

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NA CULTURA DO AMENDOIM –
AVALIANDO NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO AGRONÔMICA NA
SEGUNDA SAFRA**

Antonio Michael Pereira Bertino

Licenciado em Ciências Agrárias

2021

IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NA CULTURA DO AMENDOIM – AVALIANDO NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO AGRONÔMICA NA SEGUNDA SAFRA

Antonio Michael Pereira Bertino

Orientador: Prof. Dr. Rogerio Teixeira de Faria

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

B544i

Bertino, Antonio Michael Pereira

Irrigação deficitária na cultura do amendoim - Avaliando nutrição e Produção agrônômica na segunda safra / Antonio Michael Pereira Bertino. -- Jaboticabal, 2021

50 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Rogerio Teixeira de Faria

1. *Arachis hypogaea* L. 2. Avaliação agrônômica. 3. Déficit hídrico. 4. Demanda nutricional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NA CULTURA DO AMENDOIM - AVALIANDO NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO AGRONÔMICA NA SEGUNDA SAFRA

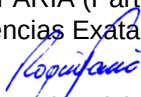
AUTOR: ANTONIO MICHAEL PEREIRA BERTINO

ORIENTADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

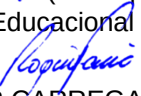
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



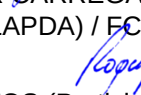
Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal



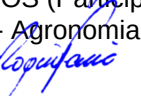
Prof. Dr. FÁBIO OLIVIERI DE NOBILE (Participação Virtual)
Centro Universitário da Fundação Educacional / UNIFEB / Barretos/SP



Pós-doutorando WILLIANS CÉSAR CARREGA (Participação Virtual)
Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA) / FCAV - UNESP Jaboticabal



Prof. Dr. GILMAR OLIVEIRA SANTOS (Participação Virtual)
Universidade de Rio Verde-UniRV - Agronomia / Rio Verde/GO



Prof. Dr. FERNANDO CAMPOS MENDONÇA (Participação Virtual)
ESALQ/USP / Piracicaba/SP

Jaboticabal, 20 de dezembro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANTONIO MICHAEL PEREIRA BERTINO, nascido em Caraúbas – RN, no dia 30 de outubro de 1988, possui graduação de Licenciatura em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB (2014), onde foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ/UEPB), tendo realizado monitorias nas disciplinas de Fisiologia Vegetal e Estatística Básica, desenvolvendo diversas pesquisas na área de irrigação e manejo do solo. Em março de 2016, iniciou o curso de mestrado pelo Programa de Ciência do Solo na Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Campus de Areia-PB. Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, sob orientação do Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira. Em março de 2018, ingressou no curso de doutorado no programa de pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal). Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - processo 156219/2019-0, sob orientação do Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria. Nesse período, realizou estágios em docência nas disciplinas de irrigação ministradas no curso de engenharia agrônoma da UNESP/FCAV, sob supervisão dos Professores Dr. Luiz Fabiano Palaretti e Dr. Rogerio Teixeira de Faria. Participou como membro avaliador de defesa de trabalhos de conclusão de curso. Atualmente, é membro do conselho das Pós-Graduação em agronomia (Produção vegetal) e membro do grupo de estudo sobre irrigação e meio ambiente (GPIMA). É autor e coautor de artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais, bem como de trabalhos completos publicados em eventos científicos.

Educação não
transforma o
mundo.
Educação muda as
pessoas.
Pessoas mudam o
mundo.

(Paulo Freire)

À minha família pelo apoio durante toda esta caminhada.

A todos os Professores que contribuíram diretamente com minha formação.

Ao meu irmão Valdenor Pereira Bertino e ao meu ex-orientador prof. Dr. Lourival
Ferreira Cavalcante (em memória).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e as infinitas bênçãos.

Aos meus pais, Manoel Bertino Neto e Maria Antonia Pereira Bertino, pelo amor, por acreditarem no meu potencial, por todo incentivo que a mim foi dado. Aos meus irmãos: Orildo, Valdenira, Valdo, Dijandira, Dzonira, Raimundo, Missiemário e Hosana; aos meus sobrinhos. Agradeço a todos, sem esta base não estaria finalizando este trabalho.

À minha esposa, Nubia Marisa Ferreira Bertino, pelo carinho, compreensão, paciência e por todo o apoio durante todo o tempo.

Ao Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria, pela orientação, confiança, paciência, dedicação e ensinamentos que me proporcionaram crescer profissionalmente.

À UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, por fornecer toda a infraestrutura para o desenvolvimento desse trabalho, a todos os funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), em especial a Marcelo (em memória), da FEPE, e a João Trentin, do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) – processo 156219/2019-0, pela concessão da bolsa de estudos no Programa em Agronomia (produção vegetal).

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) – processo: 156219/2019-0.

A todos que fazem parte do grupo de pesquisa GEPIMA, que durante este tempo foi uma família contribuído para a formação pessoal e profissional.

A todas as amigas que conquistei durante este período de Unesp, que podem se sentir representados por Adailza Cavalcante, Ancelmo, Anderson, Antonio Márcio, Bianca, Diego Sodré, Gelza Carliane, Lívia, Lucas Farias, Joel Cabral e família, Jonathan, Juca, Lucas Ramon, Marcilene, Patrícia Candido, Thayane e tantos outros com quem tivemos um dedo de prosa e boas lembranças.

Por motivo de espaço na tese, agradeço a todos que direta ou indiretamente me ajudaram e fizeram parte deste trabalho. Muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	iv
CAPÍTULO 1- Considerações gerais.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
1.2.1 Produção e importância da cultura do amendoim.....	2
1.2.2 Exigência hídrica e irrigação no amendoim.....	3
1.2.3 Exigências nutricionais e adubação do Amendoim.....	5
1.3 REFERÊNCIAS.....	7
CAPÍTULO 2- Produtividade da cultura do amendoim sob irrigação plena e deficitária na fase reprodutiva.....	10
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
2.1 INTRODUÇÃO.....	12
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.2.1 Variáveis avaliadas.....	21
2.2.1 Análise estatística.....	22
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
2.4 CONCLUSÕES.....	28
2.5 REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO 3 - Macronutrient absorption rate of a runner-type peanut cultivar....	31
ABSTRACT.....	31
RESUMO.....	32
3.1 INTRODUCTION.....	33
3.2 MATERIAL E METHODS.....	34
3.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	38
3.4 CONCLUSIONS.....	47
3.5 ACKNOWLEDGMENTS.....	47
3.6 LITERATURE CITED.....	48

IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NA CULTURA DO AMENDOIM – AVALIANDO NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO AGRONÔMICA NA SEGUNDA SAFRA

RESUMO - O estresse hídrico é considerado o fator ambiental mais crítico para a cultura do amendoim no estado de São Paulo, principalmente na segunda safra, de fevereiro a junho. Em condições de limitação hídrica, os agricultores reduzem a área cultivada ou o aporte de água para os cultivos, o que resulta em decréscimos de produção ou de produtividade. Nessas condições, deve-se aplicar as normas de manejo de irrigação deficitária, dentre as quais a produtividade da cultura é reduzida em determinado grau pela redução da lâmina de irrigação aplicada, porém é mantida a renda líquida positiva. O objetivo deste trabalho foi avaliar a marcha de absorção e o efeito do estresse hídrico nos componentes de produção e produtividade do amendoim na segunda safra em Jaboticabal, SP. Os experimentos foram conduzidos de março a agosto de 2019 e de março a agosto de 2020 na Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de irrigação deficitária, L1, L2, L3, L4 e L5, correspondentes às reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% do consumo hídrico da cultura (evapotranspiração menos precipitação). As produtividades máximas dos experimentos variaram de 3.5 a 3.9 t ha⁻¹, sendo superior à média da região na entressafra, demonstrando que o manejo da irrigação é uma opção para os agricultores produzirem de forma satisfatória. Temperaturas sub-ótimas alongaram o ciclo de cultivo e reduziram a produtividade da cultura em cerca 33%, em decorrência do menor crescimento da planta. As produtividades máximas foram obtidas sob lâminas totais de 250 a 330 mm, resultando em produtividade da água entre 1 e 2 kg m⁻³. Maiores demandas nutricionais do amendoim ocorreram dos 63 aos 105 dias após a semeadura. Os maiores acúmulos totais estimados ocorreram dos 118 aos 147 dias após a semeadura (DAS), com 234,8; 173,5; 79; 45,8; 23,4; 18,8 para N, K, Ca, Mg, P e S, respectivamente.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L, avaliação agronômica, déficit hídrico, demanda nutricional.

DEFICIT IRRIGATION IN PEANUT CROP - ASSESSING NUTRITION AND AGRONOMIC PRODUCTION IN THE SECOND CROP

ABSTRACT - Water stress is considered the most critical environmental factor for peanut farming in the state of São Paulo, especially in the second harvest, from February to June. Under water-limited conditions, farmers reduce the cultivated area or the supply of water for crops, which results in a decrease in production or productivity. Under these conditions, the rules for managing deficit irrigation must be applied, among which the crop productivity is reduced to a certain degree by the reduction of the applied irrigation depth, but the positive net income is maintained. The objective of this work was to evaluate the absorption rate and the effect of water stress on the production and yield components of peanut crop in off season in the northeast region of the State of São Paulo, Brazil. The experiments were carried out from March to August 2019 and from March to August 2020 at UNESP, in Jaboticabal, SP. The experimental design was in randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments consisted of five levels of deficit irrigation, L1, L2, L3, L4 and L5, corresponding to replacements of 100%, 89%, 56%, 29% and 10% of the crop water consumption (evapotranspiration less precipitation). The maximum yields of the experiments ranged from 3,5 to 3,9 kg ha⁻¹, being higher than the region average in the off-season, demonstrating that irrigation management is an option for farmers to produce satisfactorily. Suboptimal temperatures lengthened the growing cycle and reduced crop yield in about 33%, due to the lower plant growth. The maximum yields were obtained under total depths of 250 to 330 mm, resulting in water productivity between 1 and 2 kg m³. Greater nutritional demands of the peanut tree occurred from 63 to 105 days after sowing. The highest total nutrient accumulations occurred from 118 to 147 days after sowing (DAS), with 234.8; 173.5; 79; 45.8; 23.4; 18.8 for N, K, Ca, Mg, P and S, respectively.

Keywords: *Arachis hypogaea*, agronomic assessment, water deficit, nutritional demand.

Lista de Tabelas

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental na profundidade de 0-0,2 m nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.....	18
---	----

Tabela 2. Parâmetros da curva de retenção de água pelo modelo de Van Genuchten (1980) e textura da área experimental na profundidade 0-0,4 m, em Jaboticabal, São Paulo.....	19
---	----

CAPÍTULO 3

Table 1. Soil chemical characteristics of the area for the 0.0 – 0.2 m layer, before and after the experiment in Jaboticabal, SP.....	35
--	----

Lista de Figuras

CAPÍTULO 2

Figura 1. Esquema da área experimental, com linhas de distribuição de água e tratamentos das lâminas de irrigação.....	15
---	----

Figura 2. Distribuição da precipitação em função da distância da linha de aspersores.....	16
--	----

Figura 3. Temperaturas máxima e mínima durante os ciclos de amendoim nos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.....	17
--	----

Figura 4. Precipitação, irrigação, evapotranspiração máxima da cultura (ET _m) e evapotranspiração de referência (ET _o), durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.....	17
--	----

Figura 5. Lâmina de irrigação e precipitação (mm) dentro dos níveis de irrigação aplicados durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.....	18
---	----

Figura 6. Umidade do solo na camada 0 - 0,2 m de profundidade, em função dos níveis de irrigação, durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo..... 20

Figura 7. Duração de períodos fenológicos de amendoim em dias após a semeadura (DAS) (A) e soma dos graus-dia (SGD) (B), nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo..... 22

Figura 8. Fração de cobertura ao longo dos ciclos cultivos nos anos de 2019 e 2020 nos diferentes níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo..... 23

Figura 9. Biomassa da parte aérea (caule + folhas) ao longo dos ciclos cultivo nos anos de 2019 e 2020 nos diferentes níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente..... 25

Figura 10. Massa de vagens ao longo dos ciclos cultivos nos anos de 2019 e 2020 em função de níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente..... 26

Figura 11. Massa de vagens (A), massa de sementes (B), número de sementes (C) e massa unitária de sementes (D) avaliados ao final dos ciclos cultivos nos anos de 2019 e 2020 em função de níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente..... 26

Figura 12. Produtividade de vagens (A) e produtividade da água (B) em função de lâmina total recebida (precipitação + irrigação) durante o cultivo do amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo..... 27

CAPÍTULO 3

Figure 1. Maximum (T_{max}), average (T_{med}), and minimum (T_{min}) temperatures (A), and precipitation, irrigation, and crop and reference evapotranspiration (ET_m and ET_o , respectively) (B), during the experimental period in 2019..... 35

Figure 2. Vegetative (stem + leaf), pod, and total canopy (vegetative + pod) dry mass of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019..... 38

Figure 3. Macronutrient contents in the vegetative (stem + leaf) part (A) and in pods (B) of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019.....	39
Figure 4. Cumulative macronutrient absorption rate in the vegetative (stem + leaf) part (A), and in pods (B) of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019.....	40
Figure 5. Macronutrient accumulated in the vegetative (stem + leaf) part, pods, and total canopy (vegetative + pod) in a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019.....	43
Figure 6. M Macronutrients exported by a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019.....	46

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

O amendoim *Arachis hypogaea* L. tem seu centro de origem na América do Sul, tendo crescimento indeterminado ou determinado, é uma planta anual que possui porte ereto ou prostrado (Gregory, 1994). Possui elevada importância em âmbito mundial. A espécie *A. hypogaea* é a que apresenta maior importância econômica, por ser adaptada e cultivada em muitos países (Veiga et al., 2001).

O amendoim é cultivado principalmente como fonte de proteína vegetal e de óleo (Nakagawa e Rosolem, 2011). A ampla diversidade do amendoim em relação aos hábitos de consumo caracteriza este alimento com expressiva importância econômica. Os grãos são consumidos *in natura* ou processados, dando origem a produtos derivados, tais como óleo, farelo, na utilização de produtos alimentícios, como, por exemplo, conservas, doces, pasta e ainda na indústria farmacêutica (Godoy et al., 2005). 100 g de amendoim *in natura* possuem 27,2 g de proteína e 8 g fibra alimentar (Taco, 2011).

Nesse sentido, o amendoim é um alimento versátil e apresenta potencial para o aumento da produtividade, porém estimativas indicam que a produção mundial de oleaginosas como colza, semente de girassol e amendoim crescerá mais lentamente do que a produção de soja, todavia ocorrerá principalmente por aumentos de produtividade, correspondentes a 64% até 2028 (FAO, 2019). Para isso, é necessário adequar as técnicas de cultivo visando a alcançar o potencial produtivo das cultivares.

No Brasil, existem cultivares de amendoim com alto potencial produtivo, no entanto a falta de informações técnicas para o manejo adequado da cultura dificulta obter produtividades elevadas. Dentre os fatores de produção limitantes ao aumento da produtividade do amendoim, a carência de nutrientes no solo é um dos mais importantes, porém a falta de informações sobre a necessidade nutricional da cultura dificulta a programação do manejo correto da adubação. Portanto, é evidente a necessidade de trabalhos de pesquisa para se indicar as épocas críticas de absorção de nutrientes e as quantidades requeridas pela cultura, a fim de racionalizar.

Além do fator nutricional, o déficit hídrico pode afetar negativamente um conjunto de fatores fisiológicos da planta, tais como respiração, fotossíntese e outras

reações metabólicas, podendo repercutir diretamente no crescimento, na reprodução e no desenvolvimento das plantas (Silva e Beltrão, 2000), também podendo se refletir no índice de área foliar e fração de cobertura. A supressão de água em qualquer fase do ciclo causa redução de produtividade (Azevedo et al., 2014), porém a sensibilidade do amendoim ao estresse hídrico é menor no período compreendido após a emergência das plântulas até o início da formação dos órgãos florais, tornando-se altamente exigente por ocasião do florescimento e frutificação (Nakagawa e Rosolem, 2011).

Na literatura faltam informações sobre a magnitude de estresse que o amendoim é capaz de tolerar sem que ocorram reduções significativas na produtividade e sobre como a irrigação deficitária afeta a produtividade da água. Com base no exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a marcha de absorção e o efeito do estresse hídrico nos componentes de produção e produtividade do amendoim na segunda em Jaboticabal, no estado de São Paulo.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Produção e importância da cultura do amendoim

A previsão da produção mundial de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em 2021/22 será de 50,46 milhões de toneladas, sendo os três maiores produtores China, Índia e Nigéria, com 59% da produção total (USDA, 2021). O Brasil produziu 596,9 mil toneladas na safra de 2020/21 e estima-se a produção de 623 mil toneladas na safra de 2021/22, correspondente ao aumento de 4,3% em relação à safra 2020/21. A produtividade média no país é de 3,6 t ha⁻¹, sendo o Estado de São Paulo responsável por 95% da produção brasileira nos últimos dois anos (CONAB, 2021).

Em Jaboticabal, a principal região produtora do Estado de São Paulo, o cultivo do amendoim é realizado durante a entressafra da cana-de-açúcar, em sucessão a essa cultura. A leguminosa promove a reposição do nitrogênio ao solo a partir da fixação biológica de nitrogênio, o que reduz os gastos com fertilizantes nitrogenados para as culturas em sucessivas, como a cana-de-açúcar, além de contribuir com a renda dos produtores, trazendo lucros adicionais (CONAB, 2018).

O amendoim é cultivado preferencialmente na estação chuvosa denominada

de primeira safra ou das águas, que se estende de outubro a fevereiro. A segunda safra, ou safrinha de amendoim, com semeadura de janeiro e fevereiro, é uma alternativa para produtores que se dedicam a atividades diferentes da canaveira.

1.2.2 Exigência hídrica e irrigação no amendoim

A irrigação é uma tecnologia fundamental para o desenvolvimento e crescimento da agricultura nacional e mundial (Bernardo et al., 2019). A irrigação tem como principal objetivo suprir a demanda hídrica de cultivos que possuem elevada rentabilidade econômica, a obtenção de altas produtividades com a cultura irrigada possibilitará ao agricultor utilizar a melhor tecnologia disponível para controlar as pragas e doenças e, com isso, maximizar sua renda.

A agricultura irrigada é o setor econômico que mais consome água e que compete com os demais setores pelo recurso hídrico (FAO, 2012), principalmente durante os períodos de estiagens prolongadas, como frequentemente ocorre na região sudeste do Brasil. Em condições de limitação hídrica, os agricultores são demandados a mudar de cultivo, reduzir a área cultivada ou o aporte de água para os cultivos, o que resulta em decréscimos de produção e produtividade das culturas (Moore et al., 1994). Nessas condições, a irrigação deve ser aplicada segundo as normas de manejo de irrigação deficitária.

De acordo com Capra et al. (2008), a irrigação deficitária é uma estratégia de otimização que aumenta a renda devido à redução da água aplicada, apesar da redução da produtividade da cultura, em consequência da redução da lâmina aplicada. Sob o manejo de irrigação deficitária, também os custos de produção são reduzidos pelo menor consumo energético de bombeamento de água e pelo menor investimento na aquisição de sistema de irrigação de menor capacidade.

A irrigação deficitária vem sendo utilizada desde a década de 70 (James e Lee, 1971; English e Nuss, 1982; Kriedemann e Goodwin, 2003), com maior ênfase nas duas últimas décadas (Capra et al., 2008). Na literatura há vários relatos de experimentos conduzidos com diversas culturas com a premissa de aumentar a produtividade da água, sem decrescer significativamente a produtividade da cultura, pela imposição de deficiência hídrica em períodos menos sensíveis do ciclo ou aplicação de lâminas deficitárias ao longo do ciclo (Rao et al., 1988; Azevedo et al.,

2014; Gava et al., 2016; Tarkalson e King, 2017; Giuliani et al., 2017).

A maioria dos estudos mostra que supressão da irrigação durante o ciclo ou parte do ciclo reduz a produtividade das culturas, o que resultou em poucos progressos na adoção do manejo em irrigação deficitária. Capra et al. (2008) afirmam que os benefícios da técnica irrigação deficitária são evidenciados quando os aspectos econômicos são considerados na análise e em aplicações sobre o planejamento para grandes áreas irrigadas. Outra dificuldade na otimização dos recursos hídricos para cultivos agrícolas é a alta complexidade envolvida na dinâmica do sistema solo-planta-atmosfera durante o ciclo fenológico.

A irrigação é uma técnica que poderá ser utilizada para suprir as necessidades hídricas de cultivos de alta rentabilidade econômica, como os de produção de sementes de amendoim na região Nordeste do Estado de São Paulo. A maioria dos estudos mostra que supressão da irrigação durante o ciclo ou parte do ciclo reduz a produtividade das culturas, o que resultou em poucos progressos na adoção do manejo em irrigação deficitária.

Em lavouras de produção de sementes de amendoim, a irrigação se faz indispensável, sendo necessária a aplicação de no mínimo 500 mm durante o ciclo (Ketring, 1991). A supressão de água em qualquer fase do ciclo causa redução de produtividade (Azevedo et al., 2014), porém a sensibilidade do amendoim ao estresse hídrico é menor no período compreendido após a emergência das plântulas até o início da formação dos órgãos florais, tornando-se altamente exigente por ocasião do florescimento e frutificação (Nakagawa e Rosolem, 2011).

O amendoim requer de 510 a 760 mm para a obtenção de níveis máximos de produtividade (Boote et al., 1982), bem distribuídos ao longo do ciclo de crescimento (Gillier & Silvestre, 1970), Cardozo et al. (2009) conduziram um experimento irrigado com tratamentos de épocas mensais de semeadura em Jaboticabal, concluindo que o consumo total durante o ciclo depende da cultivar e da época de semeadura considerada. Naquele experimento, a cultivar IAC Runner 886, de ciclo longo, demandou 443 a 850 mm, ao passo que a IAC Tatu ST, de ciclo curto, demandou 365 a 751 mm.

A diferença entre consumo hídrico de cada cultivar se deveu ao alongamento do ciclo, devido às baixas temperaturas, de 130 e 100 dias nas semeaduras de setembro a janeiro para de 200 e 160 dias na semeadura em abril, para IAC Tatu ST

e IAC Runner 886, respectivamente. O consumo diário, obtido pela relação entre consumo hídrico total pela duração do ciclo em cada época de semeadura resultou em valores semelhantes para as duas cultivares, em torno de 4 mm dia⁻¹.

Em cultivos durante o período da safrinha, também em Jaboticabal, França et al. (2021) obtiveram maiores produtividades em cultivos que receberam lâminas (chuva + irrigação) de 470 mm na semeadura de fevereiro e 360 mm na semeadura de março. Esses cultivos apresentaram ciclos de 130 e 150 dias, respectivamente, resultando em consumos hídricos diários médios de 3,6 e 2,4 mm dia⁻¹, respectivamente.

A sensibilidade do amendoim ao estresse hídrico é relativamente menor no período de emergência das plântulas até o início da formação dos órgãos florais, tornando-se altamente exigente por ocasião do florescimento e frutificação (Nakagawa & Rosolem, 2011).

1.2.3 Exigências nutricionais e adubação do amendoim

A nutrição adequada é fundamental para a obtenção de alta produtividade, boa qualidade dos grãos e sanidade da cultura. Dentre as exigências nutricionais das culturas, os macronutrientes são aqueles que as plantas requerem em maiores quantidades. Dessa forma, o conhecimento da demanda nutricional é importante para planejar o manejo adequado da cultura e a época de adubação, objetivando aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos de amendoim.

Os teores de macronutrientes na massa seca de folhas de amendoim considerados adequados variam entre 30,0 - 45,0 g kg⁻¹ de N; 2,0 - 5,0 g kg⁻¹ de P; 17,0 - 30,0 g kg⁻¹ de K; 12,0 - 20,0 g kg⁻¹ de Ca; 3,0 - 8,0 g kg⁻¹ de Mg e 2,0 - 3,5 g kg⁻¹ de S (Ambrosano et al., 1997).

No amendoim, o nitrogênio é o nutriente mais absorvido, independentemente da cultivar (Feitosa et al., 1993; Silva et al., 2017), sendo fundamental para o crescimento da planta de amendoim. Sua deficiência provoca redução da área foliar, do teor de clorofila, da massa seca, da altura de plantas e do diâmetro do caule (Furlani, 2004; Lobo et al., 2012; Correia et al., 2012).

Estudo com adubação fosfatada em amendoim, realizado por Souza et al. (2012) afirmam que as plantas nutricionalmente sadias possuem maior capacidade

em distribuir fotoassimilados aos outros componentes das plantas (hastes e raízes) e, conseqüentemente, aumentar a massa dos grãos. De acordo com Lobo et al. (2012), a ausência de fósforo é um dos fatores que mais limitam o crescimento e o acúmulo de massa seca das folhas do amendoim.

O potássio atua com ativador enzimático durante o processo de fotossíntese, respiração e síntese de proteínas, atuando ainda na abertura estomática, no transporte via floema, na osmorregulação e na expansão celular (Marschner, 1995). Aumento em massa seca de vagens foi relatado por Sousa et al. (2013), estudando aplicação de potássio via fertirrigação e convencional no amendoim, atribuindo o efeito positivo do potássio à boa nutrição das plantas, em especial na época de florescimento e na penetração do ginóforo.

O Ca faz parte das pectinas por meio dos pectatos de cálcio, sendo requerido para a elongação e a divisão celular, o que se refletia diretamente no crescimento radicular (Prado et al., 2008). Correia et al. (2012) observaram que na ausência de Ca o sistema radicular do amendoim foi a parte da planta mais afetada, com queda de 69% da massa seca das raízes.

A ausência do magnésio na cultura do amendoim reduz altura da planta, diâmetro de caule, número de folhas, índice de clorofila, além de provocar menor massa seca da parte aérea e total (Correia et al., 2012). Com relação ao enxofre, os autores afirmam que as plantas de amendoim apresentam maior tolerância à deficiência, pois na omissão deste não foi observada redução significativa dos parâmetros biométricos e na massa seca das plantas.

REFERÊNCIAS

Ambrosano JE, Tanaka RT, Mascarenhas HAA, Raij B. van, Quaggio JÁ, Cantarella H 1997 Leguminosas e oleaginosas. In: Raij B. van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC. p. 189-203.

Azevedo BM, Sousa GG, Paiva TFP, Mesquita JBR, Viana TVA (2014) Manejo da irrigação na cultura do amendoim. **Magistra** 26:11-18.

Bernardo S, Mantovani EC, Silva DD, Soares AA (2019) Manual de irrigação. 9.a Ed. Viçosa: UFV, 549p.

Boote, KJ.; Stansell, JR.; Schubert, AM.; Stone, JF. Irrigation, water use and water relation. In: Patee, HR.; Young, CT. (Ed.). Peanut science and technology. Texas: American Press, 1982, p. 164-205.

Capra A, Consoli S, Scilicone B (2008) Deficit irrigation: Theory and practice. In.: Alonso D, Iglesias H (Eds.). **Agricultural irrigation research progress**. New Science Publisher, Hauppauge, NY, p. 53-83.

Cardozo, NP., Volpe, C.A., Araújo Júnior, I.P. Consumo hídrico de dois cultivares de amendoim em função da época de semeadura. in: congresso brasileiro de agrometeorologia, 16., 2009, belo horizonte. anais... belo horizonte, 2009. p.1-5.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira – grãos; maio 2018 - v. 8, Safra 2017/18, Brasília, CONAB 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/83e31b69fc4c1f45a1cee5eb53797f41..pdf>> Acesso em 23 jul. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: outubro 2021 – v.9, safra 2011/2022, Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>>. Acesso: 01/01/2021.

Correia MAR, Prado RM, Almeida TBF, Puga AP, Barbosa, JC (2012) Avaliação da desordem nutricional de plantas de amendoim cultivadas em solução nutritiva suprimidas de macronutrientes. **Scientia Agraria** 13:21-28.

English MJ, Nuss GS (1982) Designing for deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 108:91-106.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), **Coping with water scarcity - An action framework for agriculture and food security**. Sales and Marketing Group: Rome. 2012.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), **OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028**, Rome. 2019.

Feitosa, C. T.; Nogueira, S. S. S.; Gerin, M. A. N.; Rodrigues Filho, F. S. O. Avaliação

do crescimento e da utilização de nutrientes pelo amendoim. *Scientia Agricola*, v.50, p.427-437, 1993.

França PNO, Faria RT, Carrega WC, Coelho AP, Godoy IJ, Palaretti LF (2021) Peanut yield under irrigation levels in off-season cultivation. **Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo** 53:55–67.

Furlani, A. M. C. Nutrição Mineral. In: Kerbauy, G. B. (ed.). *Fisiologia vegetal* Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004. p.40-75.

Gava R, Frizzzone JA, Snyder RL, Almeida BM, Freitas PSL, Resende R 2016 Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** 10:305-315.

Gillier, P. Silvestre, P. **El cacahuete o maní**. Barcelona: Blume, 1970. 281p.

Giuliani MM, Nardella E, Gagliardi A, Gatta G (2017) Deficit irrigation and partial root-zone drying techniques in processing tomato cultivated under mediterranean climate conditions. **Sustainability** 9:1-15.

GODOY IJ, MINOTTI D, RESENDE PL. (2005). **Produção de amendoim de qualidade**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 168p.

Gregory WC, Krapovickas A, Gregory MP (1980) Struture, variation, evolution and classification in *Arachis*. In: BUNTING, S. **Advances in Legume Science** 469-481.

James LD, Lee RR (1971) *Economics of water resources planning*. New York, USA, McGraw-Hill, 325p.

Ketring DL (1991) Physiology of oil seeds: IX. Effects of water deficit on peanut seed quality. **Crop Science, Madison** 31:459-463.

Kriedemann PE, Goodwin I (2003) Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. Canberra: Land e Water Australia. 102p.

Lobo DM, Silva PCC, Couto JL, Silva MAM, Santos AR 2012 Características de deficiência nutricional do amendoim submetido à omissão de N, P, K. **Bioscience Journal** 28:69-79.

Mcalister, F., R.D. Baker; R. G. Taylor. 2003. Peanut Production Guide. New Mexico State University. Online posting. Disponível em: http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/_h/h-648.html Guide H-468. Acesso em 11 Maio de 2020.

Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.

Moore MR, Gollehon NR, Carey MB (1994) Multiple crop decision in western irrigated agriculture: The role of water price. **American Journal of Agricultural Economics** 76:859-874.

Nakagawa J, Rosolem CA (2011) **O Amendoim: tecnologia de produção**. 1. ed.

Botucatu, FEPAF 325p.

Prado, R. de M. (2008) **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: Funep, v. 1, 261-280p.

Rao NH, Sarma PBS, Chander S (1988) Irrigation scheduling under a limited water supply. **Agricultural Water Management**. 15:165-175.

Silva LC, Beltrão NEM (2000) Incremento de fitomassa e produtividade do amendoim em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** 4:111-121.

Silva EB, Ferreira AE, Pereira GAM, Silva DV, Oliveira AJM (2017) Peanut plant nutrient absorption and growth. **Revista Caatinga** 30:653-661.

Souza UO, Santos LG, Carvalho GB, Santos AR, Souza GS (2012) Adubação fosfatada e qualidade de luz modificada no desenvolvimento e produtividade da cultura do amendoim. **Enciclopedia Biosfera, Centro Científico Conhecer** 8:17-35.

Sousa GG, Azevedo BM, Oliveira JRR, Mesquita TO, Viana TVA, Ó LMG (2013) Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:1055-1060.

TACO. 2011. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA-UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl, 161p.

Tarkalson DD, King BA (2017) Effect of deficit irrigation timing on sugarbeet. **Crop Economics, Production & Management** 109:2119-2127.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. World Agricultural Production. 2017. (Circular Series, October, 2021). Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>> Acesso: 03/11/2021.

Veiga RFA, Queiroz-Voltan RB, Valls JFM, Fávero AP, Barbosa W (2001) Caracterização morfológica de acesos de germoplasma de quatro espécies brasileiras de Amendoim-silvestre. **Bragantia** 60:167-17.

CAPÍTULO 2 - Produtividade da cultura do amendoim sob irrigação plena e deficitária na fase reprodutiva

RESUMO - O cultivo do amendoim tem importância nacional e mundial na agricultura e indústria. O conhecimento de seu comportamento diante do estresse ambiental é necessário para aumentar a produtividade. Em condições de limitação hídrica, os agricultores reduzem a área cultivada ou o aporte de água para os cultivos, o que resulta em decréscimos de produtividade. Essa pesquisa teve como objetivo avaliar a produtividade e os componentes de produção do amendoim na segunda safra, no Estado de São Paulo, sob irrigação plena e com estresse hídrico, aplicados na fase reprodutiva da cultura. Experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pertencente à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCAV/UNESP), de março a agosto de 2019 e 2020. O delineamento experimental foi em blocos com tratamentos distribuídos em faixas, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em 5 níveis de irrigação: 100%, 89%, 56%, 29% e 10% do consumo hídrico da cultura (evapotranspiração menos precipitação) e quatro repetições. As produtividades máximas dos experimentos variaram de 3.5 a 3.9 t ha⁻¹, sendo superior à média da região na entressafra (2.5 t ha⁻¹), mostrando que o manejo da irrigação é uma opção para os produtores produzirem de forma satisfatória. Temperaturas sub-ótimas no início da fase reprodutiva alongaram o ciclo de cultivo e reduziram a produtividade da cultura em cerca de 33%, em decorrência da menor fração de cobertura do dossel, acúmulo de biomassa da parte aérea e emissão de vagens e sementes. Os níveis de irrigação não afetaram a duração do ciclo de cultivo, e as produtividades máximas foram obtidas sob lâminas totais de 250 a 330 mm, resultando em produtividade da água entre 1 e 2 kg m³. Embora a irrigação possa viabilizar o cultivo intensivo do amendoim na segunda safra no estado de São Paulo, evitando o estresse hídrico, as ocorrências de baixas temperaturas reduzem a produtividade, aumentando o risco da exploração.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea*, déficit hídrico, componentes de produção.

Chapter 2 - Peanut crop productivity under full and deficient irrigation in the reproductive phase

ABSTRACT –

The cultivation of peanuts has national and world importance in agriculture and industry. Knowledge on their behavior in the face of environmental stress is necessary to increase and stabilize productivity. Under water-limited conditions, farmers reduce the cultivated area or the supply of water for crops, which results in a decrease in production or productivity. This research aimed to evaluate the yield and production components of the peanut crop, in the second crop, in the state of São Paulo, under full and deficit irrigation applied in the reproductive phase of the crop. Experiments were carried out at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences, belonging to the Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCAV/UNESP) from March to August 2019 and 2020. The experimental design was in blocks with treatments distributed in strips, with four replications. The treatments consisted of 5 irrigation levels; 100%, 89%, 56%, 29% and 10% of the culture water consumption (evapotranspiration minus precipitation) and four repetitions. The maximum yields of the experiments ranged from 3,5 to 3,9 kg ha⁻¹, being higher than the region average in the off-season (2.5 t ha⁻¹), showing that irrigation management is an option for producers to produce satisfactorily. Sub-optimal temperatures at the beginning of the reproductive phase lengthened the crop cycle and reduced crop productivity by about 33%, as a result of the lower fraction of canopy cover, accumulation of shoot biomass and emission of pods and seeds. Irrigation levels did not affect the duration of the cultivation cycle and maximum yields were obtained under total depths from 250 to 330 mm, resulting in water productivity between 1 and 2 kg m³. Although irrigation can enable the intensive cultivation of peanuts in the second crop in the state of São Paulo, avoiding water stress, the occurrence of low temperatures reduces productivity, increasing the risk of exploitation.

Keywords: *Arachis hypogaea*, water deficit, production components.

2.1 INTRODUÇÃO

Originário da América do sul, o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma das oleaginosas mais produzidas no mundo. Os três maiores produtores são a China, a Índia e a Nigéria, com 58,7% da produção total (FAOSTAT, 2020). É cultivado principalmente como fonte de proteína vegetal e de óleo (Nakagawa e Rosolem, 2011).

No Brasil, o cultivo do amendoim é predominante na região sudeste do país, sendo maior no período da primeira safra, de outubro a fevereiro. Em várias regiões do país, a irrigação é necessária para suplementar a carência de precipitação para se obter produtividades compensatórias, tendo em vista que o déficit hídrico é um dos fatores que mais afetam a capacidade produtiva da cultura do amendoim.

A irrigação é uma prática importante para aumentar a produtividade, principalmente durante os períodos de estiagem prolongados, como frequentemente ocorrem na safrinha no estado de São Paulo, e durante os períodos de recorrente deficiência hídrica nas demais regiões do país. Segundo a FAO (2012), a agricultura irrigada é o setor econômico que mais utiliza água no sistema de cultivo e compete com os demais setores produtivos pelo recurso hídrico.

Em sistemas de cultivo intensivo, como produção de sementes, a obtenção de produtividades elevadas com a cultura irrigada possibilita ao agricultor utilizar a melhor tecnologia disponível para controlar as pragas e doenças e, com isso, obter sementes de alta qualidade. No entanto, a prática da irrigação compete com os vários setores econômicos pelo recurso hídrico, que é limitado principalmente durante os períodos de estiagens prolongadas. Nessas condições, os agricultores são demandados a reduzir o aporte de água para os cultivos, o que resulta em decréscimos de produtividade das culturas.

A disponibilidade hídrica para as culturas é um fator de extrema importância, pois plantas submetidas ao estresse hídrico reduzem a taxa fotossintética, resultando em redução no crescimento da planta e afetando a formação e desenvolvimento dos grãos, os quais influenciam diretamente na produtividade (Arruda et al., 2015). Assim, a irrigação deve ser aplicada de acordo com as necessidades da cultura, na quantidade requerida e no momento oportuno.

Uma das estratégias para otimização do cultivo de amendoim é a irrigação deficitária, na qual o aumento da renda líquida se deve à redução da água aplicada,

embora a produtividade da cultura seja reduzida, em consequência da redução da lâmina aplicada (Capra et al., 2008). Outra opção sob restrição hídrica é maximizar a produção, aplicando irrigação deficitária em maior área e, conseqüentemente, obtendo-se maior produção, embora com produtividade menor.

O fato de a supressão da irrigação durante o ciclo ou parte dele reduzir a produtividade das culturas resultou em poucos progressos na adoção do manejo em irrigação deficitária. Capra et al. (2018) concluíram que os efeitos positivos da técnica são evidenciados quando os aspectos econômicos são considerados na análise e em aplicações sobre o planejamento para grandes áreas irrigadas.

Para o amendoim, há escassez de informações na literatura relacionadas à magnitude de estresse e o quanto a cultura suporta sem reduções significativas da produtividade, assim como a irrigação deficitária afeta a produtividade da água. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os componentes de produção e a produtividade do amendoim cultivado na segunda safra no Estado de São Paulo, com irrigação plena e deficitária no estágio reprodutivo da cultura.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos períodos de março a agosto de 2019 (Ano 1) e março a agosto de 2020 (Ano 2), na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pertencente à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCAV/UNESP), campus de Jaboticabal, SP (latitude 21°15'22" S, longitude 48°18'58" O e altitude 570 m).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 1.425 mm e temperatura média anual é de 22,2°C. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com textura argilosa, a moderado, caulínítico, relevo suave ondulado e ondulado (Santos et al., 2018).

A cultivar de amendoim IAC 503, tipo Virginia Runner, possui ciclo de 130-140 dias. A semente foi disponibilizada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a COPLANA, apresentando 85% de germinação. A semeadura foi realizada mecanicamente, após aração e gradagem do solo no dia seis de março de 2019 (Ano 1) e no dia 11-03-2020 (Ano 2), na densidade de 25 sementes m⁻¹ e espaçamento de 0,9 m entre linhas, com estande final de 18 plantas m⁻¹.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em faixas, com cinco tratamentos e quatro repetições. Foram testados cinco níveis de irrigação, L1, L2, L3, L4 e L5, correspondentes às reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura em dois anos de cultivos, 2019 (Ano 1) e 2020 (Ano 2). No período vegetativo, a irrigação foi plena (ET_c 100%) e no período reprodutivo foram diferenciados os tratamentos de irrigações plena e deficitárias.

O sistema de irrigação utilizado foi aspersão com o coeficiente de uniformidade de Christiansen de 91%, com irrigações aplicadas após o consumo da água prontamente disponível do solo (25,2 mm), calculada com base na curva de retenção de água do solo do experimento ($\theta_{cc} = 0,45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $\theta_{pmp} = 0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), fração de depleção ($p = 0,7$) e profundidade radicular (30 cm) recomendadas pelo método FAO-56 (Allen et al., 1998).

A depleção de água do solo foi contabilizada pela evapotranspiração da cultura, calculada pelo produto do coeficiente de cultivo (K_c) e evapotranspiração de referência (ET_o), estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). As dimensões das parcelas experimentais foram de 2,4 x 6,3 m, perfazendo 15 m²,

contendo sete linhas, espaçadas de 0,9 m. Das sete linhas foram consideradas duas linhas para avaliação de crescimento, desprezando-se uma linha de cada lado. Para avaliação de produtividade, foram consideradas outras duas linhas, também desconsiderando uma linha de cada lado.

A distribuição gradual da precipitação foi obtida por um sistema de aspersão em linha (Figura 1), no qual a lâmina decresce em função da distância da linha de aspersores localizada no centro da área (Hanks et al., 1976). Foram utilizados aspersores Senninger (Modelo 3023-2 com duplo bocal de 8 x 5 mm), operados com pressão de 300 kPa, no espaçamento de 6 m, produzindo um raio de alcance de 12 m e intensidade de aplicação de 13 mm h⁻¹.

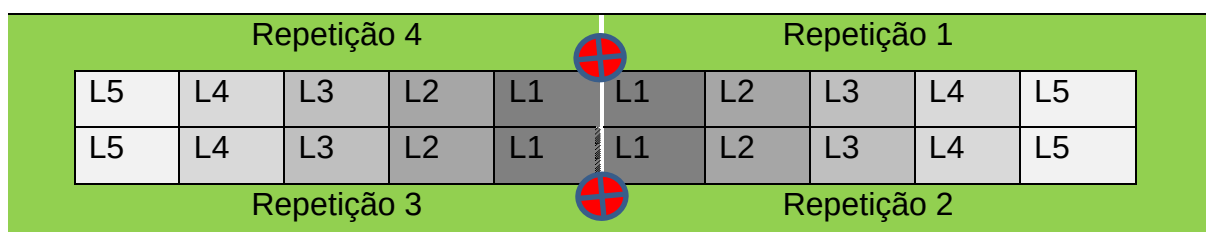


Figura 1. Esquema da área experimental com sistema de aspersão em linhas, tratamentos de lâminas de irrigação e repetições. Círculo em vermelho representa um aspersor.

Coletores espaçados de 1 m foram utilizados para determinar a distribuição espacial da lâmina de irrigação e as quantidades aplicadas em cada tratamento, calculadas pela média dos valores coletados antes e durante a aplicação da irrigação. Deste teste de campo definiram-se também as frações de distribuição da precipitação dos aspersores, utilizados para definir as lâminas de água aplicadas, correspondentes aos tratamentos experimentais (Figura 2).

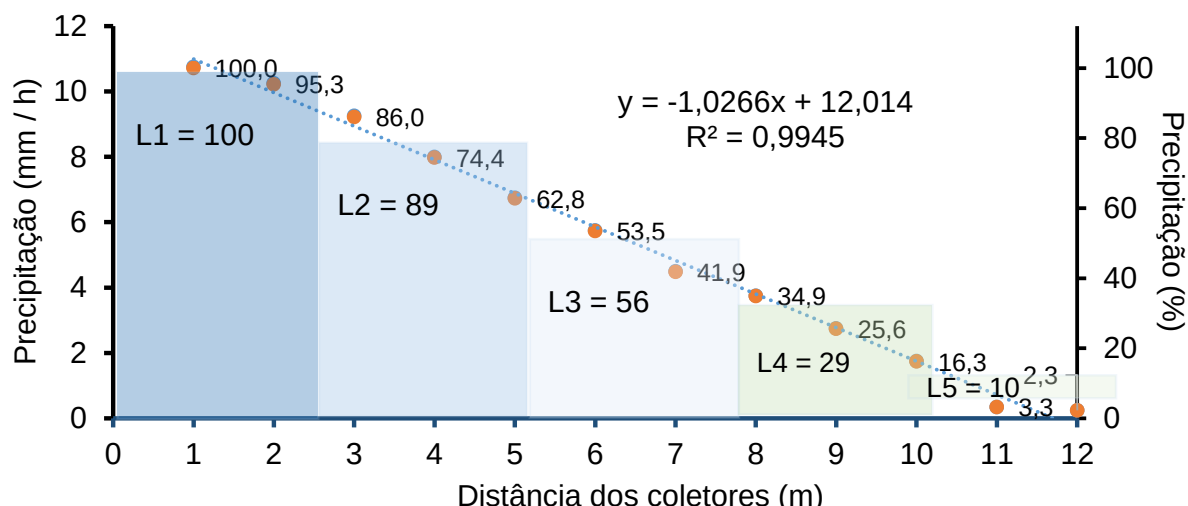


Figura 2. Distribuição da precipitação em função da distância da linha de aspersores.

O manejo da irrigação foi realizado com base na demanda hídrica da cultura, utilizando o método FAO 56, sendo os dados climáticos obtidos diariamente na estação agrometeorológica da FCAV/UNESP. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A evapotranspiração da cultura do amendoim (ET_c) foi calculada pelo produto da ET_o com os valores tabelados dos coeficientes de cultura (K_c) (Allen et al., 1998).

Durante a condução dos experimentos, a temperatura transcorreu na faixa ideal de cultivo para o amendoim (10 a 33°C) (Prela e Ribeiro, 2000), com valores decrescentes do início para o final do ciclo de cultivo. Durante o experimento de 2020, ocorreram valores de temperatura mínima mais baixa do que no experimento de 2019, principalmente entre os estádios de floração (R1) e início de formação de sementes (R5) (Figura 3). A temperatura mais baixa entre esses estádios é prejudicial à cultura do amendoim, podendo afetar os componentes de produção e, consequentemente, na produtividade da cultura.

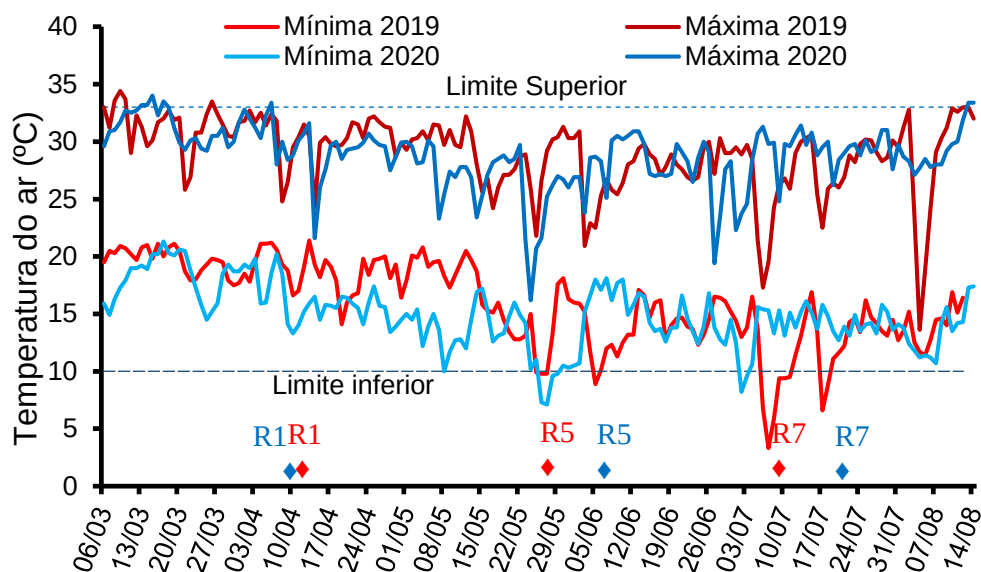


Figura 3. Temperaturas máxima e mínima durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

R1, R5 e R7 são os estádios de floração, aparecimento de vagens e maturação fisiológica, respectivamente, em vermelho para 2019 e azul para 2020.

A precipitação em 2019 (104 mm) e 2020 (43 mm) ocorreu de forma mais concentrada no início do experimento, da semeadura ao florescimento (estádio R1) (Figura 4). As lâminas de ETo e ETm em 2020 foram superiores às de 2019 (Figura 5), o que justifica a maior lâmina total (Precipitação + irrigação) recebida em 2020 (387 mm), em relação a 2019 (332 mm), para o tratamento sob irrigação plena (L1) (Figura 5).

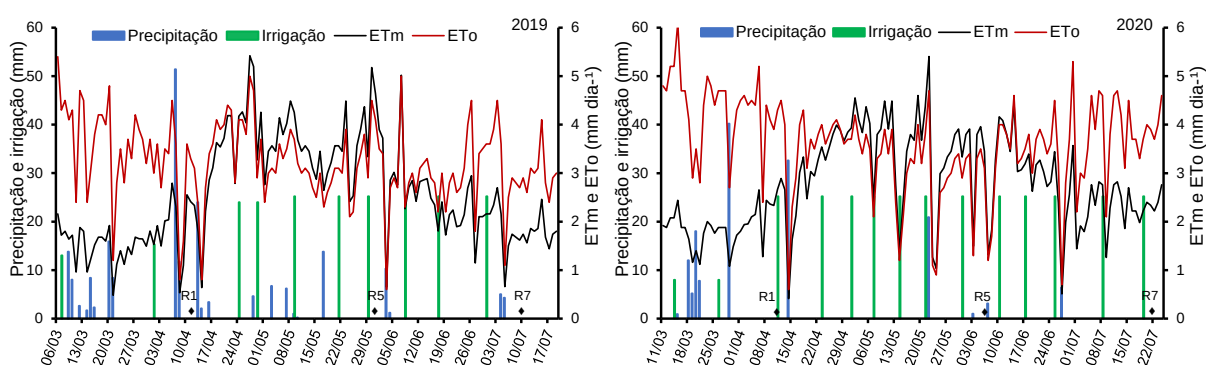


Figura 4. Precipitação, irrigação, evapotranspiração máxima da cultura (ETm) e evapotranspiração de referência (ETo), durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

Segundo Baldwin e Harrison (1996) e Fernandez et al. (2006), o amendoim tem

demanda hídrica entre 500 e 700 mm para ciclos normais de cultivo. França et al. (2021) encontraram demanda hídrica para a segunda safra transcorrida durante o outono e inverno em Jaboticabal de 470 mm para semeadura em fevereiro e 360 mm para semeadura em março, semelhantes, portanto, ao que se observou no presente trabalho.

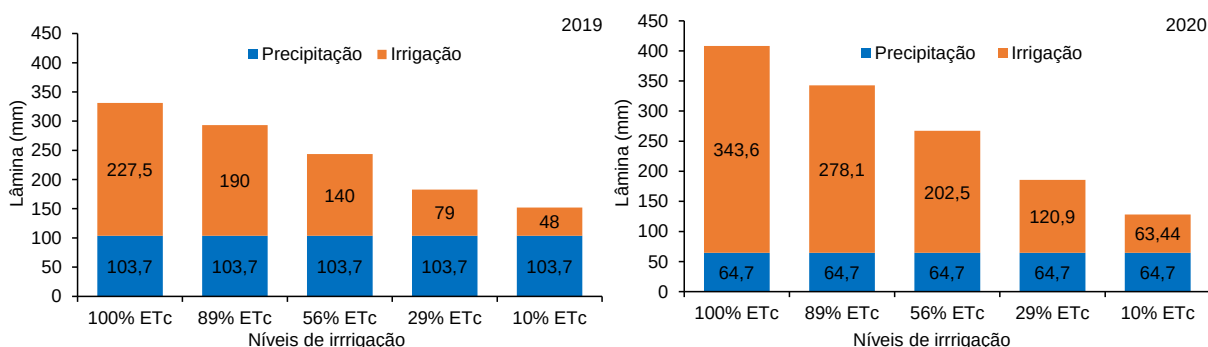


Figura 5. Lâmina de irrigação e precipitação (mm) dentro dos níveis de irrigação aplicados durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

Amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 0,2 m para a análise química, de acordo com a metodologia proposta por Raij (2001), aos 30 dias antes do experimento em 2019 e 2020, respectivamente (Tabela 1). Segundo recomendação de Raij et al. (1997), o solo apresentava condições ideais para o cultivo, com acidez baixa, teor de matéria orgânica próximo à faixa ideal, K alto, P_{resina} alto, saturação por base e CTC alta.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental na profundidade de 0-0,2 m nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

	pH	M.O.	P_{resina}	S	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
ANO	CaCl_2 (g dm^{-3})	(mg dm^{-3})	(mmol $_c$ dm^{-3})									
2019	5,9	21	35	8	23	0	3,9	36	12	52,4	75,4	70
2020	6,1	23	72	3	15	0	3,5	48	12	63,9	79,1	81

MO – Matéria orgânica; S - enxofre; H + Al – acidez potencial; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases. Extratores utilizados: pH - em CaCl_2 por potenciometria; H + Al - em tampão SMP por potenciometria; M.O - por espectrofotometria; P - em resina por espectrofotometria; S - por turbidimetria; K, Ca e Mg - por espectrometria de absorção atômica; Al - em KCl por titulação

De acordo com a análise do solo, toda a adubação foi realizada na semeadura, sendo aplicados 20 e 50 kg ha^{-1} de K_2O e P_2O_5 , respectivamente (Ambrosano et al., 1997). As fontes utilizadas foram cloreto de potássio e superfosfato simples.

Os atributos físicos do solo da área experimental (Tabela 2) revelam a textura muito argilosa (49,5%) do Latossolo Vermelho eutrófico e sua boa capacidade de armazenamento de água.

Tabela 2. Parâmetros da curva de retenção de água pelo modelo de Van Genuchten (1980) e textura da área experimental na profundidade 0-0,4 m, em Jaboticabal, São Paulo.

Curva de retenção*	Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Parâmetros de VAN GENUCHTEN				Ajuste
	θ_s	θ_{cc}	θ_{pmp}	α	θ_r	m	n	R^2
	0,478	0,399	0,280	0,042188	0,226	0,19299	1,239156	0,998
Textura (g kg^{-1})	Areia			Silte			Argila	
	293			213			495	

*Umidades volumétricas na saturação (θ_s), capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}); parâmetros θ_r , α (cm^{-1}), m e n, e o coeficiente de ajuste (R^2) entre o medido e o estimado pelo modelo. Fonte: Lopes (2006)

A umidade do solo nas parcelas experimentais foi medida na profundidade de 0,2 m com o auxílio da sonda TDR (Hydrosense), que usa métodos indiretos para estimar o teor de água no solo a partir de medidas de constante dielétrica do solo.

Os valores de umidade do solo medidos na camada 0–0,2 m (Figura 6) nos tratamentos sob os níveis de irrigação L1, L2 e L3 se mantiveram nos limites de água disponível, entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente, durante os dois ciclos de cultivo. Nos tratamentos sob L4, a umidade foi maior do que L5 nos dois ciclos de cultivo, porém em ambos a umidade permaneceu abaixo da umidade de ponto de murcha permanente.

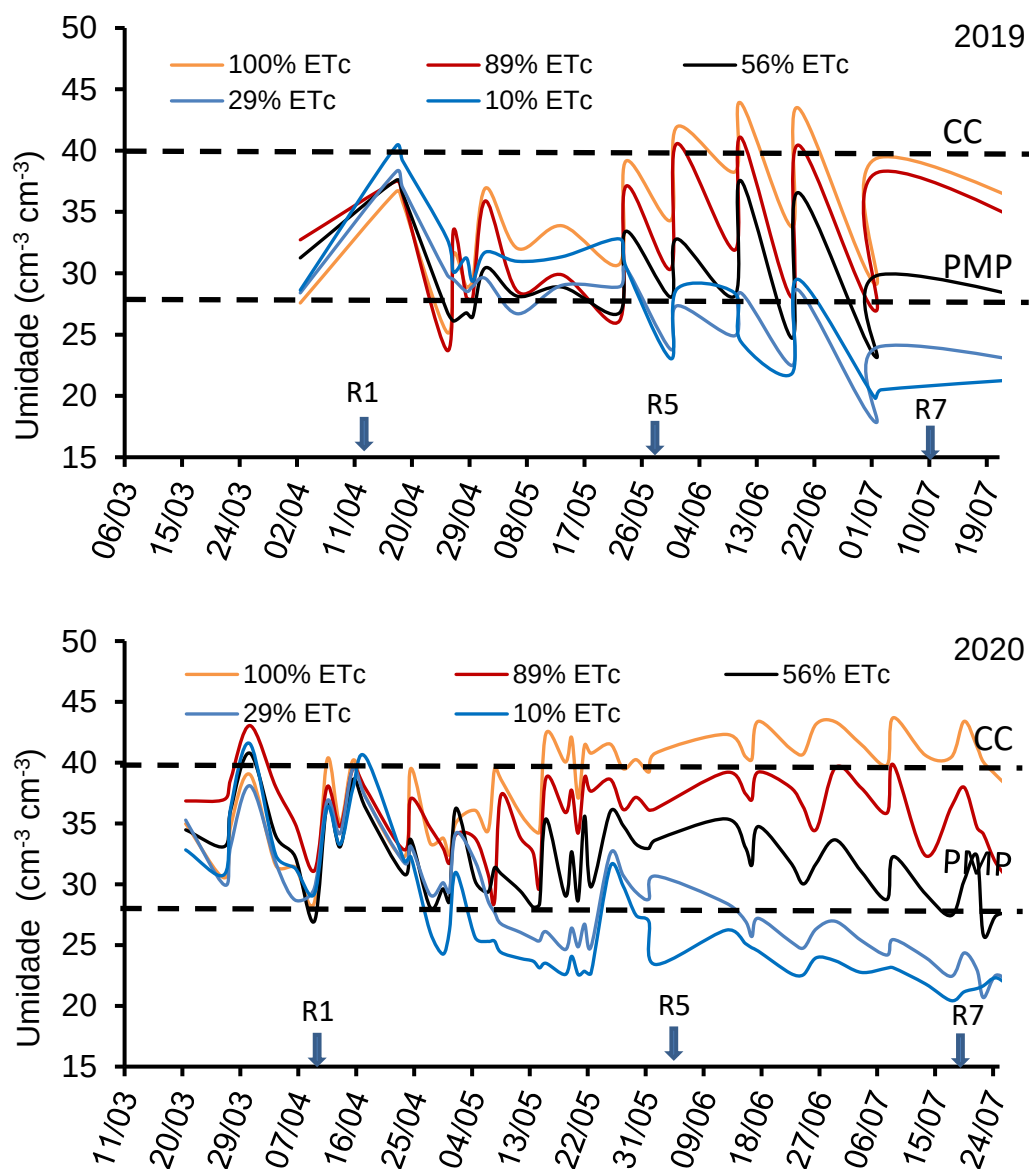


Figura 6. Umidade do solo na camada 0 - 0,2 m de profundidade, em função dos níveis de irrigação, durante os ciclos de amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

CC é capacidade de campo; PMP é ponto de murcha permanente.

Durante a condução dos experimentos, foram realizados controles fitossanitários, conforme a infestação de patógenos. A colheita foi realizada manualmente aos 159 DAS, em 2019 e aos 160 DAS em 2020.

2.2.1 Variáveis avaliadas

- **Soma de graus-dia (SGD):** determinada pela soma dos valores positivos da diferença entre temperatura média diária (T_m) e temperatura base (T_b) assumida como 12° C:

$$SGD = \sum [T_m - T_b] \quad (1)$$

- **Datas de ocorrência de estádios fenológicos:** foram determinadas em campo semanalmente de forma visual segundo o método de Boote et al. (1982), em que VE é a emergência, R1 é o início do florescimento, R5 é o início da formação de sementes e R7 é o início da maturação.

- **Fração de cobertura (FC):** determinada com o auxílio do aplicativo de celular Canopeo® (Patrignani e Ochsner, 2015), aos 35, 49, 63, 77, 91, 105, 119, 133 e 147 DAS. Fotografias de área delimitada por um gabarito de madeira de 0,9 x 1m colocado na parcela experimental foram utilizadas para estimar a fração da área coberta com vegetação verde.

- **Biomassa da parte aérea e massa de vagem:** coletadas ao longo do ciclo, tomando-se três plantas por parcela, com início aos 35 DAS e depois coletadas a cada 14 dias. O material foi levado ao laboratório de solo e água da FCVA/UNESP, separado em parte aérea (caule + folhas) e vagens (grãos + cascas), cada parte foi lavada, depois colocada em sacos de papel e levada para secagem em estufa com circulação de ar forçada, mantendo-se a 65°C até alcançar peso constante. Depois, o material foi pesado em balança de precisão para obter o peso da parte aérea (caule + folhas) e vagens (grãos + cascas).

- **Componentes de produção:** determinados ao final do ciclo, tomando-se dez plantas da área útil, sendo determinados: massa de vagens (MV), massa de sementes (MS), número de sementes (NS), massa unitária de sementes (MUS).

- **Produtividades finais de biomassa e vagens:** Foram consideradas duas linhas da parcela útil, desprezando-se uma linha de cada lado, das quais foram retiradas todas

as plantas e vagens.

- **Produtividade da água recebida:** calculada pela relação:

$$PA = 0.1 \frac{Y_i}{D_i} \quad (2)$$

em que PA é a produtividade da água (kg m^{-3}), Y_i é massa de vagens (kg ha^{-1}) e D_i é lâmina total recebida durante o ciclo (irrigação + chuva, mm).

2.2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Quando houve efeito significativo, os dados foram submetidos à análise de regressão com auxílio do *software* estatístico SISVAR® 5.6 (Ferreira, 2019).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em cada ano de condução dos experimentos, os níveis de irrigação não afetaram a duração do ciclo, porém o ciclo de cultivo do amendoim foi mais longo em 2020 (133 dias) do que em 2019 (121 dias) (Figura 7). Visto que o amendoim é considerado neutro ao fotoperiodismo (Ferrari Neto et al., 2012) e as datas de semeadura foram próximas em ambos os experimentos, o ciclo mais tardio em 2020 se deve à baixa temperatura durante o período R1-R5, de 10 de abril a 30 de maio daquele ano (Figura 3).

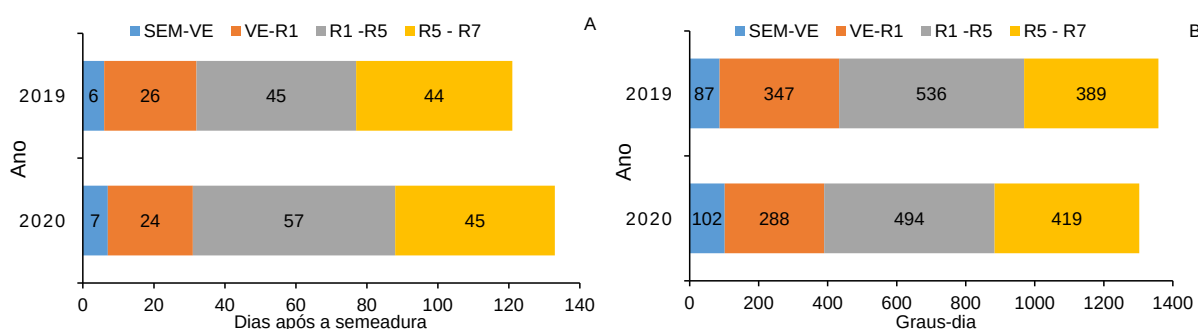


Figura 7. Duração de períodos fenológicos de amendoim em dias após a semeadura (DAS) (A) e soma dos graus-dia (SGD) (B), nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

Sem-VE é a semeadura à emergência, VE-R1 é a emergência à início do florescimento, R1-R5 é o início do florescimento à início da formação de sementes, R1-R7 é o início da formação de sementes à início da maturação.

Este efeito resultou em decréscimo da taxa de desenvolvimento fenológico da

cultura e, conseqüentemente, prolongamento do período do R1-R5, de 44 dias em 2019 a 57 dias em 2020. De acordo com Godoy et al. (2017), a cultivar IAC 503 é considerada de ciclo longo, de 130 a 140 dias, corroborando os resultados do presente estudo.

O efeito da temperatura na taxa de desenvolvimento fenológico da cultivar IAC 503 é evidenciado pela soma de graus-dia sementeira à maturação fisiológica, totalizando valores nos dois ciclos de cultivo, ou seja, 1359 e 1223 °C d⁻¹ em 2019 e 2020, respectivamente (Figura 7). As somas térmicas computadas para os períodos fenológicos durante o ciclo foram semelhantes, inclusive para o período R1-R5, que teve maior variação, indicando que a SGD é adequada para predição da fenologia do amendoim.

Esses resultados foram semelhantes aos observados por França et al. (2021), ao encontrarem ciclos de 117 e 142 dias e SGD de 1288 e 1282 °C d⁻¹ para a cultivar IAC 505, semeada em fevereiro e março de 2018 no mesmo local do presente experimento. Os valores observados no presente estudo foram inferiores aos observados por Marin et al. (2006), que contabilizaram de 1930 °C d⁻¹ com a 10 °C (tb) para o mesmo grupo da Virginia, que é o grupo da cultivar IAC 503.

Para os níveis de irrigação testados, nos dois anos de cultivo, a fração de cobertura do solo pelo dossel (FC) atingiu cerca de 35% aos 40 DAS (R1), seguido de crescimento do índice até valores máximos de 80% aos 91 DAS e depois redução dos valores devido à senescência natural da cultura (Figura 8). Essa redução foi abrupta em 2019 e mais acentuada em 2020, atingindo valores finais ao redor de 15 a 20% em 2020 e de 20 a 55% em 2019.

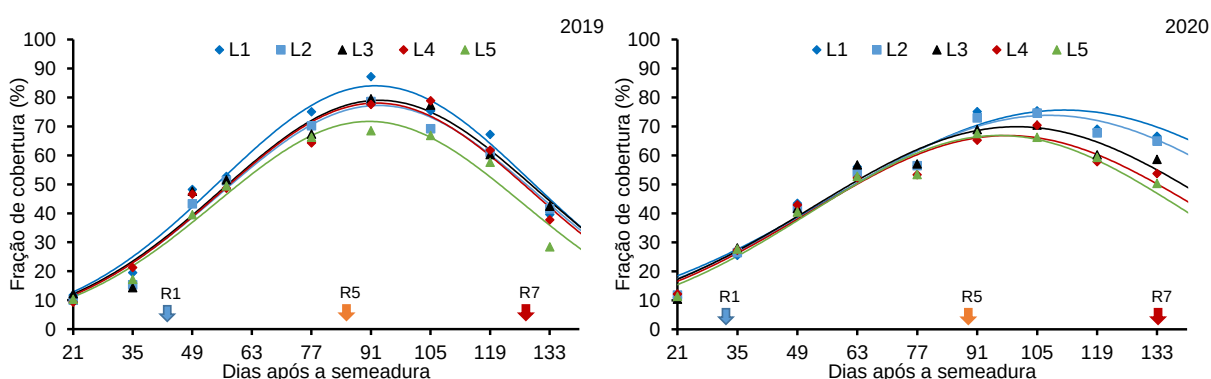


Figura 8. Fração de cobertura ao longo dos ciclos cultivos nos anos de 2019 e 2020 nos diferentes níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente.

As diferenças de FC em função dos níveis de irrigação se evidenciaram logo após a diferenciação dos tratamentos em R1 no experimento de 2019 e somente a partir do valor de pico de FC, aos 91 DAS, no experimento de 2020. Essa diferença pode ser atribuída ao menor crescimento da planta devido à temperatura mais baixa no período R1-R5. Song et al. (2020) relatam que o amendoim reduz suas atividades metabólicas, atrasando o crescimento, quando submetido ao estresse por frio, conforme observado no presente trabalho.

Resposta semelhante de crescimento do dossel foi observada por França et al. (2021), com maior fração de cobertura perto dos 100 dias, além disso, os autores observaram que não ocorreu uma cobertura total com o mesmo espaçamento utilizado ao deste trabalho, 0,9 m. A fração de cobertura é diretamente proporcional à interceptação de radiação pelo dossel vegetal, que, por sua vez, afeta a fotossíntese e o crescimento vegetal.

Assim, diante da observação de que a máxima FC em ambos os experimentos foi de aproximadamente 80%, pode-se inferir que, para o cultivo de amendoim na segunda safra no local do estudo, deve-se reduzir o espaçamento entre linhas, para que a FC seja próxima de 100%, obtendo com isso melhor aproveitamento da radiação solar e produtividade. No entanto, ao se reduzir o espaçamento ocorrerá aumento do índice de área foliar (IAF) e, conseqüentemente, aumentaria o consumo hídrico, recomendando-se estudos adicionais.

Maior acúmulo da biomassa foi observado em 2020 em comparação a 2019 (Figura 9). O incremento foi lento até os 49 DAS, depois houve acréscimo acentuado até atingir o platô próximo aos 105 DAS, seguido de um decréscimo, em ambos os anos de cultivo, devido à senescência.

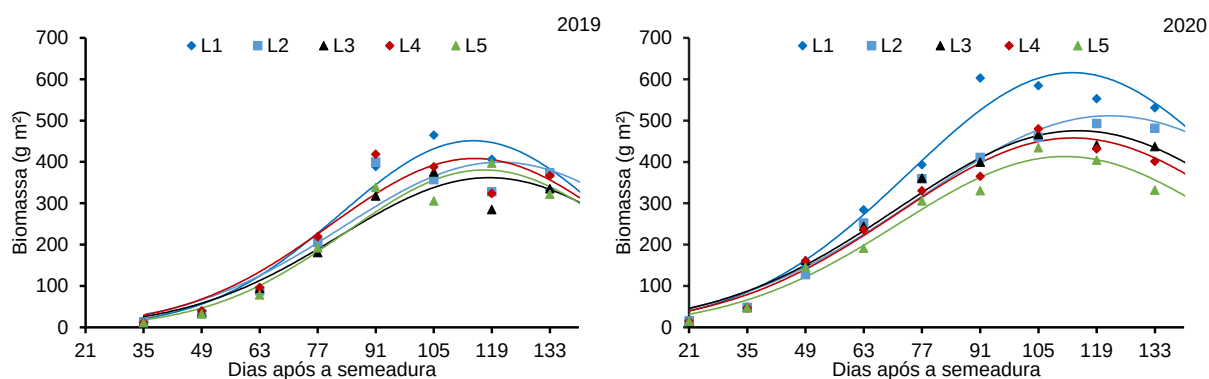


Figura 9. Biomassa da parte aérea (caule + folhas) ao longo dos ciclos cultivo nos anos de 2019 e 2020 nos diferentes níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura,

respectivamente.

Nos dois anos de experimentação, a produção de biomassa ao longo do ciclo reduziu-se em função da redução das lâminas aplicadas (Figura 9), com a mesma tendência que a fração de cobertura (Figura 8). A produção de biomassa tem relação direta com a fração de cobertura, com ocorrência de máximo na mesma época em ambos os anos (105 DAS), seguida de decréscimo em virtude da senescência natural no final do ciclo.

A produção de vagens ao longo do ciclo foi maior em 2019 (Figura 10). A menor produção de vagens em 2020, apesar da maior biomassa neste ano, pode ser justificada pelas temperaturas subótimas (Figura 3), durante o período entre a floração e início de formação de grãos (R1-R5), o que pode ter levado ao abortamento de vagens, conforme consta na Figura 10.

A menor quantidade de vagens por planta pode ter reduzido a demanda por nutrientes para a formação das sementes, provocando maior disponibilidade de assimilados para manter o crescimento da biomassa em taxas elevadas, resultando na maior produção de biomassa em 2020. Além disso, no segundo ano ocorreu um prolongamento dos estádios, de maneira que a biomassa pode acumular valores mais elevados ao final do ciclo.

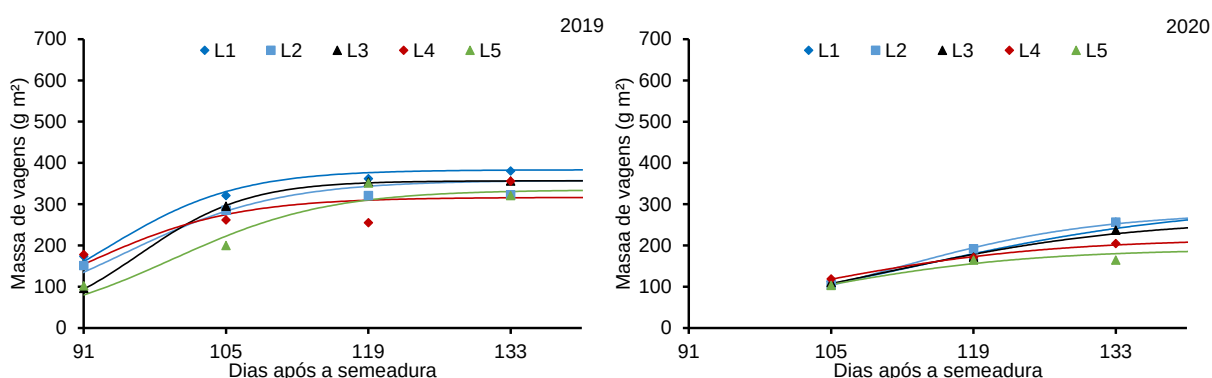


Figura 10. Massa de vagens ao longo dos ciclos cultivos nos anos de 2019 e 2020 em função de níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo. L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 39% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente.

Os efeitos da baixa temperatura durante o período R1–R5 são evidenciados pela análise dos componentes de produção determinados ao final do ciclo (massa de vagens e sementes, número e massa unitária de sementes), que foram superiores em 2019 na comparação com o cultivo em 2020 (Figura 11). Não houve diferença desses componentes de produção entre os tratamentos de níveis de irrigação. Portanto, a

redução da massa de vagens e de sementes em 2020 está relacionada ao menor desenvolvimento de sementes e à menor massa unitária de semente.

Song et al. (2020) explicam que baixas temperaturas afetam os processos metabólicos do amendoim, reduzindo o desenvolvimento e crescimento da cultura. Cato et al. (2008) afirmam que baixas temperaturas noturnas são consideradas o principal fator climático responsável pela insuficiência na formação de vagens. Armando Júnior (1990) concluiu que diferenças de temperaturas diurnas e noturnas acima de 20°C reduzem drasticamente a formação de flores.

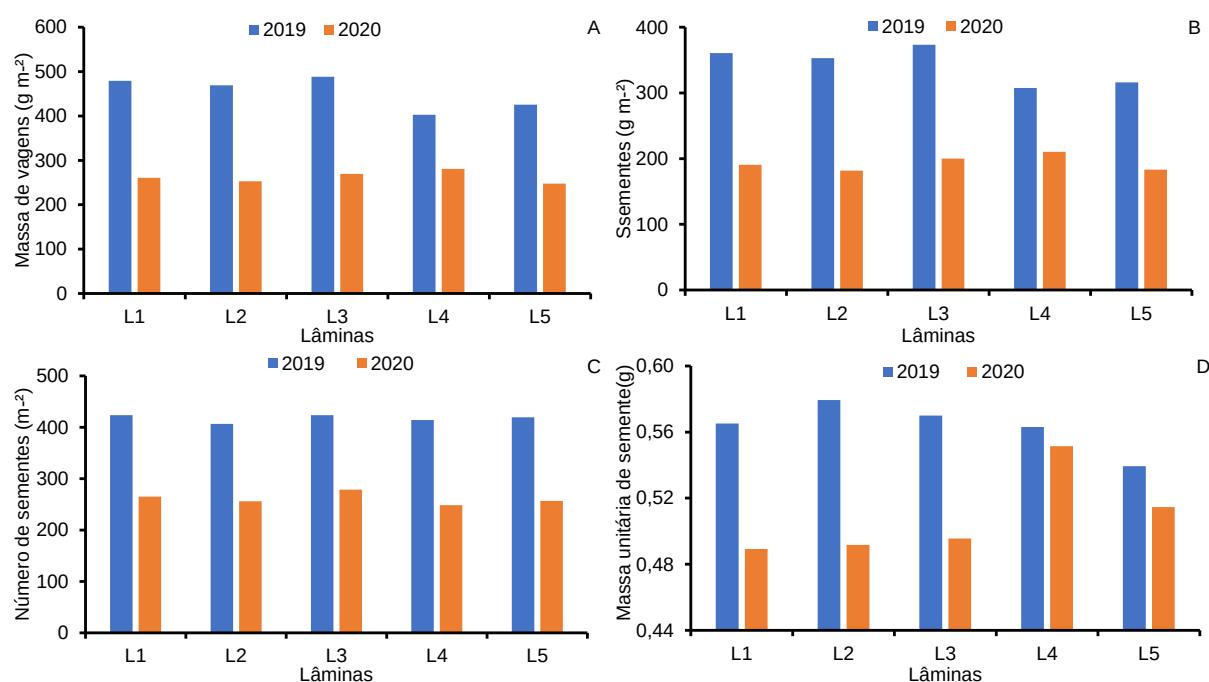


Figura 11. Massa de vagens (A), massa de sementes (B), número de sementes (C) e massa unitária de sementes (D) avaliadas ao final dos ciclos cultivados nos anos de 2019 e 2020 em função de níveis de irrigação, em Jaboticabal, São Paulo.

L1, L2, L3, L4 e L5 - reposições de 100%, 89%, 56%, 29% e 10% da evapotranspiração da cultura, respectivamente.

A produtividade média para os cinco níveis de irrigação foi maior em 2019 (3.440 kg ha⁻¹), em comparação ao ciclo de 2020 (2.370 kg ha⁻¹). Como apresentado previamente (Figuras 3, 10 e 11), esse efeito é atribuída à baixa temperatura no período R1 a R5, que reduziu o desenvolvimento de vagens e sementes no segundo ano do experimento.

A manutenção da produtividade elevada nos tratamentos com reposição de 89, 56 e 29% da ETc pode ser parcialmente explicada pela tolerância moderada ao estresse hídrico do amendoim, apesar da deficiência hídrica ter sido imposta no

período reprodutivo, que é o mais sensível ao estresse hídrico (Nakagawa e Rosolem, 2011). Outra possibilidade de que o efeito do estresse hídrico na produtividade da cultura tenha sido amenizado reside no fato de a umidade do solo na camada 0 – 0,2 m ter se mantido entre os limites de água disponível em todos os tratamentos, exceto L4 e L5 (Figura 6), conforme discutido anteriormente.

A manutenção da umidade em nível favorável nestes tratamentos pode se dever ao baixo uso consuntivo do amendoim durante o período de outono e inverno (Figura 4) e à utilização da umidade armazenada no solo, em complementação à lâmina deficitária recebida em cada tratamento (Figura 6).

As produtividades máximas obtidas neste trabalho, de 3.530 a 3.952 kg ha⁻¹, obtidas em 2019 (Tabela 3), são equivalentes à média considerada ideal da cultura (Godoy et al., 2017) e superior à média nacional de 3.500 kg ha⁻¹ dos cinco últimos anos na safra das águas e de 1.800 kg ha⁻¹ na safra da seca (CONAB, 2021). Em 2020, a produtividade foi inferior à média nacional da primeira safra em todas as lâminas estudadas devido à baixa temperatura no início da fase reprodutiva.

As curvas de resposta de produtividade de vagens em função da lâmina recebida pela cultura (precipitação + irrigação) foram ajustadas por regressão quadrática (Figura 12A). As produtividades máximas de 3.530 a 3.952 kg ha⁻¹, obtidas em 2019, ocorreram em lâminas recebidas entre 250 e 330 mm. Para 2020, uma vez que o efeito benéfico da irrigação em suprir a deficiência hídrica foi reduzido pela ocorrência de temperaturas subótimas no início da fase reprodutiva, não se atingiu o platô de produtividade máxima (Figura 12A).

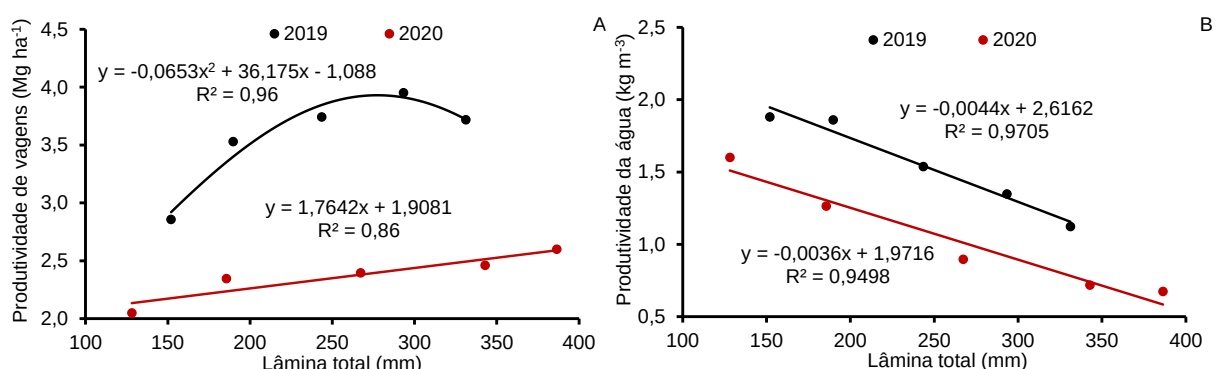


Figura 12. Produtividade de vagens (A) e produtividade da água (B) em função de lâmina total recebida (precipitação + irrigação) durante o cultivo do amendoim nos anos de 2019 e 2020, em Jaboticabal, São Paulo.

Como as lâminas aplicadas foram semelhantes nos dois experimentos e a

produtividade de vagens foi menor em 2020, a produtividade da água foi mais elevada em 2019 (1 a 2 kg m⁻³) do que 2020 (0,7 a 1,6 kg m⁻³), conforme Figura 12B. O ajuste linear destas funções com valores de declividade semelhantes (-0,0036 e -0,0044 kg mm⁻¹) indicam que a taxa de produtividade de vagens por unidade lâmina foi mantida em ambos os anos e que o efeito da temperatura na redução de produtividade foi de 33%, calculado pela relação entre os valores do intercepto das equações ajustas para 2019 e 2020, respectivamente.

2.4 CONCLUSÕES

Temperaturas mais baixas alongaram o ciclo de cultivo do amendoim, porém a soma térmica para completar o ciclo manteve-se estável, entre 1.223 e 1.359 graus-dia, para temperatura base de 12°C;

Temperaturas sub-ótimas no início da fase reprodutiva no segundo ano do experimento reduziu a produtividade da cultura em 33%;

As menores produtividades sob temperaturas mais baixas foram decorrentes da redução na taxa de crescimento da planta, resultando em menor fração de cobertura do dossel, acúmulo de biomassa da parte aérea e emissão de vagens e sementes;

Os níveis de irrigação não afetaram a duração do ciclo de cultivo;

As produtividades máximas (3.530 a 3.952 kg ha⁻¹) obtidas neste estudo são equivalentes à média considerada ideal da cultura e superiores à média nacional (3.500 kg ha⁻¹);

As produtividades máximas obtidas no ano com temperaturas adequadas foram obtidas sob lâminas totais (precipitação + irrigação) entre 250 e 330 mm;

Embora a irrigação possa viabilizar o cultivo intensivo do amendoim na segunda safra no Estado de São Paulo, evitando o estresse hídrico, as ocorrências de baixas temperaturas reduzem a produtividade, aumentando o risco da exploração.

REFERÊNCIAS

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M 1998 Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop requirements. FAO 56 50 p.

Alvares CA, Stape JL Sentelhas PC, Gonçalves JLGM, Sparovek G 2013 Köppen's

climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728.

Ambrosano JE, Tanaka RT, Mascarenhas HAA, Raij B. van, Quaggio JÁ, Cantarella H 1997 Leguminosas e oleaginosas. In: Raij B. van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC. p. 189-203.

Armando Junior J 1990 **Floração em amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. 83 f Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – UNICAMP, Campinas.

Arruda IM, Cirino VM, Buratto JS, Ferreira JM (2015) Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:146-154.

Baldwin JA, Harrison KA (1996) Determining water use in peanut production. **Irrigation Journal** 46:18-21.

Boote, KJ.; Stansell, JR.; Schubert, AM.; Stone, JF. Irrigation, water use and water relation. In: PATEE, H.R.; YOUNG, C.T. (Ed.). Peanut science and technology. Texas: American Press, 1982, p. 164-205.

Capra A, Consoli S, Scilicone B 2008 Deficit irrigation: theory and practice. In: Alonso D, Iglesias H (Eds). **Agricultural irrigation research progress**. New Science Publisher, p 53-83.

Cardozo, N.P., Volpe, C.A., Araújo Júnior, I.P. Consumo hídrico de dois cultivares de amendoim em função da época de semeadura. in: congresso brasileiro de agrometeorologia, 16., 2009, belo horizonte. anais... belo horizonte, 2009. p.1-5.

Centurion, j. f.; Andrioli, i. Regime hídrico de alguns solos de jaboticabal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 24, núm. 4, 2000, pp. 701-709

Cato SC, Albert LHB, Monteiro ACBA 2008 Amendoim. In: Castro PRC. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Ceres, p. 26-35.

CONAB 2021 Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: Décimo levantamento, julho 2020 – v.7, safra 2019/2020, Brasília: CONAB, 2020. Available on <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/grãos>>. Accessed on fev. 2021.

FAO 2012 Coping with water scarcity - An action framework for agriculture and food security. Sales and Marketing Group: Rome, 2012.

FAOSTAT 2020 Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>. Acesso em 23/07/2021.

Fernandez EM, Giayetto O, Sobari LC, Cerioni GA (2006) Ecofisiología y Factores Ambientales. **El cultivo de maní en Córdoba** 5: 89-112

Ferrari N, Costa CHM, Castro GSA 2012 Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria**

Paranaensis 11: 01-13.

Ferreira DF 2019 Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria** 37:529-535.

França PNO, Faria RT, Carrega WC, Coelho AP, Godoy IJ, Palaretti LF (2021) Peanut yield under irrigation levels in off-season cultivation. **Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo** 53:55–67.

Gillier, P. Silvestre, P. **El cacahuete o maní**. Barcelona: Blume, 1970. 281p.

Godoy IJD, Santos JFD, Michelotto MD, Moraes ARAD, Bolonhezi D, Freitas RSD, Martins AL M (2017) IAC OL 5-New high oleic runner peanut cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 17:295-298.

Hanks RJ, Keller J, Rasmussen VP, Wilson GD 1976 Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal** 40:426-429.

Marin FR, Pezzopane JR, Junior MP, Godoy IJ, Gouvêa JRF 2006 Estimativa da produtividade e determinação, das melhores épocas de semeadura para a cultura do amendoim no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia** 14:64-75.

Prela A, Ribeiro AMA 2000 Soma de graus-dia para o sub-período semeadura maturação do amendoim. **Revista Brasileira de Agrometeorologia** 8:321-324.

Patrignani A, Ochsner TE 2015 Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. **Agronomy journal** 107:2312-2320.

Raij B. van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA 2001 Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais Campinas Instituto Agrônomo 285 p.

Raij B. van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC 1997 Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC. p. 189-203.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF 2018 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 356p.

Silva, LC; Beltrão, NEM; Rao, TVR; Fidelis Filho, J. Efeito do manejo da irrigação na qualidade da produção e na produtividade do amendoim cv. Br1 Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 2, p.175-178, 1998.

Song Q, Liu Y, et al. 2020 Supplementary calcium restores peanut (*Arachis hypogaea*) growth and photosynthetic capacity under low nocturnal temperature. **Frontiers in Plant Science** 10:1-15.

CAPÍTULO 3. Macronutrient absorption rate of a runner-type peanut cultivar¹

Antonio M. P. Bertino^{2*}, Rogerio T. de Faria², Eduardo da S. B. Jesus²,

Thayane L. Alves², Ancelmo Cazuza Neto² & José de A. Barbosa²

ORCID'S: Antonio Michael Pereira Bertino: <https://orcid.org/0000-0002-1870-0027>

Rogerio Teixeira de Faris: <https://orcid.org/0000-0002-1696-7940>

Eduardo da Silva Bom Jesus: <https://orcid.org/0000-0002-3792-4288>

Thayane Leonel Alves: <https://orcid.org/0000-0003-3532-2117>

Ancelmo Cazuza Neto: <https://orcid.org/0000-0002-1849-5828>

José de Arruda Barbosa: <https://orcid.org/0000-0002-7393-8839>

¹ Research developed at Universidade Estadual Paulista/Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, Brazil

² Universidade Estadual Paulista/ Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, Jaboticabal, SP, Brazil

HIGHLIGHTS:

Fertilization recommendations for peanuts are insufficient to meet the nutritional demands of current cultivars

High nutrient export and inadequate fertilization of successive peanut cycles can exhaust the soil

Studies of the absorption rate under different conditions are recommended to determine the fertilizer requirements of peanuts

BERTINO, A. M. P.; FARIA, R. T.; JESUS, E. S. B.; ALVES, T. L.; CAZUZA NETO, A.; BARBOSA, J. A.

Macronutrient absorption rate of a runner-type peanut cultivar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, n

26, v.6, p 433-440, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p433-440>

Macronutrient absorption rate of a runner-type peanut cultivar

ABSTRACT: Peanuts are one of the most produced legumes in the world; however, there is a lack of knowledge on their nutritional needs and the growth phases with greater demands; therefore research is required on the nutrient absorption rate of the crop. The objectives of this study were to determine the rates of absorption in the vegetative part and the pods, the accumulation of macronutrients in the vegetative part, pods, and in total, and the nutrient export to pods during the cycle of the peanut, cv Runner IAC 503, grown under full irrigation. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal campus, SP, Brazil, from March to August 2019 using a randomized block design, with evaluations of the macronutrient absorption rate and accumulation at 35, 49, 63, 77, 91, 105, 119, 133, and 147 days after sowing, with four replications. Higher nutritional demands of peanuts occurred between 63 and 105 days after sowing. Greater total accumulation of nutrients was reached at 118 DAS, with 234.8, 173.5, 79.0, 45.8, 23.4, and 18.8 kg ha⁻¹ for N, K, Ca, Mg, P, and S, respectively. Exports of macronutrients contained in the pods totaled 138.8, 43.9, 14.6, 12.0, 7.3, and 5.4 kg ha⁻¹ for N, K, P, Mg, S, and Ca, respectively. Exported K in the harvest was two times greater than the applied amount at sowing, which followed the current Brazilian recommendation, causing possible depletion of this nutrient in the soil.

Key words: *Arachis hypogaea L*, nutritional demand, nutrients

Marcha de absorção de macronutrientes de uma cultivar de amendoim do tipo Runner

RESUMO: O amendoim é uma das leguminosas mais produzidas no mundo, no entanto, há carência de conhecimentos da sua necessidade nutricional e das fases de maior demanda, sendo necessários estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes pela cultura. O objetivo deste experimento foi determinar a taxa de absorção na parte vegetativa e vagens, o acúmulo de macronutrientes na parte vegetativa, vagens e total, e a exportação de nutrientes em vagens, durante o ciclo do amendoim, cv Runner IAC 503, cultivado sob irrigação total. A cultivar IAC 503, do tipo Runner, foi conduzida sob manejo de irrigação plena, na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pertencente a Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal, SP, Brasil, de março a agosto de 2019. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com tratamentos constituídos por nove avaliações de taxa de absorção de macronutrientes e acúmulo de macronutrientes 35, 49, 63, 77, 91, 105, 119, 133 e 147 dias após a semeadura, com quatro repetições. As maiores demandas nutricionais do amendoim ocorreram de 63 a 105 dias após a semeadura. Maiores acúmulos totais de nutrientes foram alcançados aos 118 DAS, com 234,8; 173,5; 79,0; 45,8; 23,4 e 18,8 kg ha⁻¹ para N, K, Ca, Mg, P e S, respectivamente. As exportações de macronutrientes contidos nas vagens foram de 138,8; 43,9; 14,6; 12,0; 7,3 e 5,4 kg ha⁻¹ para N, K, P, Mg, S e Ca, respectivamente. O K exportado na colheita foi duas vezes maior que a quantidade aplicada na semeadura, seguindo a recomendação brasileira atual, o que pode causar esgotamento do nutriente no solo.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea L*, demanda nutricional, nutrientes

3.1 INTRODUCTION

Brazil is the second largest producer of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in South America. The average productivity is 3.8 tons per hectare, second only to the United States in world production, with that country generating 4.5 tons per hectare (USDA, 2021). According to CONAB (2021), Brazil produced 596.9 thousand tons in the 2020/21 harvest with an estimated 623 thousand tons expected for the 2021/22 harvest, corresponding to an increase of 4.3% from the prior year, with the state of São Paulo responsible for 95 % of Brazilian production in the past two years. Although cultivars exist that have high productive potential in this country, the lack of technical information for the appropriate management of these crops makes it difficult to obtain high yields.

One of the main reasons for the limited increase in peanut productivity is the lack of soil nutrients. Crop nutrient uptake is mainly influenced by the supply available in the soil and the genotypes of the plants (Zhao et al., 2021). However, the lack of information on the nutritional needs of the crop frustrates the proper management of fertilization.

The highest nutrient absorption rate in peanut crops occurs between 60 and 100 days after sowing (DAS), and the rate of absorption and export of macronutrients by the crop has been shown to be superior at the recommended fertilization level (Feitosa et al., 1993; Silva et al., 2017).

Based on previous reports, it is essential to study the nutritional requirements of crops to determine the period when macronutrients are in greatest demand; thus, the rate of absorption can be evaluated to establish the optimal time and method of fertilization to increase productivity. Thus, this study aimed to determine the rate of absorption in the vegetative part and pods, the accumulation of macronutrients in the vegetative part, pods, and in total, and the nutrient export in pods during the cycle of the peanut, cv Runner IAC 503, grown under full irrigation.

3.2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal campus, SP, Brazil (21°15'22" S, 48°18' 58" W, 570 masl), from March to August 2019.

According to the Köppen classification, the climate of the region is Cwa, which is subtropical, with an average annual rainfall of 1425 mm and an annual average temperature of 22.2 °C (Alvares et al., 2013). Meteorological data on temperature, precipitation, and evapotranspiration were collected daily from the UNESP meteorological station. During the experiment, the temperature was within the ideal range for peanut crop cultivation (10–33 °C). It decreased from the beginning to the end of the cultivation cycle, while precipitation was higher than the historical records for the region (Figure 1).

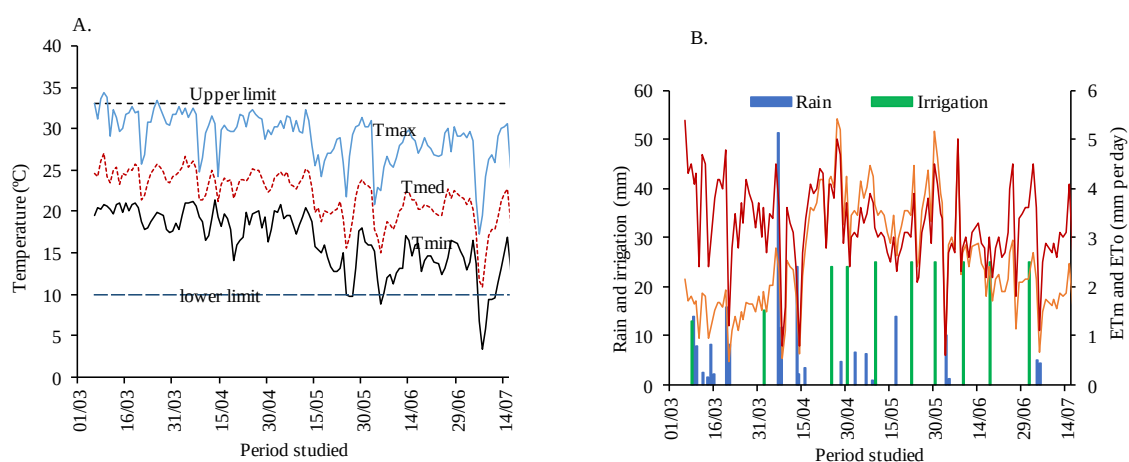


Figure 1. Maximum (Tmax), average (Tmed), and minimum (Tmin) temperatures (A), and precipitation, irrigation, and crop and reference evapotranspiration (ETm and ETo, respectively) (B), during the experimental period in 2019

The soil in the experimental area was classified as Oxisol. Soil samples were collected in the 0–20 cm layer for chemical analysis, according to the methodology proposed by Raij (2001), 30 days before, and 180 days after the experiment (Table 1).

Table 1. Soil chemical characteristics for the 0–20 cm layer before and after the experiment in Jaboticabal, SP

Period	pH	OM	P _{resina}	S	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CEC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³							
Before	5.9	21	35	8	23	0	3.9	36	12	51.9	74.9	69
After	6.1	23	72	3	15.2	0	3.48	48.2	12.2	63.88	79.08	80.77

OM: organic matter; S: sulfur; H + Al: potential acidity; SB: sum of bases; CEC: cation exchange capacity; V: base saturation.

Extractors used: pH in CaCl₂ by potentiometry; H+Al - in SMP buffer by potentiometry; M.O by spectrophotometry; P in resin by spectrophotometry; S by turbidimetry; K, Ca, and Mg by atomic absorption spectrometry; Al in KCl by titration

The experiment was conducted in a randomized block design with nine treatments and four replications. The treatments were formed by the collection times of 35, 49, 63, 77, 91, 105, 119, 133, and 147 days after sowing (DAS). The dimensions of the experimental plot were 5.4 m in width and 2.4 m in length (12.9 m²), with six rows spaced 0.9 m apart. The useful area (2.7 m²) was the two central rows of 1.5 m in length.

The cultivar IAC 503, type Virginia Runner, was mechanically sown after plowing and harrowing the soil, using seeds with 80% germination at a density of 25 seeds m⁻¹ and a spacing of 0.9 m between rows, to a final population of 18 plants m⁻¹. All fertilizers were applied at planting, following the crop recommendations based on soil analysis for the state of São Paulo, according Ambrosano et al. (1997) (Table 1), which were 20 and 50 kg ha⁻¹ of K₂O and P₂O₅, respectively (The sources used were potassium chloride (KCl) and simple superphosphate).

A sprinkling system was used for irrigation with Christiansen's uniformity coefficient of 91 %, and irrigation applied only after the readily available soil water (25.2 mm) had been depleted. This was determined based on the soil water retention curve of the experimental area (soil moisture at field capacity and permanent wilting point of 0.45 and 0.33 cm³ cm⁻³, respectively), the depletion fraction (p = 0.7), and the root depth (30 cm), as described in FAO-

56 (Allen et al., 1998). The depletion of the soil water was ascertained from the crop evapotranspiration, which was calculated as the product of the crop coefficient (K_c) and reference evapotranspiration (E_{To}), estimated daily by the Penman-Monteith equation (Allen et al., 1998). During the crop cycle, the accumulated precipitation and irrigation were 207 and 228 mm, respectively, providing a crop evapotranspiration of 324 mm.

During the experiment, phytosanitary controls were performed according to the infestation of pathogens by manual weeding, application of insecticide, fungicide, and acaricide, and irrigation management. The crop was harvested manually at 159 DAS and the following were evaluated:

1- Shoot and leaf, pod, and total dry mass weight: Three plants were collected per plot and separated into vegetative (stem and leaves) and reproductive (pods, grain, and shell) parts. Each part was washed, placed into a paper bag, dried in an oven with forced air circulation, maintained at 65 °C to a constant weight, and weighed. The total dry mass was calculated by adding the stem, leaf, and pod masses. To determine the macronutrients, the aerial part (stem + leaves), and pods (grains + bark), were ground and homogenized separately.

2- Absorption of macronutrients: Chemical analyses to determine the nutrient contents of N, P, K, Ca, Mg, and S in each plant fraction (vegetative and pod) were conducted at the Laboratory of Agricultural and Environmental Analysis and Consultancy: Soil Science. Chemical analyses were performed on extracts obtained by nitric-perchloric digestion, except for nitrogen, in which sulfuric digestion was used, and boron, which was incinerated in a muffle furnace (EMBRAPA, 2009).

Nitrogen content was determined using the semi-micro-Kjeldahl method and phosphorus by the colorimetric method with metavanadate. Potassium, calcium, and magnesium levels were identified using flame spectrophotometry. The sulfur content was determined using barium sulfate turbidimetry, while boron levels were established by colorimetry using azometine-

H. Copper, iron, manganese, and zinc were measured by atomic absorption spectrophotometry, according to the methodology proposed by EMBRAPA (2009).

The accumulated amounts of macronutrients in each plant fraction were obtained by multiplying the macronutrient content by the vegetative and pod dry masses. The macronutrient daily absorption rate (Tx) was calculated using the following relationship:

$$Tx = \frac{(Mac_{n+1} - Mac_n)}{(DAS_{n+1} - DAS_n)} \quad (1),$$

where:

Mac_{n+1} = values observed on the studied date;

Mac_n = values observed in the penultimate evaluation;

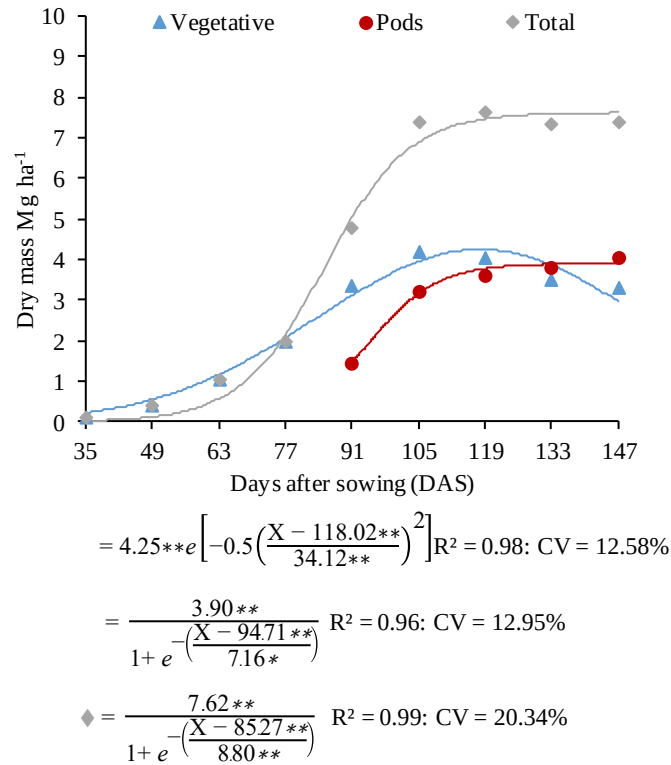
DAS_{n+1} = days after sowing on the studied date; and,

DAS_n = days after sowing in the penultimate evaluation.

The data were subjected to analysis of variance and regression at 0.05 significance error using non-linear Gaussian and sigmoidal models with three parameters, using the statistical program SISVAR[®] 5.3 (Ferreira, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

The maximum dry mass weights of the vegetative parts (shoots and leaves), pods, and the total canopy at the end of the crop cycle, were 4.24, 4.07, and 7.61 Mg ha⁻¹, respectively (Figure 2). These values were higher than those found in studies (Feitosa et al., 1993; Silva et al., 2017) in experiments conducted with cultivars other than IAC 503, used in this experiment.



** - Significant at $p \leq 0.01$ by the F test

Figure 2. Vegetative (stem + leaf), pod, and total canopy (vegetative + pod) dry mass of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019

Low dry mass accumulation was observed in the vegetative phase due to the shorter period (49 days) and smaller leaf area when compared to the reproductive phase of the crop (Figure 2). A steep increase in vegetative dry matter weight occurred at the beginning of the reproductive phase, from flowering (R1, 49 DAS) to grain appearance (R5, 89 DAS), followed by stabilization until physiological maturity (R7, 118 DAS), which is characteristic of the crop cycle, regardless of the cultivar, as observed by Coelho & Tella (1967), Feitosa et al. (1993), and Silva et al. (2017). Pod dry mass accumulation increased with grain appearance, in R5 to R7, following the pod addition and seed filling stages.

The macronutrient contents in the vegetative part were in the range that is considered ideal for the full development of the crop, between 35 and 119 DAS, except for Mg (Ambrosano et

al., 1997; Furlani, 2004), with values of 20–50 g kg⁻¹ for N, 2–5 g kg⁻¹ for P, 20–50 g kg⁻¹ for K, 10–50 g kg⁻¹ for Ca, 15–35 g kg⁻¹ for Mg, and 1–5 g kg⁻¹ for S (Figure 3).

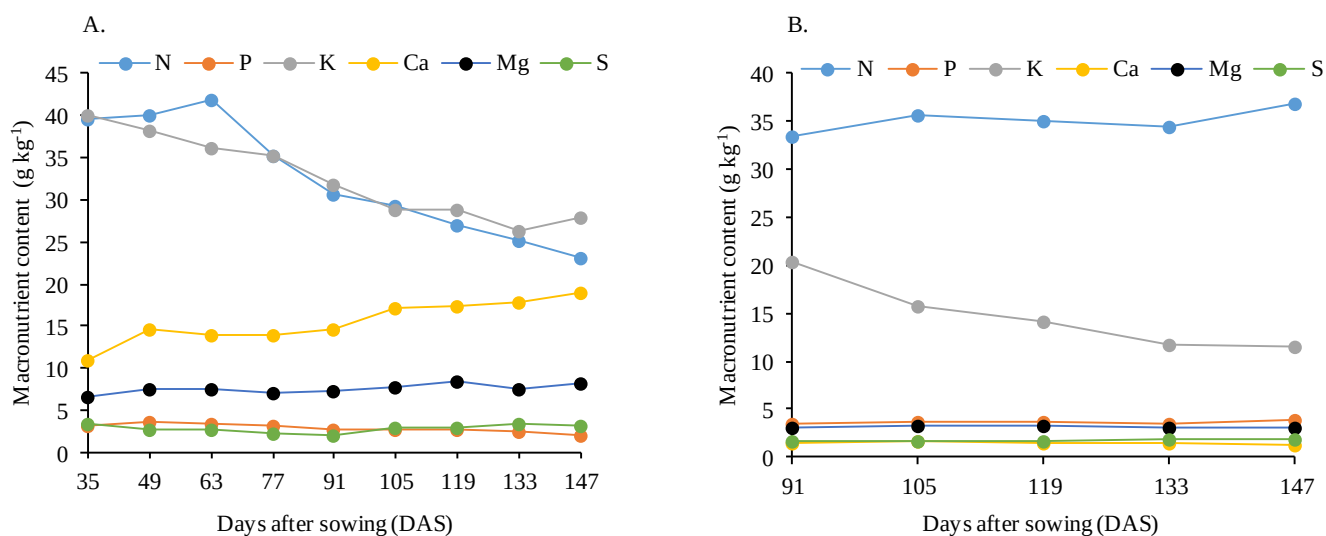


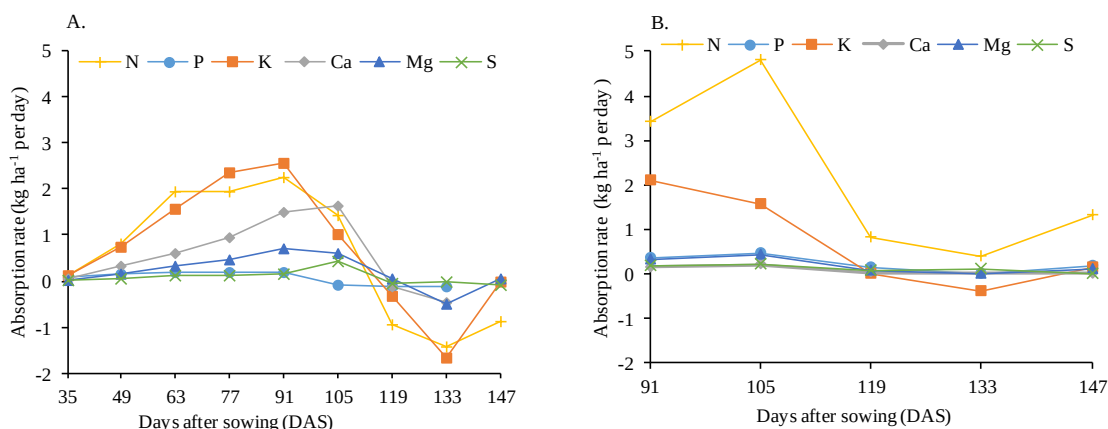
Figure 3. Macronutrient contents in the vegetative (stem + leaf) part (A) and in pods (B) of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019

The macronutrient contents throughout the crop cycle were not statistically significant, except for N and K, which decreased after 63 DAS, and Ca, which increased after 91 DAS until the end of the cycle (Figure 3). There was no significant difference in pod nutrient content over time. The levels of N, P, and K were higher during the cycle than those observed by Coelho & Tella (1967).

The macronutrient content during the cycle is related to its mobility in the plant, such as that of N and K, which are considered to be highly mobile, while Ca is immobile in the phloem (Malavolta, 1980). In this study, N and K were translocated from the vegetative parts to the pods, as shown in Figure 3. Since Ca is immobile in the phloem and has a structural function, an increase accumulated in the leaves occurs because Ca is not translocated to other plant organs (Taiz et al., 2017).

Macronutrient accumulation in the vegetative part occurred from 35 to 105 DAS for N Ca,

and S, 35–95 DAS for Mg, and 35–91 DAS for P (Figure 4A). The daily rate of macronutrient accumulation in pods was significantly higher at 105 DAS for N and from 91 to 105 DAS for K. For the remaining macronutrients, the values were similar throughout the cycle (Figure 4B). These results corroborate the findings of Silva et al. (2017), who showed a similar absorption



trend.

* Values with the same letters on the nutrient series do not differ from each other at 0.05 probability by the Tukey test.

Figure 4. Cumulative macronutrient absorption rate in the vegetative (stem + leaf) part (A), and in pods (B) of a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019

The rates of N accumulation in the vegetative part varied from 0.1 kg ha⁻¹ per day at 35 DAS, to a plateau of 2 kg ha⁻¹ per day from 63 to 91 DAS, and then decreased to 1.2 kg ha⁻¹ per day at 105 DAS (Figure 4A). Despite the wide variation over the study period, these rates did not differ statistically. The rates of N absorption in the subsequent period (109–147 DAS) were significantly lower. For pods, the N absorption rate increased from 3.5 kg ha⁻¹ per day at 95 DAS, to reach the significantly maximum value of 5 kg ha⁻¹ per day at 105 DAS, followed by a decrease to approximately 1 kg ha⁻¹ per day from 119 DAS until the end of the cycle (Figure 4B).

The rate of P absorption did not differ statistically throughout the crop cycle, varying from 0.01 kg ha⁻¹ per day at 35 DAS, to 0.2 kg ha⁻¹ at 91 DAS (Figure 4A). The K absorption rates

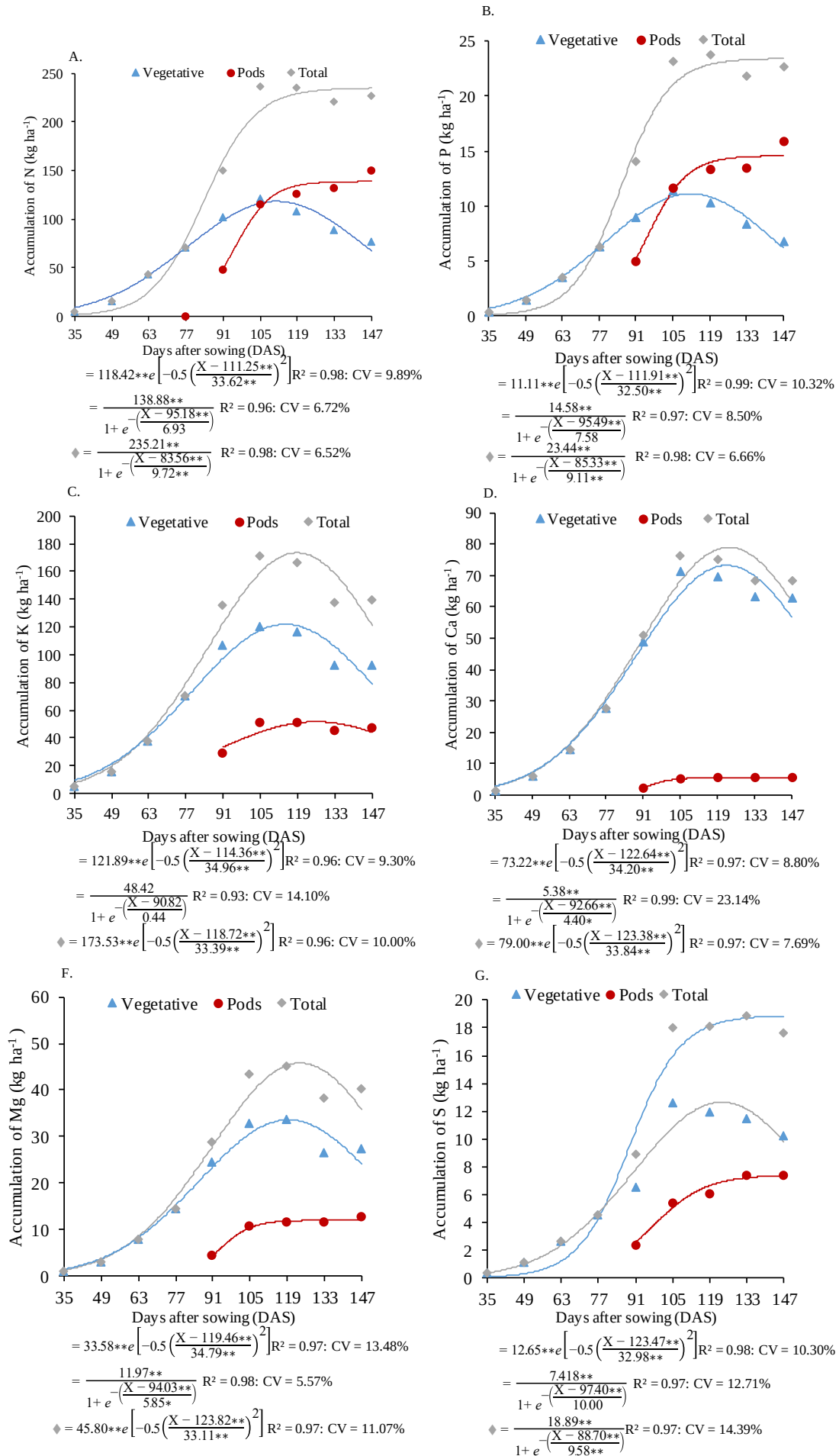
emulated that of the N variation throughout the crop cycle, with an increase from 0.1 kg ha^{-1} per day at 35 DAS to a maximum of 2.4 kg ha^{-1} from 77 to 91 DAS, followed by a decrease to 1.0 kg ha^{-1} per day from 105 DAS to the end of the crop cycle. For the pods, the highest K absorption rate was statistically superior from 91 to 105 DAS, as compared to the other determination periods (Figure 4B).

The higher nutritional demand for Ca occurred from 63 DAS (0.6 kg ha^{-1} per day) to 105 DAS (1.6 kg ha^{-1} per day), while maximum Mg absorption rates were observed from 77 to 105 DAS, with an average of 0.6 kg ha^{-1} per day. In the pod filling period, there was no significant effect for the Ca absorption rate, which varied from 0.3 kg ha^{-1} per day up to 91 DAS to 0.4 kg ha^{-1} per day at 105 DAS.

The higher macronutrient absorption rate for the vegetative part from 63 to 105 DAS coincided with the beginning of seed formation (R5) to the start of physiological maturation (R7) (Figure 4A). After this period, there was a decrease due to natural plant senescence. For the pods, higher demand occurred at the end of the period, from R5 to R7 at 91 to 105 DAS. These results were similar to those of Silva et al. (2017), although the cultivar IAC 503 in our study showed greater demand for nutrients due to its higher productivity ($> 4000 \text{ kg ha}^{-1}$).

For the pods, the highest absorption rates occurred from 91 to 105 DAS (Figure 4B), in the fully formed pod stage (R4) and at the beginning of seed formation (R5). The higher absorption rate coincided with the increase in the dry mass of shoots and pods, justifying the need for greater nutrient supply in the reproductive stage, from pod appearance to complete grain formation.

The highest estimated accumulations of macronutrients in the vegetative part occurred from 111 to 123 DAS for all macronutrients (Figure 5).



** - Significant at $p \leq 0.01$ by the F test

Figure 5. Macronutrient accumulated in the vegetative (stem + leaf) part, pods, and total canopy (vegetative + pod) in a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019

The higher nutrient accumulation in the pods occurred at 147 DAS. The N accumulations in the total dry mass and the vegetative part were 234.8 and 118 kg ha⁻¹ at 105 DAS, respectively. The maximum accumulation was observed at the end of the cycle, with 150.5 kg ha⁻¹ at 147 DAS (Figure 5). These results indicate that the peanut crop is an important source of N for subsequent crops, considering that the vegetative part retains 67 kg ha⁻¹ of N at the end of the cycle, despite the export by the pods of 150.5 kg ha⁻¹.

The accumulation of N in the dry mass in this study was higher than that reported in the literature (Halevy & Hartzook, 1988; Feitosa et al., 1993; Silva et al., 2017). Legumes can absorb large amounts of N, and peanuts have a nitrogen demand similar to that of soybeans, averaging 300 kg ha⁻¹ (Malavolta, 1980). The accumulation of N in the cultivar IAC 503 in this experiment was superior to the results found by Feitosa et al. (1993) and Silva et al. (2017) for other cultivars, and this effect was a result of the higher biomass production obtained in the present study.

Since nitrogen is considered a mobile element in the phloem of plants (Furlani, 2004; Taiz et al., 2017; Cerezini et al., 2019), after seed appearance (R5, 89 DAS) there is an increase in N content in pods (Figure 3B) related to translocation from the vegetative part, which showed a decrease in the nutrient (Figure 3A). This effect is presented in the N accumulation curves of Figure 5A, in which N content in the pods increased at the expense of that in the vegetative part, while total N in the canopy remained constant.

Phosphorus was one of the macronutrients with lower accumulations in the peanut crop, with maximum values of 11.1 and 23.4 kg ha⁻¹ at 112 and 147 DAS for the vegetative and total parts, respectively (Figure 5B). In pods, the maximum value was 14.6 kg ha⁻¹ at 147 DAS. The results

of the total accumulation of P followed a similar trend and magnitude as reported by Feitosa et al. (1993), who found P accumulations from 10.0 to 14.5 kg ha⁻¹, which was higher than those observed by Silva et al. (2017). Our results were in the same range as those of Halevy & Hartzook (1988), who found a P accumulation of 27 kg ha⁻¹.

Phosphorus is a required element for height growth and accumulation of dry mass of the leaves and stem (Lobo et al., 2012), in addition to being one of the intermediate compounds for respiration and photosynthesis and the production of photoassimilates acting on metabolic plant energy, such as ATP, DNA, and RNA (Taiz et al., 2017).

Potassium was the second most absorbed nutrient by peanut crops after nitrogen (Figure 4). Similar results were observed by Halevy & Hartzook (1988), Feitosa et al. (1993), and Silva et al. (2017). The crop accumulated 173.5 kg ha⁻¹ of K in the total canopy, 121.9 kg ha⁻¹ in the vegetative part, and 43.9 kg ha⁻¹ in the pods (Figure 5C). Peanut crop is an advantageous crop for potassium and nitrogen cycling, which is suitable for its rotation with grasses.

The K accumulated in pods was relatively low when compared to that of the vegetative part, with only 35 % of the accumulated total remaining in the pods during the harvest period (Figure 3). Despite K being considered a mobile nutrient in the phloem of plants, little translocation occurred due to natural defoliation (Malavolta, 1980; Taiz et al., 2017), which may have related to the greater demand from 63 to 105 DAS (Figure 4).

The total K accumulation at the end of the cycle was 122.7 kg ha⁻¹ (Figure 5C), which was six times the value applied in the base fertilization, according to Ambrosano et al. (1997). The crop residue (vegetative part) contained 78.9 kg ha⁻¹ of K, which is suitable for rotation with crops that have a high demand for this nutrient (Oliveira et al., 2010).

Calcium was the third most accumulated nutrient by the peanut crop with 78.6 kg ha⁻¹, of which 73.2 kg ha⁻¹ was accumulated in the vegetative part and 5.4 kg ha⁻¹ in the pods (Figure 5D). The translocation of calcium from the vegetative part to the pods was low because Ca is

immobile in the phloem (Malavolta, 1980; Taiz et al., 2017; Song et al., 2020). The Ca content in the vegetative part was 92 % of the level in the pods at the end of the cycle, indicating low export of calcium by the crop.

Mg accumulations for total dry mass, the vegetative part, and pods were 45.8, 33.6, and 12 kg ha⁻¹, respectively (Figure 5E). The ratio of calcium to magnesium throughout the cycle was close to 2:1, corroborating the results of Silva et al. (2017). Sulfur was the least accumulated macronutrient by peanuts, with accumulations of 18.8 kg ha⁻¹ in the total dry mass, 12.6 kg ha⁻¹ in the vegetative part, and 7.3 kg ha⁻¹ in the pods (Figure 5F).

There were exports of 138.8, 43.9, 14.6, 12.0, 7.3, and 5.4 kg ha⁻¹ of N, K, P, Mg, S, and Ca, respectively, contained in the peanut pods (Figure 6). Higher values for N and K were found in this study than those reported by Silva et al. (2017). Although it is common to fertilize peanut crops with formulated N, this did not occur in our experiment, demonstrating the ability of peanuts for biological fixation of N (Figure 6).

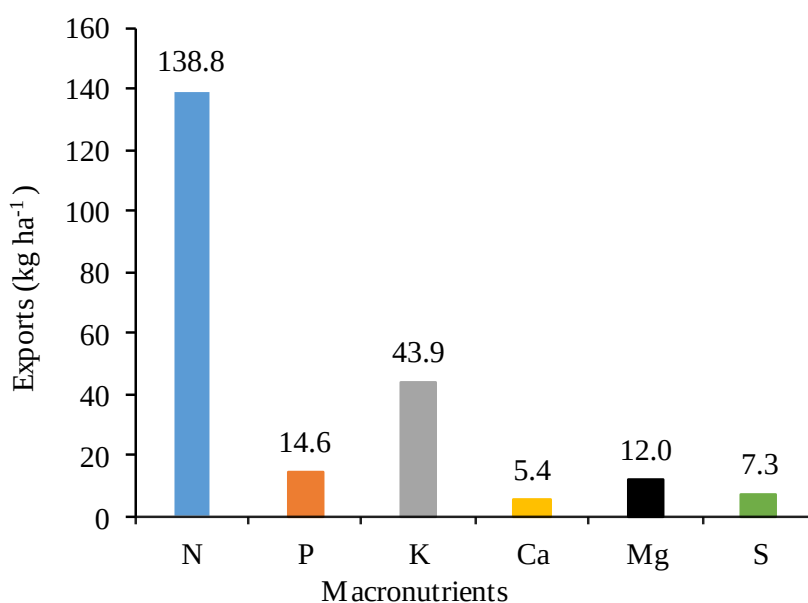


Figure 6. Macronutrients exported by a peanut crop, cv. IAC 503, during the experimental period in 2019

Fertilization with P and K at 50 and 20 kg ha⁻¹ at sowing indicated that the quantity exported in the harvest was supplied by the contribution of phosphate fertilizer. However, fertilization with values lower than those exported can cause potassium deficiency. The exported values of K were twice as high as the applied amount, which may cause depletion of the nutrients in the soil, compromising its productive potential in the medium term.

Given the above, the current Brazilian fertilizer recommendations do not meet the nutritional demand of the peanut cultivar, and the export of potassium was greater than that of the application. Therefore, it is suggested to review the nutrient recommendations, especially for K, so that the amount extracted by the pods will meet the required estimated values of approximately 43.9 kg ha⁻¹.

3.4 CONCLUSIONS

1. Higher nutritional demands of peanuts occurred 63 to 105 days after sowing.
2. Higher total nutrient accumulations were reached at 118 DAS, with 234.8, 173.5, 79.0, 45.8, 23.4, and 18.8 kg ha⁻¹ for N, K, Ca, Mg, P, and S, respectively.
3. Exports of macronutrients contained in the pods were 138.8, 43.9, 14.6, 12.0, 7.3, and 5.4 kg ha⁻¹ for N, K, P, Mg, S, and Ca, respectively.
4. Exported K in the harvest was two times greater than the applied amount at sowing, which followed the current Brazilian recommendation, causing possible depletion of this nutrient in the soil.

3.5 ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development

(CNPq) for the award of the doctoral scholarship to the first author (process: 156219/2019-0), the Cooperativa Agroindustrial (COPLANA) for partnership and cooperation, and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

LITERATURE CITED

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop requirements. Rome: FAO, 1998. 50p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. G. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Ambrosano, E. J.; Tanaka, R. T.; Mascarenhas, H. A. A. Leguminosas e oleaginosas. In: Raij, H. B. van.; Cantarella, J. A.; Quaggio, A. M. C. Furlani (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1997, p.187-202. Boletim Técnico, 100
- Cerezini, P.; Kuwano, B. H.; Neiverth, W.; Grunvald, A. C.; Pípolo, A. E.; Hungria, M.; Nogueira, M. A. Physiological and N₂-fixation-related traits for tolerance to drought in soybean progenies. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.54, p.1-10, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00839>
- Coelho, F. A. S.; Tella, R. Absorção de nutrientes por plantas de amendoim na cultura do outono. *Bragantia*, v.26, p.335-352, 1967. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051967000100018>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: Décimo levantamento, julho 2020 – v.7, safra 2019/2020, Brasília: CONAB, 2020. Available on <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/grãos>>. Accessed on Jul. 2020.
- EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. SILVA, F. C. (ed). - 2. ed. Brasília, DF, 2009. 627 p.

- Feitosa, C. T.; Nogueira, S. S. S.; Gerin, M. A. N.; Rodrigues Filho, F. S. O. Avaliação do crescimento e da utilização de nutrientes pelo amendoim. *Scientia Agricola*, v.50, p.427-437, 1993. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161993000300015>
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- Furlani, A. M. C. Nutrição mineral. In: Kerbauy, G. B. (ed.). *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p.40-75.
- Halevy, J.; Hartzook, A. Dry matter accumulation and nutrient uptake of high-yielding peanut (*Arachis hypogaea* L.) grown in a sandy soil. *Peanut Science*, v.15, p.5-8, 1988. <https://doi.org/10.3146/i0095-3679-15-1-2>
- Lobo, D. M.; Silva, P. C. C.; Couto, J. L. do; Silva, M. A. M.; Santos, A. R. dos. Características de deficiência nutricional do amendoim submetido à omissão de N, P, K. *Bioscience Journal*, v. 28, p.69-79, 2012.
- Malavolta, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- Oliveira, E. C. A. de; Freire, F. J.; Oliveira, R. I. de; Freire, M. B. G. dos S.; Simões Neto, D. E.; Silva, S. A. M. da. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1343-1352, 2010.
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais* Campinas Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- Silva, E. B.; Ferreira, A. E.; Pereira, G. A. M.; Silva, D. V.; Oliveira, A. J. M. Peanut plant nutrient absorption and growth. *Revista Caatinga*, v.30, p.653-661, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n313rc>

- Song, Q.; Liu, Y.; Pang, J.; Yong, J. W. H.; Chen, Y.; Bai, C.; Gille, C.; Shi, Q.; Wu, D.; Han, X.; Li, T.; Siddique, K. H. M.; Lambers, H. Supplementary calcium restores peanut (*Arachis hypogaea*) growth and photosynthetic capacity under low nocturnal temperature. *Frontiers in Plant Science*, v.10, p.1-15, 2020. [https:// doi: 10.3389/fpls.2019.01637](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01637)
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- USDA - United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. World agricultural production. 2017. Circular Series, October, 2021. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>> Acesso: 12/11/2021.
- Zhao, S.; Lü, J.; Xu, X.; Lin, X.; Rosso, L. M.; Qiu, S.; Ciampitti, I.; Ping, H. Peanut yield, nutrient uptake and nutrient requirements in different regions of China. *Journal of Integrative Agriculture*. v.20, p.2502–2511, 2021. [https:// doi: 10.1016/S2095-3119\(20\)63253-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63253-1)