apresentaram tendência semelhantes.

Silva et al. (2011) encontraram potencial produtivo máximo de 4.222,76 kg ha⁻¹ para a lâmina de 533,7 mm (150% da ECA) para a cultivar Catissol 01, estes resultados foram

superiores aos obtidos neste experimento. Já Viana et al. (2012) verificaram uma tendência crescente do potencial produtivo do girassol com lâminas de irrigação equivalente de 25 a 125% da ECA, os mesmos obtiveram produtividade máxima de 1.634,38 kg ha⁻¹, com uma lâmina 68,8% superior a lâmina máxima aplicada neste experimento.

Taiz & Zeiger (2009) explicam que a redução do potencial produtivo da cultura em condições de deficiência hídrica, deve-se ao mecanismo de fechamento dos estômatos no intuito de restringir a perda de água reduzindo a transpiração, sacrificando a absorção de CO₂ e acarretando, como consequência, reduções nas taxas fotossintéticas. Estes mecanismos reduzem a acumulação de fotossintatos e, por conseguinte, a produtividade. Lopes & Lima (2015) relatam que o excesso de água no solo causa o estresse hídrico, reduzindo aeração e a concentração de O₂, decrescendo a absorção de água que está associada ao crescimento e ao metabolismo das células das raízes que necessitam de O₂ para sua respiração.

Ocorreram incrementos na produtividade com o aumento nas doses de nitrogênio (Tabela 3). As doses 140 e 260 kg ha⁻¹ de nitrogênio obtiveram produtividade de 2.105,48 e 2.167,92 kg ha⁻¹ respectivamente, o tratamento com 28 kg ha⁻¹ de N. As doses de nitrogênio não influenciaram a produtividade nas lâminas de água estudada (Tabela 3).

Biscarro et al. (2008), Lobo et al. (2012) e Vasconcelos et al. (2015) também observaram efeito quadrático para produtividade em função da adubação nitrogenada, porém obtiveram maior produtividade 2.101; 3.803 e 3.334 kg ha⁻¹, com doses menores de nitrogênio 51,7; 105,0 e 86,8 kg ha⁻¹ respectivamente. A menor produtividade obtida neste experimento apesar de maiores doses de nitrogênio aplicada, pode ser explicada pela baixa eficiência da adubação nitrogenada em cobertura quando a cultura é irrigada por aspersão convencional, devido a maior lixiviação do nitrogênio em relação a irrigação localizada.

O modelo que melhor se ajustou para a variável produtividade foi o polinomial de segunda ordem (Figura 6). A produtividade máxima (ponto de máxima) foi de 2.754,4 kg ha⁻¹, obtida com a combinação da lâmina de água de 517 mm (108% da ETC) com a dose de nitrogênio de 230 kg ha⁻¹ (288% da dose padrão). No entanto, mantendo-se a lâmina otimizada de água e reduzindo-se em 2/3 a dose nitrogenada (76,7 kg ha⁻¹ de N) obtêm-se a produtividade 2.524,0 kg ha⁻¹ correspondendo a 91,3% da produção máxima.

Observa-se que a água foi o fator mais limitante na produtividade da cultura do girassol (Figura 6), fato esse comprovado pela maior curvatura das linhas do fator lâminas de água na superfície de resposta da produtividade.

Em vários trabalhos têm-se observado efeitos quadráticos das lâminas de água e doses de nitrogênio sobre os rendimentos das culturas. Barros et al. (2002), avaliando os efeitos dos níveis de água e da adubação nitrogenada no rendimento econômico da cultura do melão, observaram efeito quadrático da produção em função dos fatores de produção. Mousinho et al. (2003), avaliando o desempenho da melancia sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, também observaram efeito quadrático da produção em função dos fatores de produção, efeito semelhante também foi constatado por Silva et al. (2008) para a cultura da alface em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

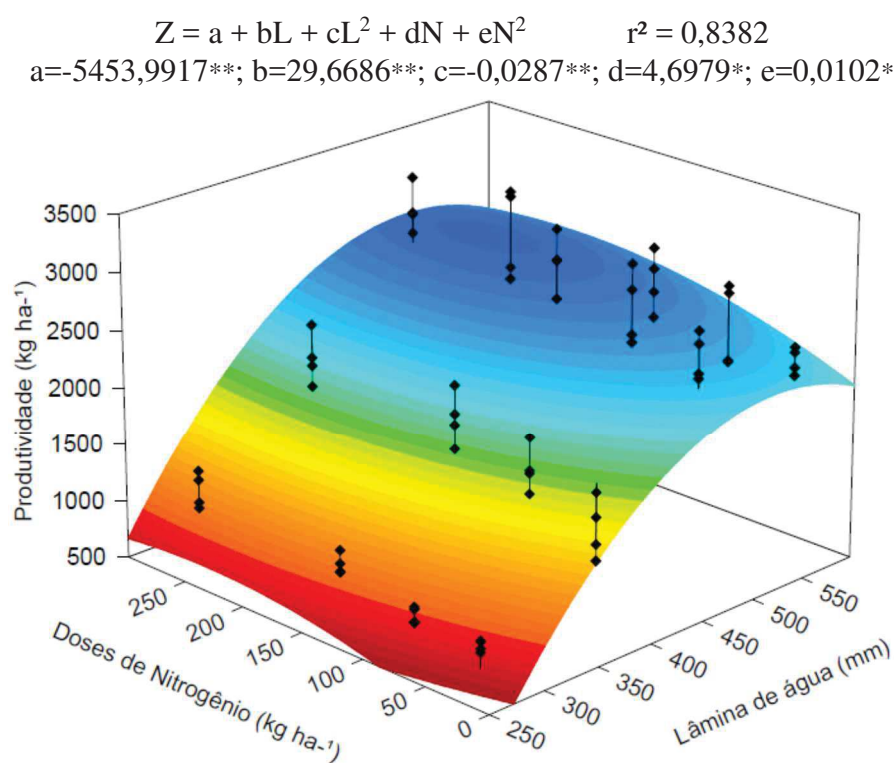


Figura 6. Superfície de resposta da produtividade em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

As lâminas de água influenciaram o rendimento de óleo dentro de cada dose nitrogenada em estudo, e as doses de nitrogênio influenciaram o rendimento de óleo nas lâminas de água de 275 e 478 mm (Tabela 3). Ainda com relação ao rendimento do óleo (Tabela 3), observou-se aumento de até 38,29% obtido com a lâmina de 478 mm (100% da ETc), decrescendo com a lâmina de 575 mm (120% da ETc).

Estes resultados condizem com os obtidos por Silva et al. (2011), quando observaram aumento no teor de óleo para a cultivar Catissol 01 com o aumento nas lâminas de água, obtendo

o maior rendimento (43%) com a lâmina de 533,7 mm, superando os resultados obtidos neste experimento. Ali et al. (2009) também observaram maiores teores de óleo em híbridos irrigados normalmente, quando comparados com girassol sob stress hídrico na fase vegetativa e na fase reprodutiva. Já Gomes et al. (2012) não observaram diferença no teor de óleo em função das lâminas de irrigação suplementar. Tais diferenças obtidas entre estes estudos podem estar relacionadas com as diferentes condições de manejo dos mesmos, bem como as cultivares empregadas.

O maior (40,20%) e o menor (29,77%) rendimento de óleo foram obtidos com a combinação da dose de água e nitrogênio de 478mm x 260 kg ha⁻¹ e 275mm x 28 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabela 3).

O modelo que melhor se ajustou para a variável rendimento de óleo foi o polinomial de terceira ordem (Figura 7). Constatou-se que a água foi o fator mais limitante no rendimento de óleo na cultura do girassol, fato esse comprovado pela maior curvatura das linhas do fator lâminas de água na superfície de resposta do rendimento de óleo.

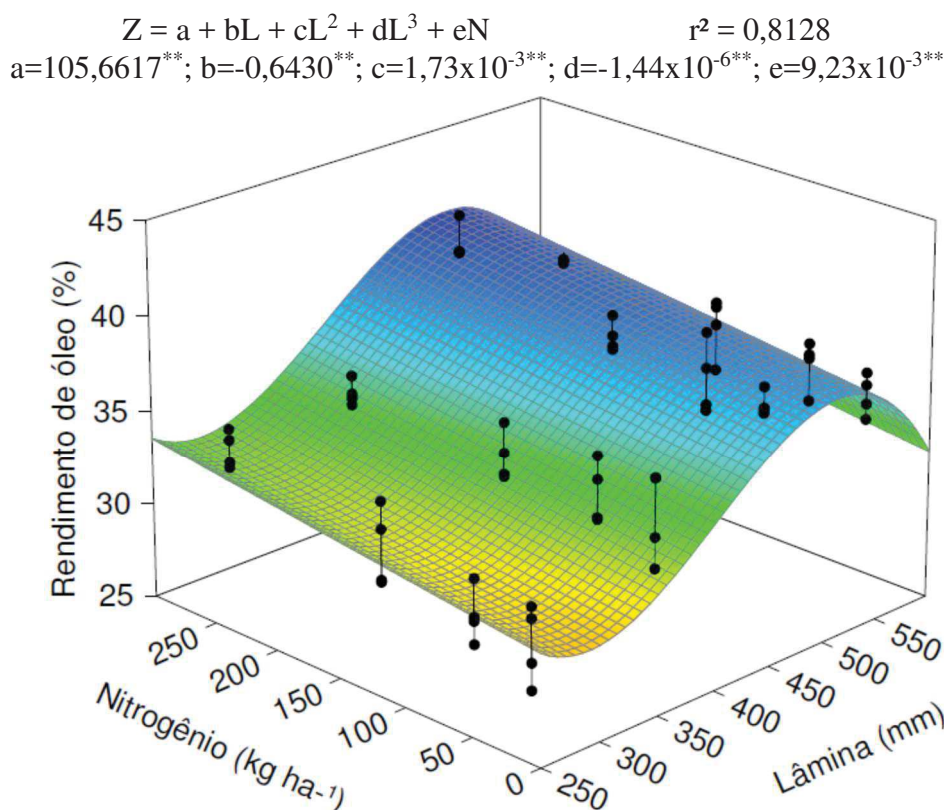


Figura 7. Superfície de resposta do rendimento de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

A adubação nitrogenada proporcionou incrementos ao rendimento de óleo de 0,92% por kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado (Figura 7). Estes resultados diferem dos encontrados por Carvalho & Pissaia (2002) que não encontraram alteração no teor de óleo em função da adubação nitrogenada variando de zero a 125 kg ha⁻¹, e dos obtidos por Zheljzakov et al. (2009) que observaram redução no teor de óleo em quatro híbridos (DKF3875, DKF2990, DKF3510, DKF3901) de girassol como aumento das doses de Nitrogênio (0, 67, 134 e 202 kg ha⁻¹).

Vale ressaltar que a diminuição no rendimento de óleo com o distanciamento da lâmina padrão (478 mm), pode ser atribuído ao stress hídrico, seja pelo déficit, com o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração, a fotossíntese e a respiração ou pelo excesso de água no solo, diminuindo a concentração de O₂ no solo ocasionando a redução da clorofila e o aumento dos carotenóides, acarretando como consequência reduções nas taxas fotossintéticas, reduzindo a acumulação de fotossintatos e por conseguinte o teor de óleo no girassol.

Já o aumento no rendimento de óleo com incremento nas doses de nitrogênio, deve-se a performance do nitrogênio sobre o equilíbrio nos teores de proteínas acumuladas e da produção de óleo, já que influencia o metabolismo de síntese de compostos de reserva nas sementes.

A produtividade de óleo foi influenciada dentro de cada dose nitrogenada pelas lâminas de água, e as lâminas de água de 381 e 478 mm foram influenciadas pelas doses de nitrogênio (Tabela 3).

Observa-se aumento na produtividade de óleo atingindo 1.082,45 kg ha⁻¹, com aumento da lâmina de água até 478 mm (100% da ETc), decrescendo para a maior dose de água aplicada (Tabela 3). A menor produtividade de óleo foi 307,88 kg ha⁻¹ obtida com a menor lâmina aplicada (275 mm).

A maior e a menor (1208,02 e 251,33 kg ha⁻¹) produtividade de óleo foram obtidas com a combinação da dose de água e nitrogênio de 478mm x 260 kg ha⁻¹ e 275mm x 28 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabela 3).

Silva et al. (2011) também verificaram incremento na produtividade de óleo com o acréscimo nas lâminas de água para a cultivar Catissol 01, os mesmos obtiveram a produtividade de óleo máxima de 1.851,55 kg ha⁻¹ com a lâmina de 533,7 mm (150% ECA), sendo superior ao resultado obtido nestas condições experimentais. Corroborando com estes resultados Silva et al. (2007) também observaram aumento da produção de óleo com o aumento das lâminas de água, obtendo produtividade de óleo inferiores as obtidas nesse experimento, alcançando as máximas de 633,47 e 467,42 kg ha⁻¹ respectivamente para as cultivares H250 e H251, com a lâmina 522,14 mm (130% ETc).

No que se refere as doses de nitrogênio, houve acréscimo na produtividade de óleo (Póleo), com o aumento nas doses de nitrogênio, sendo que nas doses de 28 e 260 kg ha⁻¹ de N verificou-se a menor (619,76 kg ha⁻¹) e a maior (802,20 kg ha⁻¹) produtividade (Tabela 3).

Zagonel & Mundstock (1991) e Lobo et al. (2012) também verificaram acréscimo na produtividade de óleo com o aumento da adubação nitrogenada. Os primeiros autores obtiveram produtividade de óleo superiores as obtidas neste experimento correspondendo a 1.041 e 954 kg ha⁻¹ para as cultivares DK180 e Contissol 711 respectivamente.

O modelo que melhor se ajustou para a variável produtividade de óleo foi o polinomial de terceira ordem (Figura 8). A água foi o fator mais limitante na produtividade de óleo na cultura do girassol, fato esse demonstrado pela maior curvatura das linhas do fator lâminas de água na superfície de resposta do rendimento de óleo, assemelhando-se a superfície de resposta do rendimento de óleo (Figura 7).

A produtividade de óleo está aliada ao rendimento de óleo e a produtividade de aquênios. Quando ocorreram variações na disponibilidade de água e nitrogênio, os incrementos na produtividade de óleo foram influenciados em maior grau pelo rendimento de óleo dos aquênios, conforme observado nas Figuras 2 e 3.

$$Z = a + bL + cL^2 + dL^3 + eN + f \quad N^2 \quad r^2 = 0,9428$$

$$a=8727,8224^{**}; b=-72,5715^{**}; c=0,1953^{**}; d=-1,62 \times 10^{-4**}; e=1,7815^{**}; f=-3,47 \times 10^{-3*}$$

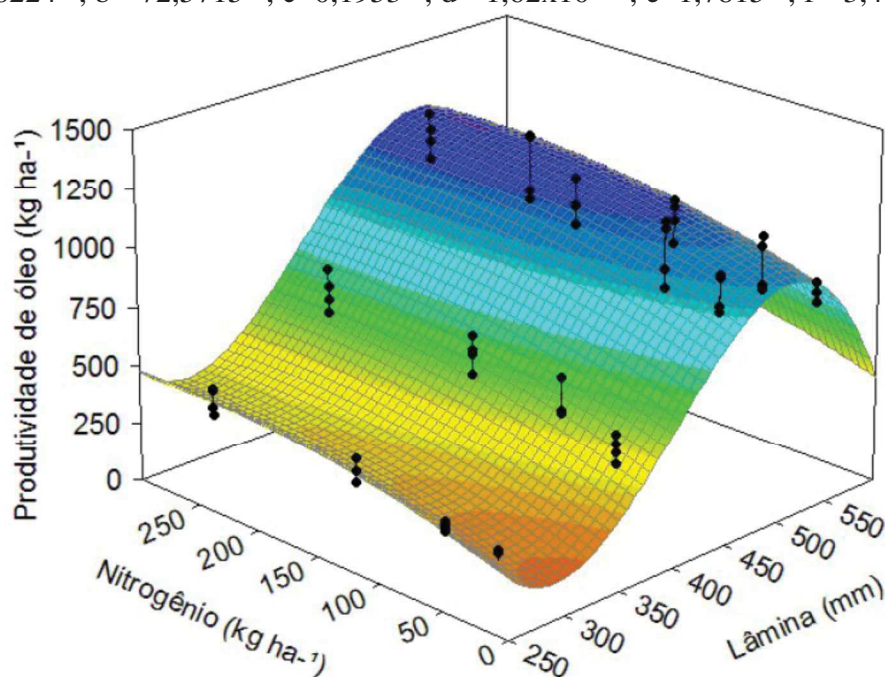


Figura 8. Superfície de resposta da produtividade de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

Com relação à eficiência do uso de água (EUA) esta foi influenciada dentro de cada dose nitrogenada pelas lâminas de água, e as doses de nitrogênio influenciaram a EUA nas lâminas de água de 275 e 381 mm (Tabela 3).

Observa-se que a EUA em função das lâminas de água foi crescente até a lâmina de 478 mm (100% ETc) obtendo $5,92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, declinando com o aumento da lâmina (120% da ETc -575 mm), chegando a $4,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Tabela 3). O menor valor obtido para a EUA ($3,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) ocorreu com a lâmina de 275 mm (58% ETc).

Corroborando com estes resultados, Gomes et al. (2012) obtiveram a melhor eficiência da irrigação (EUI) $7,43 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com a lâmina equivalente a 100% da ETc, reduzindo a EUI com as lâminas equivalentes a 200, 150 e 50% da ETc. Já Duarte et al. (2012) observaram redução na EUA com a aplicação de maiores lâminas de irrigação, quando irrigaram com suspensão hídrica a cultivar Catissol 01, divergindo dos resultados obtidos nestas condições experimentais.

$$Z = a + bL + cL^2 + dL^3 + eN + fN^2 \quad r^2 = 0,8034$$

$$a=31,5522^{**}; b=-0,2503^{**}; c=6,93 \times 10^{-4**}; d=-5,97 \times 10^{-7**}; e=0,0116^{**}; f=-2,51 \times 10^{-5*}$$

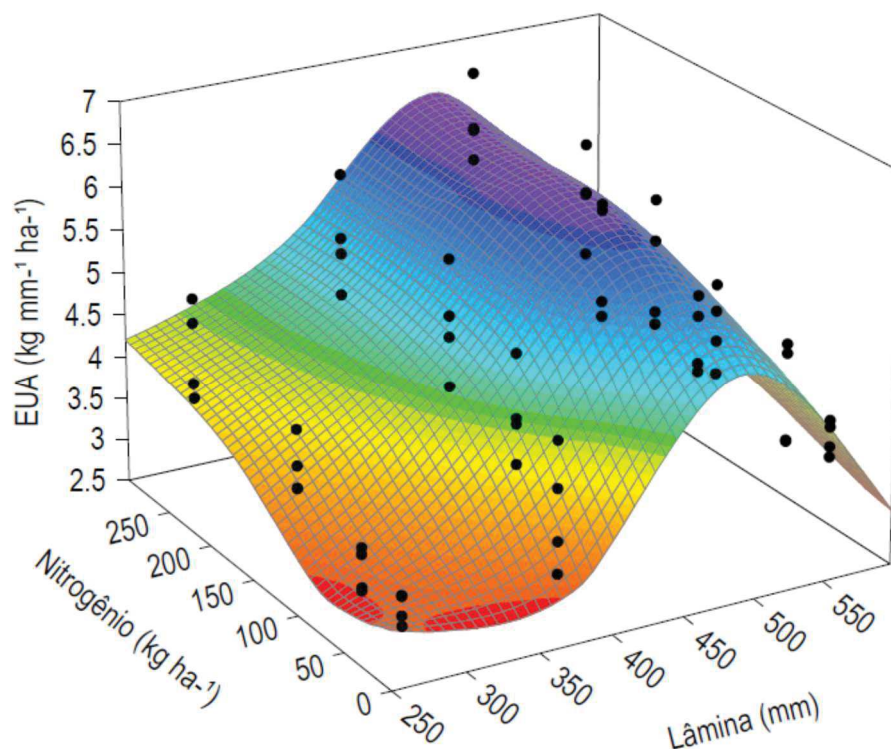


Figura 9. Superfície de resposta da produtividade de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

No que se refere as doses de nitrogênio a EUA aumentou com o aumento das doses de nitrogênio, atingindo $5,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com a dose de 260 kg ha^{-1} de nitrogênio, sendo o valor ($4,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) verificado na dose 28 kg ha^{-1} de nitrogênio.

A redução considerável da EUA nas lâminas de água inferiores a 100% da ETc, pode estar relacionada com a diminuição drástica da produtividade de aquênios proporcionado pelo déficit hídrico com a diminuição da lâmina de água aplicada. Já o decréscimo na EUA com o aumento da lâmina para 575 mm (120% da ETc) pode ser atribuído a redução da taxa fotossintética em função da diminuição da aeração no solo e a redução na produtividade de aquênios nas condições experimentais.

O aumento da EUA com o acréscimo nas doses nitrogenadas ocorreu em função dos incrementos na produtividade de aquênios decorrente do aumento das doses nitrogenadas.

Estes resultados mostram a importância da definição da lâmina de água e dose nitrogenada adequada para maximizar a produção por unidade de água aplicada, reduzindo assim os custos de produção.

O modelo que melhor se ajustou para a EUA foi o polinomial de terceira ordem (Figura 9). A EUA máxima estimada (ponto de máxima) foi de $6,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, obtida com a combinação da lâmina de água de 487 mm com a dose de nitrogênio de 231 kg ha^{-1} .

Ainda na Figura 9, observa-se que as lâminas de água foram mais expressivas que as doses nitrogenadas para a EUA na cultura do girassol, como comprova a maior curvatura das linhas do fator lâminas de água na superfície de resposta.

Para a variável eficiência do uso de nitrogênio (EUN), esta foi influenciada dentro de cada dose nitrogenada pelas lâminas de água, e as doses de nitrogênio influenciaram em todas as lâminas de água (Tabela 3).

Observa-se que a EUN em função das lâminas de água aumentou acentuadamente até a lâmina de 478 mm (100% ETc) obtendo $39,79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, declinando para $33,95 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com o aumento da lâmina para 120% da ETc (575 mm). A menor EUN $13,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ocorreu com a lâmina de 275 mm (58% ETc) (Tabela 3).

A EUN obteve menores valores sob déficit hídrico em função da redução drástica da produtividade de aquênios neste regime. O comportamento da EUN em função das lâminas de água foi semelhante ao comportamento da produtividade de aquênios quando submetido ao mesmo fator de produção (Figuras 2 e 5), atribuindo-se esse fato a importância da disponibilidade hídrica para EUA e produtividade do girassol.

A EUN em função das doses de nitrogênio decresceu com o aumento das doses nitrogenadas (Tabela 3). Os maiores valores da EUN foram obtidos com doses de nitrogênio inferiores a 70 kg ha⁻¹, com EUN média nesse intervalo (43,58 kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha) superando em 269% a EUN média (16,22 kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha) obtidas com doses nitrogenadas de 70 a 260 kg ha⁻¹ (Figura 10).

$$Z = a + bL + cL^2 + dL^3 + eN + fN^2 + gN^3 + hLN + iLN^2 + jL^2N \quad r^2 = 0,9602$$

a=244,0630** ; b=-1,8466** ; c=5,81x10⁻³** ; d=-5,08x10⁻⁶** ; e=-0,6709** ;
f=0,0115** ; g=-2,90x10⁻⁵** ; h=-4,40x10⁻³** ; i=5,91x10⁻⁶** ; j=2,42x10⁻⁶**

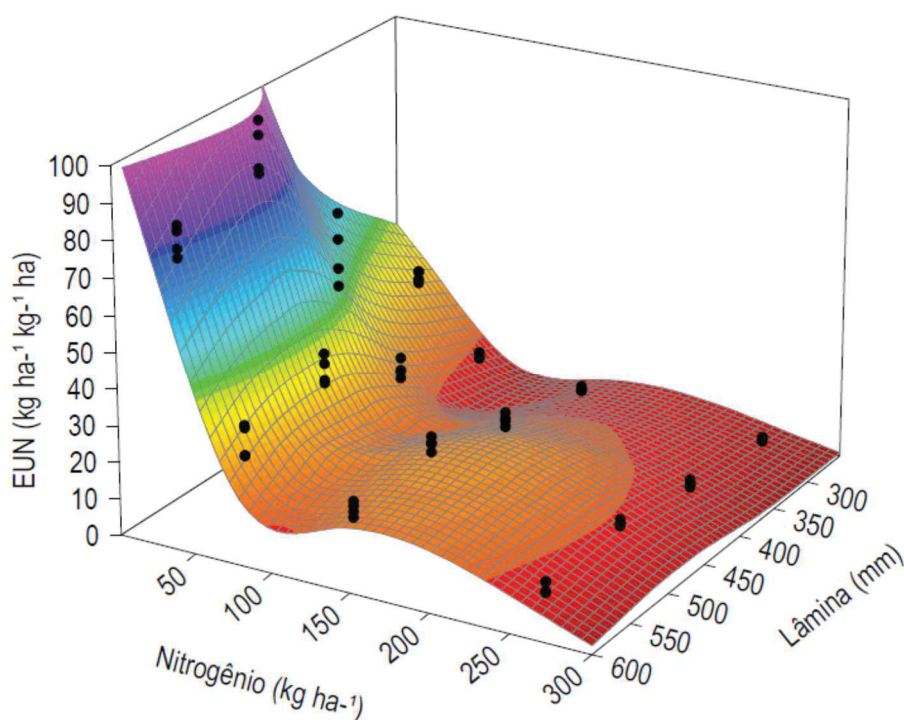


Figura 10. Superfície de resposta da eficiência do uso do nitrogênio em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

O modelo que melhor se ajustou para a EUN foi o polinomial de terceira ordem (Figura 10). A EUN máxima estimada (ponto de máxima) foi de 31,39 kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha, obtida com a combinação da lâmina de água de 499 mm com a dose de nitrogênio de 206 kg ha⁻¹.

O aumento da EUN com as menores doses nitrogenadas pode estar relacionado com aproveitamento do nitrogênio contido na matéria orgânica do solo (Tabela 1). Assim, a região da superfície de resposta da EUN que é agronomicamente viável está compreendida entre as lâminas de água de 440 e 540 mm e as doses de nitrogênio de 150 e 210 kg ha⁻¹, como verificado na Figura 10.

Vale ressaltar que a EUN em função das lâminas de água diminuiu com a aplicação das menores lâminas, acompanhando a tendência da produtividade de aquênios, atingindo a maior EUN 39,79 kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha para a lâmina de água de 478 mm (Tabela 3)

No geral, constatou-se que as doses de nitrogênio foram mais expressivas que as lâminas de água na variável EUN na cultura do girassol, como comprova a maior curvatura das linhas do fator dose de nitrogênio na superfície de resposta (Figura 10).

Quanto a variável eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAÓleo), esta foi influenciada dentro de cada dose nitrogenada pelas lâminas de água, e as doses de nitrogênio influenciaram apenas nas lâminas de água de 275, 381 e 478 mm (Tabela 3).

Observa-se que a EUAÓleo em função das lâminas de água foi crescente até a lâmina de 478 mm (100% ETc) obtendo valor médio de 2,27 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Tabela 3) declinando com o aumento da lâmina para 120% da ETc (575 mm). O menor valor médio da EUAÓleo foi de 1,12 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e ocorreu com a lâmina de 275 mm (58% ETc).

Corroborando com estes resultados, Gomes et al. (2012) obtiveram a melhor eficiência da irrigação (EUI) para produção de óleo 3,12 kg ha⁻¹ mm⁻¹ com a lâmina equivalente a 100% da ETc, reduzindo a EUI para produção de óleo com as lâminas equivalentes a 200, 150 e 50% da ETc. Duarte et al. (2012) observaram redução na EUA na produção de óleo com a aplicação de maiores lâminas de irrigação, o que diverge deste trabalho, uma vez que o aumento da EUAÓleo seguiu a tendência da produtividade de aquênios.

Verificou-se que a EUAÓleo aumentou com o acréscimo das doses de nitrogênio, atingindo o valor médio de 1,84 kg ha⁻¹ mm⁻¹ com a dose de 260 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Tabela 3), superando a EUAÓleo obtidas com as doses de 28 e 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A menor média da EUAÓleo 1,39 kg ha⁻¹ mm⁻¹ foi obtida com a dose nitrogenada de 28 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

O modelo que melhor se ajustou para a EUAÓleo foi o polinomial de terceira ordem (Figura 11). A EUAÓleo máxima estimada (ponto de máxima) foi de 2,50 kg ha⁻¹ mm⁻¹, obtida com a combinação da lâmina de água de 493 mm com a dose de nitrogênio de 267 kg ha⁻¹.

Vale ressaltar que a redução de 50% na EUAÓleo na menor lâmina (275 mm) quando comparada com a lâminas de água equivalente a 100% da ETc (478 mm), deve-se a diminuição drástica da produtividade de aquênios, obtida nesse estudo, proporcionado pelo déficit hídrico com a diminuição da lâmina de água aplicada. A redução na EUAÓleo com o aumento da lâmina para 575 mm (120% da ETc) pode estar relacionada a redução na produção de fotoassimilados com a diminuição da aeração no solo e a menor produtividade de aquênios nas condições experimentais.

$$Z = a + bL + cL^2 + dL^3 + eN + f N^2 \quad r^2 = 0,8813$$

$$a=16,5886^{**}; b=-0,1343^{**}; c=3,64 \times 10^{-4**}; d=-3,08 \times 10^{-7**}; e=4,20 \times 10^{-3**}; f=-7,86 \times 10^{-6*}$$

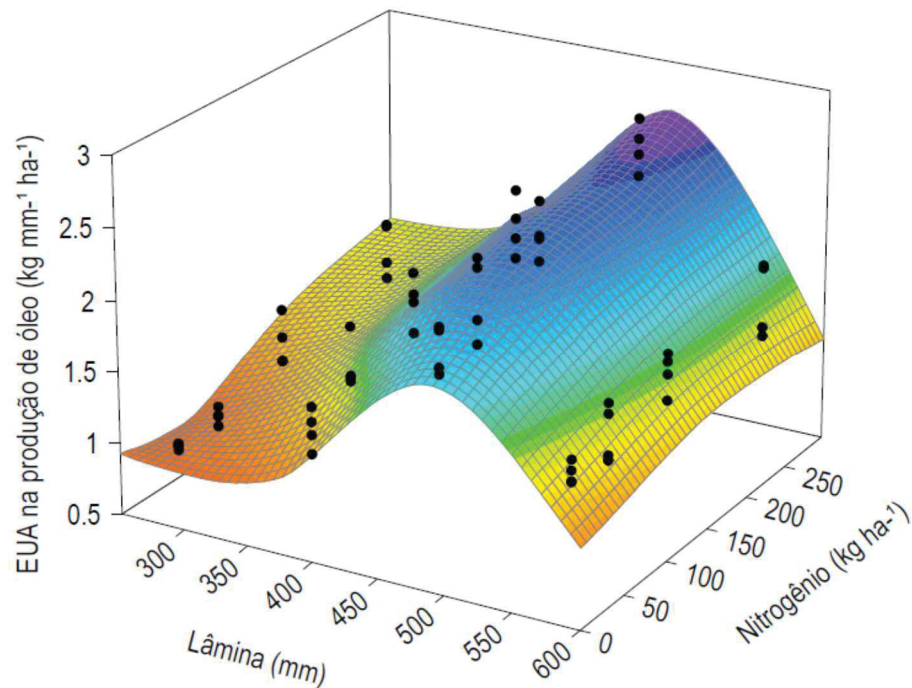


Figura 11. Superfície de resposta da eficiência do uso da água na produção de óleo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogênio na cultura do girassol, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.

* significativo a $p < 0,05$ pelo teste F; ** significativo a $p < 0,01$ pelo teste F.

O aumento da $EUA_{\text{óleo}}$ com o acréscimo nas doses nitrogenadas seguiu a mesma tendência da EUA (Figuras 4 e 6), também sendo atribuída aos incrementos na produtividade de aquênios, decorrente do aumento dos níveis de nitrogênio no solo.

A $EUA_{\text{óleo}}$ foi mais sensível as lâminas de água que as doses nitrogenadas para a cultura do girassol, como demonstra a maior curvatura das linhas do fator lâminas de água na superfície de resposta constatada na Figura 11.

5 CONCLUSÕES

1. A lâmina de água de 517 mm (108% da ETC) associada a dose nitrogenada de 77 kg ha⁻¹ proporcionou 91,3% da produtividade máxima, sendo estas as doses recomendadas nas condições estudadas;

2. A massa de 100 aquênios obteve incrementos lineares para as doses de água e nitrogênio;

3. A produtividade de óleo em função das doses de água e nitrogênio acompanhou a tendência da superfície do rendimento de óleo em função das lâminas de água e doses de nitrogênio;

4. A eficiência no uso do nitrogênio em função das lâminas de água acompanhou a tendência da produtividade de aquênios;

5. A eficiência no uso do nitrogênio máxima estimada foi de 31,39 kg ha⁻¹ kg⁻¹ ha, obtida com a combinação da lâmina de água de 499 mm com a dose de nitrogênio de 206 kg ha⁻¹;

6. As lâminas de água foram mais limitantes as características avaliadas que a adubação nitrogenada, exceto para a eficiência no uso do nitrogênio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Rome: FAO, 2006. 298p. FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56
- ANASTASI, U.; SANTONOCETO, C.; GIUFFRÉ, A. M.; SORTINO, O.; ABBATE, V. Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. *Field Crops Research*, v.119, p.145-153, 2010.
- BALLA, A.; CASTIGLIONI, V. B. R.; CASTRO, C. Colheita do girassol. Londrina: EMBRAPA, CNPSO, 1995. 25p. (Documentos, 92).
- BARROS, V. S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção da cultura do melão para níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu - CE. *Irriga, Botucatu*, v.7, n.2, p.98-105, 2002.
- BISCARRO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v.32, n.5, p.1366-1373, 2008.
- BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. Nutritional disorders of sunflower. Brisbane: University of Queensland, 1987. 72 p.
- CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Adubação com NPK e irrigação em Luvissolo: Comportamento vegetativo. *Revista Ambiente e Água, Taubaté*, v.10, n.1, p.221-233, 2015.
- CARVALHO, D. B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: I – Rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita e teor de óleo. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.3, n.1-2, p.41-45, 2002.
- CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 30, n. 2, p.214-220, 2006.
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; MELO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. 1996. A cultura do girassol. EMBRAPA/CNPSO. Londrina. 36p. (Circular Técnica, 13).
- CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição e adubação do girassol. In: Leite, R. M. V. B. C.; Brighenti, A. M.; Castro, C. *Girassol no Brasil*. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.317-365.
- CASTRO, César. et al. Sistema produtivo de girassol para a produção de biodiesel. In: CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. *Complexo Agroindustrial de biodiesel no Brasil: Competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas*. Brasília, DF: EMBRAPA Agroenergia, 2010. p. 376-420.

CASTRO, C.; BALLA, A.; CASTRIGLIONI, V. B. R.; SFREDO, G. J. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. *Scientia Agricola* 56:827-833, 1999.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; BRISTOT, G.; ALMEIDA, B. M. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.3, p.261-267, 2013.

DUARTE, J. M. L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. Eficiência no uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus* L.), sob suspensão hídrica. *Revista Brasileira de Agricultura irrigada*, Fortaleza, v.6, n.3, p.166-175, 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Sistema de análise de variância para dados balanceados. Versão 5.3. Lavras: DEX/UFLA, 2010. Software estatístico.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO. FAOSTAT – Statistics database 2014. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO. Agribusiness handbook: Sunflower Crude and Refined Oils. Roma: FAO, 2010. 40 p.

FREITAS, A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R.; MOTA, F. S. B.; AQUINO, B. F. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.10, p.1031-1039, 2012.

GOMES, E. P.; FEDRI, G.; ÁVILA, M. R.; BISCARRO, G. A.; RESENDE, R. K. S.; JORDAN, R. A. Produtividade de grãos, óleo e massa seca de girassol sob diferentes lâminas de irrigação suplementar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.3, p.237-246, 2012.

GONÇALVES, L. C.; TOMICH, T. R. Utilização do girassol como silagem para alimentação bovina. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 13. 1999, Itumbiara. Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.21-30.

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

JOLY, A. B. Botânica: introdução à taxonomia vegetal. 11.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1993. 777 p.

KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. *Revista Ciencia del Suelo e Nutrición Vegetal*, v. 07, n. 03, p. 16-25, 2007.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; COELHO, H. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção do girassol. *Científica*, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 59-68, 2012.

- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia da produção. Viçosa: Editora UFV, 2015. 492 p.
- MEI, X. R.; ZHONG, X. L.; VADEZ, V.; LIU, X. Y. Improving water use efficiency of wheat crop varieties in the North China Plain: Review and Analysis. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 12, n. 7, p. 101-108, 2013.
- MOUSINHO, F. E. P.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F. de; GOMES FILHO, R. R. Função de resposta da melancia à aplicação de água e nitrogênio para as condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE. *Irriga*, v.8, p.264–272, 2003.
- OLIVEIRA, C. R.; OLIVEIRA, J. L.; BARBOSA, F. R.; DARIO, A. S.; MOURA, S. G.; BARROS, H. B. Efeito do nitrogênio na produtividade de girassol, no Estado do Tocantins. *Científica, Jaboticabal*, v. 42, n. 3, p. 233-241, 2014.
- OLIVEIRA, M. F.; VIEIRA, O. V. Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa. Londrina: EMBRAPA Soja. 2004. 27 p.
- PELEGRINI, B. Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo. São Paulo: Icone, 1985. 117 p.
- QUAGGIO, J. A.; UNGARO, M. R. G. Girassol. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANNI, A. M. C. Recomendações de adubações e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Editora Instituto Agrônômico de Campinas, 1997 198 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- SFREDO, G. J.; CAMPO, R. J.; SARRUGE, J. R. Girassol: nutrição mineral e adubação. Londrina: Embrapa CNPSo, 1984. 36 p.
- SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; MORAIS, A. R.; ANDRADE, G. P.; LIMA, E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.5, p.482-488, 2007.
- SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. S. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.4, p.1266-1271, 2008.
- SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L. A.; SOUSA, C. C. M; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v.42, n.1, p.57-64, 2011.
- SOARES, L. A. A.; LIMA, G. S.; CHAVES, L. H. G.; XAVIER, D. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Fitomassa e produção do girassol cultivado sob diferentes níveis de reposição hídrica e adubação potássica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.4, p.336-342, 2015.

SYSTAT SOFTWARE Inc. – SSI. TableCurve 3D, version 4. 2002. Disponível em: <https://sySTATsoftware.com/downloads/download-tablecurve-3d/>. Acesso em: 25/05/2016.

VASCONCELOS, D. V.; AZEVEDO, B. M.; FERNANDES, C. N. V.; PINTO, O. R. O.; VIANA, T. V. A.; MESQUITA, J. B. R. Métodos de aplicação e doses de nitrogênio para a cultura do girassol. Irriga, Botucatu, v.20, n.4, p.667-679, 2015.

VIANA, T. V. A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do Girassol, sob condições Semiáridas. Irriga, Botucatu, v.17, n.2, p.126-136, 2012.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. Pesquisa Agropecuária, v.26, n.9, p.1487-1492, 1991.

ZHELJAZKOV, V. D.; VICK, B. A.; BALDWIN, B. S.; BUEHRING, N.; ASTATKIE, T.; JOHNSON, B. Oil Content and Saturated Fatty Acids in Sun flower as a Function of Planting Date, Nitrogen Rate, and Hybrid. Agronomy Journal, Madison, v.101, n.4, p.1003-1011, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

THOMAZ, G. L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L. O.; NOGUEIRA, R. R. Produção do girassol e teor de óleo nos aquênios em função da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.8, p.1380-1385, 2012.

UNGARO, M. R. G. Potencial da Cultura do girassol como fonte de matéria-prima para o Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel. In: CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. Agronegócio de plantas oleaginosas: Matérias-primas para o biodiesel. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2006. 256 p.

UNGARO, M. R. G. Cultura do girassol. Campinas: IAC, 2000, 36 p. (Boletim Técnico 188).

UNGARO, M. R. G. Instruções para a cultura do girassol. Campinas: IAC, 1986, 26p. (Boletim Técnico 105).

ANEXOS



Distribuição espacial dos coletores para avaliação do sistema de irrigação por aspersão Line Source, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Distribuição da adubação em fundação, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Plantio do girassol em 29 de outubro de 2013, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos seis dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos treze dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos dezenove dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos trinta dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos trinta e cinco dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2013.



Vista da área experimental aos oitenta dias após a semeadura, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.



Detalhe dos capítulos do girassol no início da maturação e no ponto de colheita, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.



Detalhe dos capítulos do girassol após a colheita, Apodi, Rio Grande do Norte, 2014.