RESPOSTA DO GERGELIM (*Sesamum indicum* L.) A NÍVEIS DE NPK

VINICIO MARTINS DO NASCIMENTO
Engenheiro Agrônomo

Orientador : Dr. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro de 1986

A meus pais e irmãos
DEDICO.

À minha esposa, AUGUSTA
e meus filhos,
MARTHA, JÚLIA E RILDO
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos as todas as Instituições ou pessoas que direta ou indiretamente participaram da realização desse trabalho, em especial: .

- À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, e Universidade de São Paulo, que possibilitaram a minha participação no curso de Pós-graduação;
- À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), pela ajuda financeira concedida através de bolsa de pós-graduação;
- Ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, pelas condições oferecidas na condução da pesquisa;
- Ao Instituto Agronômico de Campinas pelo fornecimento das sementes;
- Ao Departamento de Química da ESALQ/USP, pelas análises químicas realizadas;
- Ao Centro de Informática na Agricultura da ESALQ/USP, pelas análises estatísticas;
- Ao Dr. André Martin Louis Neptune pela orientação e amizade;
- À Professora Marisa Ap. Bismara Regitano D'Arce, pelas análises dos teores de óleo nas sementes;

- Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo convívio e amizade;
- Aos funcionários da Biblioteca da ESALQ pelos bons serviços prestados.

I N D I C E

	Página
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1. Considerações gerais sobre a cultura	04
2.2. Exigências da cultura	06
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Solo	11
3.2. Delineamento experimental	11
3.3. Determinação da necessidade de calagem	14
3.4. Adubação	15
3.5. Cultivar	16
3.6. Semeadura	16
3.7. Amostragem de plantas	16
3.8. Colheita	17
3.9. Análises químicas	17
3.10. Análises estatísticas	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Produção de matéria seca	19
4.2. Produção de frutos e sementes	26
4.3. Concentração e acúmulo de macronutrientes na parte aérea	32

	Página
4.3.1. Nitrogênio	32
4.3.2. Fósforo	42
4.3.3. Potássio	43
4.3.4. Cálcio	44
4.3.5. Magnésio	46
4.3.6. Enxofre	47
4.4. Concentração e acúmulo de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea	49
4.4.1. Ferro	49
4.4.2. Cobre	58
4.4.3. Manganês	59
4.4.4. Zinco	59
4.5. Concentração de nutrientes e óleo na semente	61
4.6. Análise de solo após a colheita	64
4.6.1. Valor pH	64
4.6.2. Matéria orgânica	64
4.6.3. Fósforo solúvel	66
4.6.4. Potássio, cálcio e magnésio trocáveis	66
4.6.5. Acidez potencial e alumínio trocável .	67
5. CONCLUSÕES	68
6. LITERATURA CITADA	69

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Extração comparativa de nutrientes (NPK), rendimento e relação nutritiva das culturas de fumo, algodão, gergelim e milho ..	09
02	Características químicas e granulométricas do solo "Paredão Vermelho", onde o experimento foi conduzido (0-20 cm)	12
03	Esquema dos tratamentos e níveis de nutrientes utilizados	13
04	Valores de pH do solo 30 dias após ter sido submetido a diferentes níveis de calagem	15
05	Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições)	20
06	Número de frutos e produção de sementes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK (média de 4 repetições)	27
07	Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições)	34

TABELA Nº

Página

08	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições)	35
09	Concentração de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições)	50
10	Acúmulo de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições)	51
11	Concentração de macronutrientes, micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) e teor de óleo em sementes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK.	62
12	Equações de correlação entre níveis de NP e K aplicados e os teores desses nutrientes nas sementes	63
13	Equações de correlação entre níveis de NP e K aplicados e teores de óleo nas sementes	63

TABELA Nº

Página

14	Valores de pH, matéria orgânica, fósforo solúvel, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e acidez potencial nos diferentes tratamentos 120 dias após adu <u>ba</u> ção (média de 4 repetições)	65
----	---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).	21
02	Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).	22
03	Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais)	23
04	Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).	28
05	Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$)	29

FIGURA Nº

Página

06	Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de potássio na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais)	30
07	Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).	36
08	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O /ha (médias originais)	37
09	Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).	38
10	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias originais)	39

FIGURA Nº

Página

11	Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais) ...	40
12	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais) ...	41
13	Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$) .	52
14	Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O / ha (médias originais)	53
15	Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea do gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$)	54

FIGURA Nº

Página

16	Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias originais)	55
17	Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais)	56
18	Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais)	57

RESPOSTA DO GERGELIM (*Sesamum indicum* L.)
A NÍVEIS DE NPK

Autor: Vinício Martins do Nascimento
Orientador: Dr. André Martin Louis Neptune

RESUMO

Visando estudar alguns aspectos das exigências nutricionais do gergelim (*Sesamum indicum* L.), conduziu-se um experimento em casa de vegetação no Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, Piracicaba, usando-se um solo arenoso da Série Paredão Vermelho (Rhodochrult).

Quantidades equivalentes a: 0 - 25 - 50 - 100 e 200 kg/ha de N; 0 - 50 - 100 - 200 e 400 kg/ha de P_2O_5 e 0 - 25 - 50 - 100 e 200 kg/ha de K_2O , foram aplicados em vasos, cerca de 30 dias após ter sido aplicado ao solo, quantidades equivalentes a 6 t/ha de calcário e 350 kg/ha de gesso como fonte de enxofre.

Utilizou-se a cultivar IAC-ouro e analisou-se as produções de matéria seca e sementes, concentração e acúmulo de nutrientes na parte aérea e o teor de óleo e concentração de nutrientes nas sementes.

Em função dos resultados obtidos, constatou-se

que o fósforo foi o nutriente que proporcionou os maiores ganhos de matéria seca até os 40 dias e que não houve relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a produção de sementes. Além desses aspectos, verificou-se ainda, que não houve correlação entre os níveis de NPK e os teores destes nutrientes e porcentagem de óleo nas sementes.

A maioria dos aspectos estudados não foram influenciados pelos níveis de potássio aplicados.

RESPONSE OF SESAME (*Sesamum indicum* L.)
TO DIFFERENT RATES OF NPK

Author: Vinício Martins do Nascimento
Adviser: Dr. André Martin Louis Neptune

SUMMARY

This experiment was conducted in greenhouse with the aim of studying some aspects of nutritional habit of this oleaginous plant, on a soil classified as sandy, Pa-redão Vermelho serie (Rhodochrult).

Fertilizers (0 - 25 - 50 - 100 - 200 kg N/ha as urea; 0 - 50 - 100 - 200 - 400 kg P_2O_5 /ha as phosphoric acid and 0 - 25 - 50 - 100 - 200 kg K_2O /ha as potassium chloride) were applied in the pots 30 days after liming the soil with 6 t/ha of dolomitic limestone and 350 kg/ha of gypsum as a sulphur source.

The cultivar IAC-ouro was seeded. Dry matter yield, seed yield, nutrients concentrations, accumulation of nutrients in the shoot and seed, and oil content in the seed, were evaluated.

According to the results, phosphorus was the nutrient which gave markedly bigger dry matter yield until 40 days.

No correlation was found between rates of NPK and concentration of these nutrients and oil percentage in the seeds.

Besides, rates of potassium did not influence for the most part of the aspects which were studied.

1. INTRODUÇÃO

Embora o gergelim seja cultivado desde a antiguidade é uma cultura pouco estudada, principalmente quanto a sua nutrição e adubação.

Por apresentar em suas sementes teores de óleo que podem chegar a 57% em peso e teores de proteínas entre 24 e 28%, há um grande mercado para a produção dessa oleaginosas.

A boa qualidade do óleo de gergelim é um aspecto muito importante, sobretudo, a sua grande estabilidade química, encontrando assim, emprego na alimentação humana, nas indústrias de cosméticos, farmacêuticas e químicas.

A torta das sementes, com alto teor protéico, é de grande importância na alimentação animal, podendo ainda, ser utilizada como fertilizante (NOVAIS, 1952). Nesse sentido ressalta FRANCO (1972), que o emprego da torta de gergelim no arração animal se prende, principalmente, ao alto teor de proteína-digestível (39%).

De acordo com dados da FAO (1982) a produção mundial de sementes de gergelim foi da ordem de 1,8 milhões de toneladas tendo a Índia como maior produtor seguido pela China, México, Sudão e Venezuela. O Brasil, em 1982, com uma produção de 3.000 toneladas, em uma área cultivada de 5.000 ha aproximadamente, apresentou rendimento da ordem de 600 kg/ha.

No Brasil a cultura do gergelim poderá ter grande sucesso, principalmente se considerar que a mesma pode ser cultivada como cultura secundária, em segunda época, o que poderá ser uma boa opção para pequenos e médios produtores. Nesse sentido, pode-se ainda levar em conta a possibilidade de se cultivar o gergelim consorciado a exemplo do que se faz na Índia, onde o mesmo é cultivado com o algodão, cereais e leguminosas. Na África o gergelim é cultivado junto com o arroz, o milho, o sorgo e o algodão e no Nordeste do Brasil cultiva-se o gergelim em consorciação com o milho, o feijão e o algodão (FRANCO, 1972).

Além disso, conforme salienta ainda FRANCO (1972), com as razoáveis condições de exportações de sementes e óleo, o gergelim poderá ocupar uma posição de destaque no mercado internacional.

Os estudos sobre a cultura são, no geral, escassos, principalmente no Brasil, onde a área cultivada não é muito expressiva. Do ponto de vista de nutrição mineral, pouco se conhece em condições brasileiras, figurando contudo,

alguns trabalhos realizados no Estado de São Paulo, como: NEPTUNE et alii (1962 e 1970) e SANTOS (1982). Ainda assim, o cultivo do gergelim é, muitas vezes, feito com adubações recomendadas para outras culturas.

O objetivo desse trabalho foi estudar alguns aspectos do hábito nutricional do gergelim, verificando a resposta da cultura a níveis de NPK com vistas a:

- produção de matéria seca;
- produção de sementes;
- teor de óleo nas sementes
- teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, zinco e manganês na parte aérea e sementes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Considerações gerais sobre a cultura

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), pertence à família das Pedaliaceas e se originou da Ásia de onde se espalhou por todos os países de clima tropical. Hoje essa oleaginosa é cultivada em escala comercial na Índia, China, Norte e Oeste da África, Japão, Egito e México (NOVAIS, 1952).

De acordo com MAZZANI (1962) as características gerais da planta podem ser assim descritas: o gergelim é uma planta anual, ereta, ramificada ou não, de caule geralmente quadrangular com diâmetro basal de dois a três centímetros e altura variável desde poucos centímetros até mais de dois metros. Seu sistema radicular é superficial, possuindo uma raiz principal pouco desenvolvida, da qual se origina um grande número de raízes secundárias que por sua vez, também se ramificam bastante. As folhas são simples tendo, as da par

te superior da planta, limbo lanceolado enquanto as da parte inferior podem ser codiformes ou lobuladas. As flores são campanuladas de coloração branca ou ligeiramente lilás e os frutos são cápsulas de deiscência loculicida com quatro ou mais células cheias de sementes.

As sementes de dois a quatro milímetros de comprimento e de até dois milímetros de largura, apresentam forma achatada e cor variando entre branco, cremoso e negro. O peso de mil sementes é da ordem de três gramas e, em termos médios, cerca da metade do peso da semente do gergelim é constituído de óleo.

As variações no conteúdo de óleo na semente segundo MAZZANI (1959 e 1962), estão relacionadas com o hábito vegetativo da planta e, em menor escala, com o tamanho da semente.

O alto teor de óleo na semente faz com que esse, seja o principal produto da cultura embora a torta resultante da extração de óleo, também apresente algum valor.

O óleo de gergelim segundo NOVAIS (1952) é de coloração clara, praticamente inodoro, levemente adocicado e bastante resistente a oxidação.

TRIBE (1967) salienta que o óleo de gergelim apresenta inúmeras aplicações e uma importante característica, é sua alta resistência à oxidação especialmente quando hidrogenado.

Segundo NOVAIS (1952), FRANCO (1972), a torta

residual resultante da extração de óleo, é largamente empregada na formulação de rações para os animais domésticos e, quando convenientemente tratada, pode servir como ingrediente no preparo de farinhas alimentícias.

O alto valor da torta de gergelim relaciona-se, principalmente, com o elevado teor de proteína (40%), carboidratos (23%) e 11,8% de minerais (MORRISON, 1966).

2.2. Exigências da cultura

As exigências quanto ao clima, conforme cita NOVAIS (1952), são de que a cultura do gergelim prefere as regiões quentes e úmidas, porém, principalmente por ocasião da maturação dos frutos, exige tempo seco.

FRANCO (1972), observa que embora o gergelim seja uma planta de grande adaptabilidade quanto ao clima, os melhores resultados são obtidos quando cultivado em regiões de clima quente, tropicais e subtropicais, sendo que uma estiaagem na maturação dos frutos é bastante favorável. MAZZANI (1959), salienta que geralmente a primeira causa do baixo rendimento do gergelim é a escassez de água e, apesar de vários outros fatores intervirem na produção, nenhum parece influir tão diretamente como a quantidade de água recebida pela planta durante seu ciclo.

Para TRIBE (1967), o gergelim é uma cultura dos trópicos, portanto é sensível a baixas temperaturas.

Quanto a solo, NOVAIS (1952), salienta que os solos sílico-argilosos, desde que dotados de elevado índice de retenção de água, são os mais indicados para a cultura de gergelim.

FRANCO (1972), observa que os solos mais indicados para a cultura do gergelim são os leves, tendentes a arenosos, embora sejam possíveis resultados satisfatórios em terrenos sílico-argilosos ou mesmo argilosos.

MAZZANI (1962), afirma que em solos arenosos as raízes desenvolvem melhor e a produção de sementes também é maior como tem sido demonstrado experimentalmente. Segundo TRIBE (1967), normalmente a cultura prefere solos arenos bem drenados, porém é intolerante a solos ácidos.

Embora não se tenha grande número de trabalhos com adubação da cultura, MAZZANI (1962), TRIBE (1967), salientam que, há muito se sabe, que a cultura do gergelim desenvolve bem em solos férteis.

Com relação às exigências nutricionais pode-se afirmar que não se conhece muito sobre a nutrição do gergelim e, são relativamente escassas as referências acerca do assunto.

McCulloch (1957), conforme citado em GUTIERREZ (1968), chamou a atenção sobre o alto teor de cálcio (1,22%) e fósforo (1,39%) em sementes de gergelim. Nesse mesmo sentido, Dey e Friedman (1951), citados por GUTIERREZ (1968), atribuíram às sementes de gergelim, um alto valor

nutritivo devido ter encontrado até 61,7% de oxalato de cálcio nas mesmas.

Alguns trabalhos sobre o assunto mostraram o quadro de sintomas de deficiências de alguns elementos e o hábito de absorção de vários nutrientes.

Assim, PAL e BANGARAYY (1958), cultivando gergelim em solução nutritiva, obtiveram o quadro sintomatológico das carências de nitrogênio, fósforo e potássio.

BASCONES e LOPEZ RITAS (1961a), trabalhando com a cultivar aceitera em solução nutritiva, verificaram os sintomas de deficiência de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Além disso, analisando as folhas com sintomas de carência, os mesmos autores constatarem que os teores de nutrientes nas folhas carentes eram de: 2,0% N, 0,2% P, 0,88% K, 0,6% Ca e 0,15% Mg.

BASCONES e LOPEZ RITAS (1961b), estudaram a extração de nutrientes pelo gergelim, cultivar aceitera, verificando-se que o acúmulo de nutrientes foi mais elevado nas cápsulas, vindo a seguir o caule, folhas e raízes e os mesmos autores verificaram ainda, que para uma produção de matéria seca de 10 t/ha, houve uma extração de 120 kg de nitrogênio, 32 kg de fósforo e 136 kg de potássio.

A Tabela 1 mostra a extração comparada de nutrientes NPK do gergelim com outras culturas de importância econômica.

Tabela 1. Extração comparativa de nutrientes (NPK), rendimento e relação nutritiva das culturas de fumo, algodão, gergelim e milho.

Cultura	Rendimento kg/ha	Conteúdo de elementos (kg)			Relação entre os nutrientes
		N	P	K	
Fumo	1700	90	22	129	1:0,24:1,43
Algodão	1700	73	28	56	1:0,38:0,77
Gergelim	500	25	3	24,5	1:0,13:0,98
Gergelim	2200	119	31,6	136	1:0,27:1,14
Milho	3800	106	39	78	1:0,39:0,74

Fonte: BASCONES e LOPEZ RITAS (1961b).

NEPTUNE et alii (1962), estudando a absorção de nutrientes pelo gergelim, cultivar Venezuela 51, em solução nutritiva com diferentes valores de pH, verificaram que a absorção obedeceu à seguinte ordem crescente: P, Mg, S, K, Ca e N. Os mesmos autores observaram ainda, que o melhor índice de pH nas soluções nutritivas foi de 8,0, quando comparado com pH 4,0 e 6,0.

NEPTUNE et alii (1970) estudaram o efeito de NPK e calagem no gergelim encontrando efeito significativo para nitrogênio e fósforo, enquanto que para o potássio não houve evidência do efeito além de constatarem um efeito preju-

dicial do potássio quando na presença de nitrogênio. Os mesmos autores encontraram aos 40 dias extrações de nutrientes, em kg/ha, da ordem de: 40,6 de N, 4,4 de P, 60,2 de K, 37,8 de Ca e 7,7 de Mg.

De acordo com relatos de MAZZANI (1962), a adição de potássio não tem apresentado variações apreciáveis na produção de semente e em outras características do gergelim, sendo que, com relação ao nitrogênio e fósforo, os melhores resultados foram obtidos quando se usou 40 a 45 kg de N/ha e 55 a 75 kg de P_2O_5 /ha.

RODRIGUEZ (1967) em trabalho de adubação de gergelim relata que os resultados obtidos demonstraram que os adubos nitrogenados e fosfatados tendem a elevar o rendimento da cultura e que o potássio parece ter uma ação deprimente no aproveitamento do nitrogênio e fósforo.

SANTOS (1982) estudando a concentração e o acúmulo de nutrientes pelo gergelim encontrou uma acumulação de nutrientes maior nas folhas que nos caules, com excessão, do potássio e zinco. Para a planta inteira, o mesmo autor, encontrou a seguinte sequência decrescente de acumulação: N, K, Ca, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B e Cu.

KAMEL et alii (1984), estudando o efeito de população de plantas e níveis de nitrogênio (0, 36 e 72 kg N/ha) na cultura do gergelim, constataram que a produção de sementes e conteúdo de óleo nas mesmas, aumentaram significativamente com o uso de 72 kg N/ha.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solo

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP. O experimento foi realizado em vasos usando-se um solo de textura grosseira da Série Paredão Vermelho (Rhodochrult) (RANZANI et alii, 1966) de ocorrência no município de Piracicaba, cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na Tabela 2.

3.2. Delineamento experimental

Utilizou-se de um delineamento inteiramente ca

Tabela 2. Características químicas e granulométricas do solo "Paredão Vermelho", com o qual o experimento foi conduzido (0-20 cm) (1).

Características químicas							Granulometria								
% C	pH (H ₂ O)	meq/100 ml terra						%							
		Al3+	Ca2+	Mg2+	H+	K+	P ₀₄ ³⁻	areia muito grossa	areia grossa média	areia fina	areia muito fina	areia total	silte	argila	
0,27	4,3	0,96	0,46	0,27	3,52	0,01	0,02	0,2	1,7	12,2	38,0	20,0	72,1	9,2	18,7

(1) Análises realizadas pelo Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

sualizado com 14 tratamentos e 4 repetições num total de 56 parcelas representadas por vasos de cerâmica com capacidade de 5 kg de terra de acordo com o exposto na Tabela 3.

Tabela 3. Esquema dos tratamentos e níveis de nutrientes utilizados.

Tratamento	Nutrientes (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
N ₀ P ₂ K ₂	0	100	50
N ₁ P ₂ K ₂	25	100	50
N ₂ P ₂ K ₂	50	100	50
N ₃ P ₂ K ₂	100	100	50
N ₄ P ₂ K ₂	200	100	50
N ₂ P ₀ K ₂	50	0	50
N ₂ P ₁ K ₂	50	50	50
N ₂ P ₃ K ₂	50	200	50
N ₂ P ₄ K ₂	50	400	50
N ₂ P ₂ K ₀	50	100	0
N ₂ P ₂ K ₁	50	100	25
N ₂ P ₂ K ₃	50	100	100
N ₂ P ₂ K ₄	50	100	200

- Cinco níveis de nitrogênio, mantendo P e K constantes;
- Cinco níveis de fósforo, mantendo N e K constantes;
- Cinco níveis de potássio, mantendo N e P constantes
- O tratamento N₀P₀K₀ recebeu calcário e gesso (17:1).

3.3. Determinação da necessidade de calagem

Considerando a acidez revelada pela análise do solo e afirmações de TRIBÊ (1967), de que a cultura do gergelim não tolera solos ácidos e de SAVY FILHO et alii (1983), de que o pH deve estar em torno de 6,0, houve necessidade de se fazer calagem.

Para determinar a quantidade de calcário a ser utilizada, realizou-se uma incubação durante 30 dias usando-se 2 kg de terra os quais foram mantidos, em vasos cerâmicos, a uma umidade em torno de 70% da capacidade de saturação do solo após ter sido incorporado quantidades equivalentes a: 2, 4, 6, 8 e 10 t/ha de calcário. Usou-se para tanto, um calcário dolomítico da região de Piracicaba com as seguintes características: CaO% 23,80; MgO% 16,95; peneira 10 = 99,96% e peneira 50 = 64,65% de acordo com análise realizada pelo Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Após o período de incubação, tomaram-se amostras do solo e procedeu-se a determinação do pH segundo a metodologia de Catani et alii (1955) conforme citado por MELLO et alii (1965), usando-se a relação solo : água de 1 : 2,5, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Em função dos resultados obtidos na incubação utilizou-se quantidade equivalente a 6 t/ha ou 12,5 g/vaso, do referido calcário, cuja aplicação ao solo, se fez cerca de 30 dias antes da semeadura.

Tabela 4. Valores de pH do solo 30 dias após ter sido submetido a diferentes níveis de calagem.

Níveis de calagem (t/ha)	pH
2	5,5
4	6,0
6	6,3
8	6,9
10	7,0

3.4. Adubação

De acordo com o esquema da Tabela 3, os nutrientes (N, P, K), foram fornecidos em quantidades equivalentes a kg/ha em forma de solução, sendo que, todo o fósforo foi aplicado na semeadura enquanto o nitrogênio e o potássio foram parcelados em 1/3 na semeadura, 1/3 10 dias após semeadura e 1/3 20 dias após semeadura, fornecidos respectivamente, através de uréia (45% N), ácido fosfórico (54% P_2O_5) e cloreto de potássio (60% K_2O). Em cada vaso aplicou-se quantidade equivalente a 350 kg/ha de gesso ($CaSO_4 - 2H_2O$), para garantir o suprimento de enxofre.

3.5. Cultivar

Utilizou-se a cultivar IAC-ouro, fornecida pela Seção de Oleaginosas do Instituto Agronômico de Campinas, cujas principais características segundo SAVY FILHO et alii (1983) são: ciclo vegetativo 110 dias, porte 1,20 a 1,30 m, haste ramificada apresentando-se dourada na maturação, folhas pubescentes verde-amareladas durante o ciclo, flores levemente arroxeadas, cápsula verde pubescente e sementes brancas com algumas tonalidades de escuro no conjunto, com teor de óleo de 52%.

3.6. Semeadura

Após a aplicação dos nutrientes e homogeneização da mistura solo-fertilizante, colocou-se 15 sementes em cada vaso a uma profundidade média de 3 cm. A semeadura foi realizada em 08/12/84 e dez dias após realizou-se um desbaste deixando-se 8 plantas por vaso. Durante a condução do experimento a umidade do solo, nos vasos, foi mantida em torno de 70% da capacidade de saturação.

3.7. Amostragem de plantas

Cerca de 40 dias após emergência (pleno flo-

rescimento), tomaram-se 4 plantas por vaso e, após lavagem e secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60-70°C até peso constante, determinou-se o peso da matéria seca da parte aérea e raízes. Em seguida as amostras da parte aérea foram moídas visando a análise química das mesmas.

3.8. Colheita

Aos 120 dias após semeadura (06/04/85), realizou-se a colheita dos frutos, os quais após completa secagem ao sol, foram abertos manualmente para a liberação das sementes apresentando 5% de umidade.

3.9. Análises químicas

Na parte aérea das plantas e nas sementes determinaram-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, manganês e zinco de acordo com a metodologia descrita por SARRUGE e HAAG (1974). As análises foram realizadas pela Seção de Nutrição de Plantas do Departamento de Química da ESALQ/USP.

Nas sementes, além desses nutrientes, foram determinados os teores de óleo de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1976), análises essas, reali

zadas no Laboratório de Elaicotecnia do Departamento de Tecnologia Rural da ESALQ/USP.

Em amostras de solo, tomadas em cada vaso após a colheita, realizaram-se análises quanto a: pH, carbono orgânico, fósforo solúvel, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis e acidez potencial segundo a metodologia descrita por RAIJ e ZULLO (1977). Tais análises foram realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP.

3.10. Análises estatísticas

Com os dados obtidos realizaram-se:

- Análise de variância e teste de Tukey para a produção de matéria seca da parte aérea e raízes, produção de frutos e sementes, e, concentração e acúmulo de nutrientes na parte aérea.

- Análise de regressão para produção de matéria seca, concentração de nutrientes na parte aérea e produção de sementes em função de níveis de N e P aplicados.

- Análise de correlação entre níveis de NPK aplicados e teores desses nutrientes e óleo nas sementes.

As análises foram realizadas pelo Centro de Informática na Agricultura da ESALQ/USP, Piracicaba.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de matéria seca

Os valores de matéria seca da parte aérea e raízes são apresentados na Tabela 5 e Figuras 1, 2 e 3.

Analisando-se os tratamentos verifica-se que houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, tanto para a parte aérea como raízes.

Quando se variaram os níveis de nitrogênio mantendo-se fósforo e potássio constantes (Tabela 5 e Figura 1), os valores de matéria seca da parte aérea foram semelhantes, exceto o nível mais alto de nitrogênio (200 kg/ha de N) que apresentou valor menor, porém semelhante ao tratamento que só recebeu calcário e gesso ($N_0P_0K_0$). O tratamento com o maior nível de nitrogênio ($N_4P_2K_2$) apresentou, na ocasião da amostragem, plantas com porte inferior aos dos outros tratamentos. Além disso, este tratamento apresentou a maior concen—

Tabela 5. Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência. (média de 4 repetições).

Tratamento	Parte aérea	Raízes
	g/planta	mg/planta
N ₀ P ₀ K ₀	0,054 f(1)	23 d
N ₀ P ₂ K ₂	0,685 bcd	64 c
N ₁ P ₂ K ₂	0,633 cd	64 c
N ₂ P ₂ K ₂	0,780 bc	79 bc
N ₃ P ₂ K ₂	0,685 bcd	91 bc
N ₄ P ₂ K ₂	0,244 ef	258 a
N ₂ P ₀ K ₂	0,038 f	17 d
N ₂ P ₁ K ₂	0,396 de	83 bc
N ₂ P ₃ K ₂	1,040 ab	126 b
N ₂ P ₄ K ₂	1,282 a	126 b
N ₂ P ₂ K ₀	0,640 cd	97 bc
N ₂ P ₂ K ₁	0,807 bc	97 bc
N ₂ P ₂ K ₃	0,719 bcd	79 bc
N ₂ P ₂ K ₄	0,604 cd	87,0 bc
CV (%)	6,2	10,4
F	27,09**	33,21**

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

$$Y_{(raiz)} = 68,4807 - 0,3281x + 6,3508.10^{-3}x^2 \quad r^2 = 0,99$$

$$Y_{(P.a\acute{e}rea)} = 1,0720 + 1,3097.10^{-3}x - 1,174.10^{-5}x^2 \quad r^2 = 0,95$$

Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg P₂O₅ e 50 kg K₂O/ha. (médias transformadas segundo raiz (x+0,5)).

$$Y_{(raiz)} = 27,4115 + 1,5107x - 5,0482 \cdot 10^{-3}x^2 \quad r^2 = 0,97$$

$$Y_{(P.aerea)} = 0,7253 + 0,0117x - 8,753 \cdot 10^{-5}x^2 + 2,20 \cdot 10^{-7}x^3 \quad r^2 = 0,99$$

Figura 2. Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo na presença de 50 kg de N e 50 kg de K₂O/ha. (médias transformadas segundo raiz de (x+0,5)).

Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea e raízes de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P₂O₅/ha (médias originais).

tração de nitrogênio na parte aérea entre todos os tratamentos (Tabela 7), fato esse, que poderá ter interferido negativamente no desenvolvimento da parte aérea nos primeiros estágios da vida da planta.

Quanto ao peso de matéria seca de raízes, observou-se um aumento do mesmo com os níveis crescentes de nitrogênio, sendo que no maior nível do nutriente, a matéria seca foi cerca de quatro vezes maior que o tratamento sem nitrogênio (Tabela 5).

As variações dos níveis de fósforo (Tabela 5 e Figura 2) foram acompanhadas por significativas variações na matéria seca da parte aérea, chegando o nível mais alto de fósforo (400 kg/ha de P_2O_5), a produzir trinta vezes mais matéria seca que o tratamento sem fósforo. Cabe salientar ainda que o tratamento sem fósforo na presença de nitrogênio e potássio ($N_2P_0K_2$), foi igual ao tratamento que recebeu apenas calcário e gesso ($N_0P_0K_0$).

Na matéria seca de raízes, observou-se, pelo teste de comparação de médias (Tukey 5%), que apenas o tratamento que não recebeu fósforo diferiu dos demais.

O tratamento que não recebeu fósforo, produziu cerca de oito vezes menos matéria seca que o tratamento com o maior nível de fósforo ($N_2P_4K_2$), e quantidade semelhante ao do tratamento que só recebeu calcário e gesso.

Os diferentes níveis de potássio aplicados não proporcionaram diferenças significativas na matéria seca da

parte aérea e raízes (Tabela 5 e Figura 3).. O tratamento que recebeu o maior nível de potássio (200 kg/ha de K_2O), tendeu apresentar uma menor média para matéria seca da parte aérea, embora estatisticamente, essa tenha sido semelhante às demais. Na matéria seca de raízes, observou-se uma situação semelhante à da parte aérea onde todos os níveis empregados resultaram em valores semelhantes estatisticamente.

Aos dados de produção de matéria seca da parte aérea e raízes, dado a significância verificada pelo teste F em função das variações de nitrogênio e fósforo, foram ajustadas equações de regressão (Figuras 1 e 2). Nesse caso, observou-se que em função das variações de níveis de nitrogênio (Figura 1), a máxima produção de matéria seca da parte aérea foi encontrada quando se usou 50 kg/ha de N. Já para a matéria seca de raízes, a máxima produção se deu quando se usou o maior nível de nitrogênio (200 kg/ha de N).

Com relação à matéria seca produzida em função de variações de níveis de fósforo (Figura 2), a máxima produção para raízes se verificou quando se usou 200 kg/ha de P_2O_5 enquanto que para a parte aérea houve crescimento até ao maior nível de fósforo utilizado.

No que diz respeito aos efeitos de nitrogênio, fósforo e potássio, cabe ressaltar que RODRIGUEZ (1967) trabalhando com adubação de gergelim observou efeitos positivos de nitrogênio e fósforo na produção e efeito deprimente do potássio no aproveitamento de N e P. Ainda, NEPTUNE et alii

(1970) estudando o efeito do NPK e calagem no gergelim encontraram efeito significativo para nitrogênio e fósforo enquanto o potássio se mostrou prejudicial quando na presença de nitrogênio.

4.2. Produção de frutos e sementes

Os dados de produção de frutos e sementes são apresentados na Tabela 6 e Figuras 4, 5 e 6. Em função das variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 6 e Figura 4), apenas o tratamento com o maior nível deste nutriente foi diferente dos demais quanto a produção de frutos (Tabela 6).

A produção de sementes de modo semelhante foi pouco influenciada pelos tratamentos utilizados. Cabe ressaltar que em função das variações dos níveis de nitrogênio destacou-se o tratamento com o maior nível do nutriente (200 kg/ha de N), sendo que os demais foram estatisticamente iguais, até mesmo, ao tratamento que recebeu apenas calcário e gesso (Tabela 6).

Com relação às variações dos níveis de fósforo (Tabela 6 e Figura 5), o tratamento que não recebeu este nutriente, foi estatisticamente diferente, pelo teste de Tukey (5%), dos demais tratamentos quanto a produção de frutos. Os tratamentos que receberam diferentes níveis de fósforo foram iguais entre si (Tabela 6).

Tabela 6. Número de frutos e produção de sementes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK (média de 4 repetições).

Tratamento	Frutos/planta	Semente
		mg/planta
$N_0P_0K_0$	2,2 ef (1)	99,7 b
$N_0P_2K_2$	3,2 def	177,5 b
$N_1P_2K_2$	4,7 cdef	167,0 b
$N_2P_2K_2$	6,2 bcd	183,0 b
$N_3P_2K_2$	7,0 bc	229,2 b
$N_4P_2K_2$	14,0 a	771,2 a
$N_2P_0K_2$	2,0 f	72,5 b
$N_2P_1K_2$	4,0 bcd	220,7 b
$N_2P_3K_2$	9,0 c	192,7 b
$N_2P_4K_2$	6,7 bc	130,5 b
$N_2P_2K_0$	4,0 cdef	238,0 b
$N_2P_2K_1$	5,2 bcd	187,5 b
$N_2P_2K_3$	6,2 bcd	173,5 b
$N_2P_2K_4$	5,0 cde	171,2 b
CV (%)	11,67	27,15
F	16,02**	4,35**

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

$$Y_{\text{(fruto)}} = 1,9976 + 8,9019 \cdot 10^{-3} x \quad r^2 = 0,96$$

$$Y_{\text{(semente)}} = 11,0493 + 6,5685 \cdot 10^{-2} x \quad r^2 = 0,88$$

Figura 4. Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O/ha (médias transformadas segundo a raiz (x+0,5)).

$$Y_{(\text{fruto})} = 1,7183 + 0,02357x - 9,409 \cdot 10^{-5}x^2 \quad r^2 = 0,92$$

$$Y_{(\text{semente})} = 9,0443 + 0,2297x - 2,6564 \cdot 10^{-3}x^2 + 8,002 \cdot 10^{-6}x^3 \quad r^2 = 0,79$$

Figura 5. Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).

Figura 6. Número de frutos e produção de sementes de gergelim em função de diferentes níveis de potássio na presença de 50 kg de N e 100 kg de P₂O₅/ha (medias originais).

A produção de sementes não foi afetada pelas variações de níveis de fósforo onde, o teste de comparação de médias, mostrou uma igualdade estatística entre os mesmos.

Com relação ao potássio (Tabela 6 e Figura 6), verificou-se que as variações de níveis deste nutriente não resultaram em diferenças significativas para produção de frutos e sementes.

O teste de comparação de médias mostrou que entre todos os tratamentos empregados no experimento apenas aquele com o maior nível de nitrogênio foi diferente dos demais quanto a produção de sementes (Tabela 6).

Os dados de produção de frutos e sementes, em função de níveis de nitrogênio, quando ajustados a equações de regressão representaram curvas com tendências linear (Figura 4).

Os dados de produção de frutos e sementes em função de níveis de fósforo resultaram em curvas cujo máximo se deu aos 200 kg/ha e 100 kg/ha de P_2O_5 respectivamente para frutos e sementes (Figura 5).

No tocante ao efeito de NPK na produção de sementes de gergelim cabe ressaltar os resultados obtidos por RODRIGUEZ (1967) e NEPTUNE et alii (1970) que encontraram efeitos positivos de nitrogênio e fósforo na produção da cultura do gergelim, bem como, a ausência de resposta ao potássio. KAMEL et alii (1984) encontraram significativos aumentos na produção de sementes e teor de óleo de gergelim utilizando-se até 72 kg/ha de N.

4.3. Concentração e acúmulo de macronutrientes na parte aérea

4.3.1. Nitrogênio

As concentrações de nitrogênio na parte aérea (Tabela 7 e Figuras 7, 9 e 11), apresentaram diferenças significativas em função das variações dos níveis de nitrogênio e fósforo utilizados. A medida que se aumentou o fornecimento de N, verificou-se um aumento na concentração do nutriente na parte aérea (Tabela 7 e Figura 7), sendo que no maior nível de N aplicado (200 kg/ha de N), a concentração do elemento chegou a mais de quatro por cento.

O fato aqui observado, justifica-se já que os aumentos nos níveis de nitrogênio foram acompanhados por uma diminuição na matéria seca e daí um efeito de concentração. Do mesmo modo, o tratamento $N_0P_0K_0$ que recebeu apenas calcário e gesso e que produziu apenas 54 mg/planta de matéria seca, apresentou uma concentração de N na parte aérea maior que vários tratamentos que receberam nitrogênio.

As variações crescentes dos níveis de fósforo (Tabela 7 e Figura 9) resultaram em decréscimo nas concentrações de N na parte aérea. O tratamento $N_2P_4K_2$ que recebeu o maior nível de fósforo (400 kg/ha de P_2O_5) apresentou a menor concentração de nitrogênio (0,93%) entre todos os tratamentos. Considerando que as plantas desse tratamento apre-

sentaram a maior produção de matéria seca (1,28g/planta), provavelmente, nesse caso, o efeito de diluição tenha sido acentuado.

Nos tratamentos em que variaram os níveis de potássio (Tabela 7 e Figura 11), as concentrações de nitrogênio na parte aérea foram iguais, o que evidencia que estas também não foram influenciadas pelo potássio nas condições do experimento.

Quanto ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea (Tabela 8 e Figuras 8, 10 e 12), observou-se que em função dos aumentos dos níveis de nitrogênio houve um aumento no acúmulo de N na parte aérea (Tabela 8 e Figura 8), até o nível de 100 kg/ha de N. A partir desse nível, este diminuiu progressivamente até ao mais alto nível de nitrogênio aplicado.

Em função dos aumentos de níveis de fósforo (Tabela 8 e Figura 10), o acúmulo de N apresentou uma tendência de crescer até ao maior nível de fósforo aplicado, o que mostrou grande paralelismo entre acúmulo de N e produção de matéria seca nesses tratamentos.

Quanto ao acúmulo de N na parte aérea em função das variações de níveis de potássio (Tabela 8 e Figura 12), observou-se um ligeiro decréscimo com o aumento dos níveis de potássio embora as médias não tenham apresentado diferenças estatísticas.

Tabela 7. Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições).

Tratamento	%					
	N	P	K	Ca	Mg	S
N ₀ P ₀ K ₀	1,66cdef(1)	0,18c	1,31bc	1,77de	0,47c	0,51a
N ₀ P ₂ K ₂	1,01fg	0,20c	1,33bc	1,95cd	0,63bc	0,22de
N ₁ P ₂ K ₂	1,24efg	0,20bc	1,48bc	2,06bcd	0,65bc	0,27cde
N ₂ P ₂ K ₂	1,45cdefg	0,20bc	1,81bc	2,28bc	0,73bc	0,36abcd
N ₃ P ₂ K ₂	2,55b	0,24bc	1,62bc	2,53ab	0,89ab	0,38abcd
N ₄ P ₂ K ₂	4,32a	0,34a	1,91ab	2,86a	0,81b	0,41abc
N ₂ P ₀ K ₂	2,10bc	0,18c	1,98ab	2,31bc	0,44c	0,44ab
N ₂ P ₁ K ₂	2,06bcd	0,20bc	2,11ab	2,4 ab	0,72bc	0,41abc
N ₂ P ₃ K ₂	1,14efg	0,20bc	0,82c	1,83cde	0,62bc	0,19e
N ₂ P ₄ K ₂	0,93g	0,27ab	0,77c	2,08bcd	0,68bc	0,25cde
N ₂ P ₂ K ₀	1,30cde	0,23bc	0,81c	1,98cd	1,22a	0,34abcde
N ₂ P ₂ K ₁	1,32efg	0,19c	0,92c	2,21bcd	0,87b	0,29bcde
N ₂ P ₂ K ₃	1,37defg	0,19c	1,54bc	1,91cde	0,65bc	0,27cde
N ₂ P ₂ K ₄	1,35efg	0,20c	2,64a	1,44de	0,44c	0,25cde
CV (%)	16,00	13,99	26,56	9,17	19,16	20,30
F	39,21**	8,17**	7,83**	13,61**	9,13**	7,49**

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 8. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições).

Tratamento	mg/planta					
	N	P	K	Ca	Mg	S
N ₀ P ₀ K ₀	0,92c(1)	0,09cd	0,73c	0,97f	0,24f	0,27de
N ₀ P ₂ K ₂	6,42bc	1,37abcd	9,15ab	13,39bcde	4,29cde	1,59bcde
N ₁ P ₂ K ₂	7,85bc	1,27abcd	9,15ab	12,97bcde	4,16cde	1,70bcd
N ₂ P ₂ K ₂	11,19ab	1,58ab	11,68ab	17,79bc	5,69abcd	2,84ab
N ₃ P ₂ K ₂	17,19a	1,72ab	10,40ab	17,04bcd	6,15abcd	2,55abc
N ₄ P ₂ K ₂	10,68a	0,86bcd	4,71bc	7,05ef	2,03ef	1,02cde
N ₂ P ₀ K ₂	0,80c	0,06d	0,75c	0,90f	0,17f	0,16e
N ₂ P ₁ K ₂	8,00bc	0,84bcd	8,48abc	10,27cde	2,78def	1,51bcde
N ₂ P ₃ K ₂	11,93ab	2,12ab	8,51abc	19,01ab	6,43abc	1,98abc
N ₂ P ₄ K ₂	11,96ab	2,54a	9,92ab	26,77a	8,82a	3,33a
N ₂ P ₂ K ₀	12,05ab	1,80ab	5,22bc	12,68bcde	7,88ab	2,20abc
N ₂ P ₂ K ₁	10,71ab	1,56abc	7,43bc	17,87bc	6,94abc	2,33abc
N ₂ P ₂ K ₃	9,88ab	1,42abcd	11,08ab	13,75bcde	4,65bcde	1,95abc
N ₂ P ₂ K ₄	8,38b	1,23abcd	16,77a	8,85def	2,72def	1,62bcde
CV (%)	32,20	11,31	17,19	26,25	31,37	34,53
F	8,73**	5,49**	6,47**	17,43**	14,42**	8,24**

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

$$\begin{aligned}
 Y(N) &= 1,2366 + 9,896.10^{-4}x + 6,248.10^{-5}x^2 - 2,17.10^{-7}x^3 & r^2 &= 0,99 \\
 Y(P) &= 0,8359 + 3,97.10^{-5}x + 1,91.10^{-6}x^2 & r^2 &= 0,99 \\
 Y(K) &= 1,3629 + 9,473.10^{-4}x & r^2 &= 0,98 \\
 Y(Ca) &= 1,5821 + 1,3381.10^{-3}x & r^2 &= 0,96 \\
 Y(Mg) &= 1,0487 + 1,8204.10^{-3}x - 6,56.10^{-6}x^2 & r^2 &= 0,91 \\
 Y(S) &= 0,8555 + 1,3477.10^{-3}x - 4,24.10^{-6}x^2 & r^2 &= 0,94
 \end{aligned}$$

Figura 7. Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_{205} e 50 kg de K_{20} /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).

Figura 8. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O/ha . (médias originais).

$$\begin{aligned}
 Y(N) &= 1,6441 - 2,1577 \cdot 10^{-3}x + 1,348 \cdot 10^{-5}x^2 & r^2 &= 0,95 \\
 Y(P) &= 0,8270 + 2,500 \cdot 10^{-4}x & r^2 &= 0,86 \\
 Y(K) &= 1,5898 + 8,388 \cdot 10^{-4}x - 9,151 \cdot 10^{-5}x^2 + 3,79 \cdot 10^{-7}x^3 & r^2 &= 0,97 \\
 Y(Ca) &= 1,6809 + 3,0930 \cdot 10^{-3}x - 7,698 \cdot 10^{-5}x^2 + 2,99 \cdot 10^{-7}x^3 & r^2 &= 0,98 \\
 Y(Mg) &= 0,9786 + 6,4220 \cdot 10^{-3}x - 8,410 \cdot 10^{-5}x^2 - 2,74 \cdot 10^{-7}x^3 & r^2 &= 0,97 \\
 Y(S) &= 0,9842 - 2,077 \cdot 10^{-3}x + 7,41 \cdot 10^{-6}x^2 & r^2 &= 0,87
 \end{aligned}$$

Figura 9. Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K₂O/ha (médias transformadas segundo raiz (x+0,5)).

Figura 10. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O /ha (média original).

Figura 11. Concentração de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P_2O_5 /ha (médias originais).

Figura 12. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P₂O₅/ha. (médias originais).

4.3.2. Fósforo

As concentrações de fósforo na parte aérea (Tabela 7 e Figuras 7, 9 e 11), foram influenciadas de modo significativo pelas variações dos níveis de nitrogênio e fósforo. Em função das variações dos níveis de nitrogênio, apenas houve diferenças entre o tratamento sem nitrogênio ($N_0P_2K_2$) e o tratamento que recebeu o maior nível deste nutriente ($N_4P_2K_2$), sendo que neste, a concentração de fósforo (0,34%) foi a maior entre todos os tratamentos. Esse resultado pode ser atribuído aos mesmos motivos observados para a concentração de nitrogênio.

As variações de níveis de fósforo (Tabela 7 e Figura 9) não proporcionaram grandes variações na concentração de fósforo na parte aérea da planta. Embora se tenha verificado diferenças estatísticas, o teste de comparação de médias mostrou que apenas houve diferença entre o tratamento que não recebeu fósforo ($N_2P_0K_2$) e o tratamento que recebeu o maior nível deste nutriente ($N_2P_4K_2$).

As variações de níveis de potássio não influenciaram de modo significativo as concentrações de P na parte aérea (Tabela 7 e Figura 11).

Com relação ao acúmulo de fósforo na parte aérea, o que se observou em função das variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 8 e Figura 8), é que pouco variou em função dos acréscimos de nitrogênio. Houve entretanto, um li-

geiro aumento no acúmulo até o nível de 100 kg/ha de N, diminuindo-se em seguida.

Em função dos aumentos de níveis de fósforo, o acúmulo de P na parte aérea aumentou progressivamente até ao mais alto nível de fósforo aplicado (Tabela 8 e Figura 10), apresentando assim, um comportamento semelhante ao verificado para produção de matéria seca e acúmulo de N.

As variações dos níveis de potássio não proporcionaram mudanças significativas no acúmulo de P na parte aérea da planta (Tabela 8 e Figura 12).

4.3.3. Potássio

As concentrações de potássio na parte aérea (Tabela 7 e Figura 7), não foram influenciadas pelas variações de níveis de nitrogênio. Pelo teste de comparação de médias pode-se verificar que as médias de tratamentos foram iguais embora se tenha observado uma tendência de maior concentração desse nutriente nos tratamentos que receberam mais nitrogênio.

As variações dos níveis de fósforo (Tabela 7 e Figura 9) influenciaram de modo significativo as concentrações de potássio na parte aérea da planta. Nesse caso, houve uma diminuição na concentração de potássio à medida que se aumentou o fornecimento de fósforo. A exemplo do que ocorreu com a concentração de nitrogênio, o aumento na produção de maté-

ria seca levou a uma diluição desses nutrientes no tecido da parte aérea.

Quando se aumentou os níveis de potássio aplicado verificou-se que houve aumentos nas concentrações deste nutriente na parte aérea (Tabela 7 e Figura 11). Pelo fato de não ter havido variação na produção de matéria seca nestes tratamentos, os aumentos nas concentrações justificam-se já que uma maior disponibilidade deste nutriente resultou provavelmente em maior absorção e concentração nos tecidos da planta.

Quanto ao acúmulo de potássio na parte aérea, o que se verificou em função das variações no fornecimento de nitrogênio (Tabela 8 e Figura 8), foram pequenas variações no acúmulo, não apresentando entretanto, diferenças significativas entre as médias. Em relação às variações dos níveis de fósforo (Tabela 8 e Figura 10) apenas houve diferença estatística entre o tratamento sem fósforo ($N_2P_0K_2$) e o que recebeu o maior nível ($N_2P_4K_2$).

Em relação às variações de níveis de potássio (Tabela 8 e Figura 12), observou-se uma tendência crescente quanto ao acúmulo de K na parte aérea embora apenas o tratamento que recebeu o maior nível (200 kg/ha de K_2O) tenha sido estatisticamente diferente dos demais.

4.3.4. Cálcio

As concentrações de cálcio na parte aérea em

função das variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 7 e Figura 7), apresentaram diferenças significativas, sobretudo, entre o tratamento que não recebeu nitrogênio e aquele que recebeu o maior nível do nutriente (200 kg/ha de N). Houve aumentos crescentes na concentração de Ca com os acréscimos de nitrogênio aplicado tal como ocorreu nas concentrações de nitrogênio e fósforo na parte aérea.

As variações nos níveis de fósforo praticamente não causaram diferenças significativas nas concentrações de cálcio na parte aérea (Tabela 7 e Figura 9). Embora tenha havido aumento na produção de matéria seca quando se aumentou os níveis de fósforo, as concentrações de cálcio não sofreram o efeito da diluição, sugerindo com isso, que houve uma maior absorção de cálcio em função dos níveis de fósforo.

As variações de níveis de potássio não proporcionaram diferenças significativas nas concentrações de cálcio (Tabela 7 e Figura 11). Observou-se que houve uma tendência de decréscimo na concentração de cálcio com o aumento dos níveis de potássio. A menor concentração foi observada quando se usou o maior nível de potássio, mostrando assim, uma possível competição entre os dois nutrientes.

Com relação ao acúmulo de cálcio na parte aérea (Tabela 8 e Figuras 8, 10 e 12), observou-se que quando se variaram os níveis de nitrogênio (Tabela 8 e Figura 8), o acúmulo de cálcio não apresentou variações significativas. Estatisticamente, apenas o tratamento com o maior

nível de nitrogênio diferiu dos demais quanto ao acúmulo de cálcio.

Em função das variações dos níveis do fósforo (Tabela 8 e Figura 10), o acúmulo de cálcio cresceu até ao maior nível de fósforo utilizado enquanto que em função das variações de potássio (Tabela 8 e Figura 12), o acúmulo de cálcio, de um modo geral, decresceu com o aumento dos níveis de potássio.

4.3.5. Magnésio

As concentrações de magnésio na parte aérea não foram significativamente afetadas pelas variações de nitrogênio aplicados ao solo (Tabela 7 e Figura 7). Do mesmo modo as variações dos níveis de fósforo aplicado não proporcionaram diferenças significativas nas concentrações (Tabela 7 e Figura 9). De modo semelhante às concentrações de cálcio, as de magnésio não diminuíram significativamente com o aumento da produção de matéria seca, sugerindo assim também, um efeito favorável do fósforo na absorção de magnésio.

As variações de níveis de potássio resultaram em diferentes valores nas concentrações de magnésio na parte aérea (Tabela 7 e Figura 11).

O tratamento que não recebeu potássio ($N_2P_2K_0$) apresentou a maior concentração de magnésio na parte aérea (1,22%) entre todos os tratamentos, mostrando dessa maneira,

um efeito de competição entre os dois nutrientes a exemplo do que se verificou com o cálcio.

Quanto ao acúmulo de magnésio na parte aérea da planta (Tabela 8 e Figuras 8, 10 e 12), observou-se que es se foi pouco afetado pelas variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 8 e Figura 8). Apenas o tratamento com o maior nível de nitrogênio, diferiu dos demais.

Em função dos diferentes níveis de fósforo, observou-se aumentos crescentes no acúmulo de magnésio quando se aumentaram os níveis de fósforo (Tabela 8 e Figura 10).

As variações dos níveis de potássio (Tabela 8 e Figura 12), causaram variações significativas no acúmulo de magnésio na parte aérea. Ao analisar a Figura 12, constatou-se que os decréscimos no acúmulo de magnésio em função dos aumentos de níveis do potássio, foi o mais pronunciado entre os macronutrientes.

4.3.6. Enxofre

As concentrações de enxofre na parte aérea apresentaram um comportamento semelhante ao do nitrogênio (Tabela 7 e Figuras 7, 9 e 11). Os aumentos dos níveis de nitrogênio (Tabela 7 e Figura 7), proporcionaram ligeiros aumentos na concentração de enxofre na parte aérea.

As variações dos níveis de fósforo (Tabela 7 e Figura 9), influenciaram de modo significativo a concentração de enxofre na parte aérea. Os aumentos dos níveis de fósforo foram acompanhados por diminuição das concentrações de enxofre, caracterizando assim o efeito de diluição já que houve aumentos na produção de matéria seca (Tabela 5).

Os diferentes níveis de potássio aplicado (Tabela 7 e Figura 11) não afetaram as concentrações de enxofre na parte aérea.

Quanto ao acúmulo de enxofre na parte aérea da planta (Tabela 8 e Figuras 8, 10 e 12), verificou-se que em função das variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 8 e Figura 8), o tratamento que recebeu o maior nível deste nutriente apresentou o menor acúmulo de enxofre e diferiu dos outros tratamentos.

Em função das variações dos níveis de fósforo (Tabela 8 e Figura 10) observou-se que o acúmulo de enxofre apresentou aumentos crescentes com os aumentos dos níveis de fósforo.

As variações dos níveis de potássio (Tabela 8 e Figura 12) não causaram variações significativas no acúmulo de enxofre na parte aérea da planta.

4.4. Concentração e acúmulo de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea

4.4.1. Ferro

As concentrações de ferro na parte aérea foram pouco afetadas pelas variações dos níveis de nitrogênio (Tabela 9 e Figura 13). Destacou-se apenas uma tendência de aumento da concentração de ferro em função do aumento dos níveis de nitrogênio.

Quanto ao acúmulo de ferro (Tabela 10 e Figura 14) na parte aérea constatou-se que não houve efeito significativo das variações de nitrogênio sobre este.

Com relação às variações de níveis de fósforo (Tabela 9 e Figura 15), observou-se que apenas o tratamento que não recebeu fósforo foi diferente dos demais quanto a concentração de ferro na parte aérea. Quando ao acúmulo de ferro (Tabela 10 e Figura 16) observou-se que este aumentou progressivamente com os acréscimos nos níveis de fósforo.

As variações dos níveis de potássio aplicados não proporcionaram diferenças significativas na concentração e no acúmulo de ferro na parte aérea (Tabelas 9 e 10 e Figuras 17 e 18).

Tabela 9. Concentração de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições).

Tratamento	ppm			
	Fe	Cu	Mn	Zn
$N_0P_0K_0$	381 a (1)	28 a	42 bc	53 a
$N_0P_2K_2$	159 bc	6 def	36 c	21 f
$N_1P_2K_2$	158 bc	4 def	40 c	24 ef
$N_2P_2K_2$	170 bc	3 ef	45 bc	27 def
$N_3P_2K_2$	172 bc	10 cd	58 b	34 bcde
$N_4P_2K_2$	238 b	17 bc	90 a	39 bc
$N_2P_0K_2$	410 a	23 ab	40 c	44 ab
$N_2P_1K_2$	190 bc	10 cde	46 bc	32 cde
$N_2P_3K_2$	140 c	3 f	37 c	20 ef
$N_2P_4K_2$	162 bc	3 f	38 c	27 def
$N_2P_2K_0$	183 bc	8 def	43 bc	31 cde
$N_2P_2K_1$	186 bc	8 cdef	46 bc	33 cde
$N_2P_2K_3$	168 bc	6 def	38 c	37 bcd
$N_2P_2K_4$	167 bc	7 def	31 c	33 cde
CV (%)	9,38	15,55	7,12	6,46
F	14,90**	20,73**	15,99**	14,58**

(1) Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 10. Acúmulo de micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) na parte aérea de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK aos 40 dias após emergência (média de 4 repetições).

Tratamento	µg/planta			
	Fe	Cu	Mn	Zn
$N_0P_0K_0$	20 d(1)	1,5 bc	2,3 de	2,7 e
$N_0P_2K_2$	109 bc	4,0 abc	25 bc	14 cde
$N_1P_2K_2$	103 bc	2,6 abc	25 bc	15 cde
$N_2P_2K_2$	132 abc	2,8 abc	35 abc	21 abcd
$N_3P_2K_2$	124 bc	6,5 a	38 ab	22 abcd
$N_4P_2K_2$	57 cd	3,9 abc	22 bcd	9 de
$N_2P_0K_2$	15 d	0,8 c	1,5 e	1,5 e
$N_2P_1K_2$	74 bcd	3,9 abc	17 cde	12 cde
$N_2P_3K_2$	144 ab	3,1 abc	38 ab	29 ab
$N_2P_4K_2$	208 a	4,1 abc	48 a	35 a
$N_2P_2K_0$	112 bc	5,1 ab	27 bc	19 bcd
$N_2P_2K_1$	149 ab	6,6 a	37 abc	26 abc
$N_2P_2K_3$	120 bc	4,7 abc	27 bc	26 abc
$N_2P_2K_4$	101 bc	4,3 abc	19 bcde	20 bcd
CV (%)	30,22	42,20	31,45	31,17
F	10,32**	4,04**	10,55**	11,67**

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

$$\begin{aligned}
 Y(\text{Fe}) &= 12,3312 + 0,0150x & r^2 &= 0,99 \\
 Y(\text{Mn}) &= 5,9564 + 0,0177x & r^2 &= 0,99 \\
 Y(\text{Zn}) &= 4,6254 + 0,0154x - 3,692 \cdot 10^{-5}x^2 & r^2 &= 0,97 \\
 Y(\text{Cu}) &= 2,5608 - 0,0335x + 5,9803 \cdot 10^{-4}x^2 - 1,958 \cdot 10^{-10}x^3 & r^2 &= 0,99
 \end{aligned}$$

Figura 13. Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_{205} e 50 kg de K_{20} /ha (médias transformadas segundo raiz $(x+0,5)$).

Figura 14. Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de nitrogênio, na presença de 100 kg de P_2O_5 e 50 kg de K_2O /ha (médias originais).

$$\begin{aligned}
 Y(\text{Fe}) &= 19,9135 - 0,2673x + 2,615 \cdot 10^{-3}x^2 - 7,287 \cdot 10^{-6}x^3 & r^2 &= 0,96 \\
 Y(\text{Mn}) &= 6,4082 + 0,0248x - 4,3267 \cdot 10^{-4}x^2 + 1,516 \cdot 10^{-6}x^3 & r^2 &= 0,99 \\
 Y(\text{Zn}) &= 6,7146 - 0,0491x + 4,6470 \cdot 10^{-4}x^2 - 1,276 \cdot 10^{-6}x^3 & r^2 &= 0,99 \\
 Y(\text{Cu}) &= 4,9171 - 0,0917x + 8,2772 \cdot 10^{-4}x^2 - 2,231 \cdot 10^{-6}x^3 & r^2 &= 0,99
 \end{aligned}$$

Figura 15. Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea do gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo na presença de 50 kg de N e 50 kg de K₂O/ha. (médias transformadas segundo raiz (x+0,5)).

Figura 16. Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de fósforo, na presença de 50 kg de N e 50 kg de K_2O/ha (médias originais).

Figura 17. Concentração de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gerânio aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio, na presença de 50 kg de N e 100 kg de P₂O₅/ha (médias originais).

NÍVEIS DE POTÁSSIO (kg/ha de K₂O)

Figura 18. Acúmulo de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de gergelim aos 40 dias após emergência em função de diferentes níveis de potássio na presença de 50 kg de N e 100 kg de P₂O₅/ha (médias originais).

4.4.2. Cobre

As concentrações de cobre na parte aérea em função dos aumentos de níveis de nitrogênio (Tabela 9 e Figura 13) apresentaram valores crescentes com os níveis de nitrogênio aplicado. Como em casos anteriores, a maior concentração foi verificada no tratamento que recebeu o maior nível de nitrogênio, onde uma menor produção de matéria seca justifica tal concentração. Quanto ao acúmulo de cobre na parte aérea não se verificaram diferenças significativas em função das variações de nitrogênio (Tabela 10 e Figura 14).

As variações de níveis de fósforo afetaram significativamente as concentrações de cobre na parte aérea (Tabela 9 e Figura 15). Destaca-se neste caso, o tratamento que não recebeu fósforo onde a concentração de cobre foi igual ao tratamento que só recebeu calcário e gesso. Como para outros nutrientes, uma maior produção de matéria seca devida ao fósforo, proporcionou uma diluição nos teores de cobre nos tecidos. Quanto ao acúmulo de cobre não se verificaram diferenças significativas em função de níveis de fósforo (Tabela 10 e Figura 16).

As variações de potássio não afetaram a concentração nem o acúmulo de cobre na parte aérea (Tabelas 9 e 10 e Figuras 17 e 18).

4.4.3. Manganês

As concentrações de manganês na parte aérea apresentaram variações semelhantes as encontradas para ferro e cobre. Em função das variações dos níveis de nitrogênio, observou-se um aumento na concentração de manganês (Tabela 9 e Figura 13). O acúmulo de manganês (Tabela 10 e Figura 14), não apresentou diferenças significativas em função de níveis de nitrogênio.

Em função das variações dos níveis de fósforo (Tabela 9 e Figura 15) não houve diferença significativa nas concentrações de manganês enquanto o acúmulo deste (Tabela 10 e Figura 16), apresentou valores crescentes com o aumento dos níveis de fósforo.

As variações dos níveis de potássio não foram acompanhadas por diferenças significativas na concentração de manganês (Tabelas 9 e Figura 17). Em relação ao acúmulo deste nutriente (Tabela 10 e Figura 18) verificou-se o mesmo comportamento.

4.4.4. Zinco

As concentrações de zinco na parte aérea da planta foram bem semelhantes as de manganês. Em função dos acréscimos dos níveis de nitrogênio (Tabela 9 e Figura 13), houve aumentos nas concentrações de zinco. Quanto ao acúmu-

lo (Tabela 10 e Figura 14), constatou-se que as médias foram iguais estatisticamente.

Os diferentes níveis de fósforo apresentaram efeitos significativos na concentração de zinco (Tabela 9 e Figura 15), embora apenas o tratamento que não recebeu fósforo tenha sido diferente dos demais. Como no caso de outros nutrientes, o tratamento que não recebeu fósforo apresentou concentração de zinco igual ao que recebeu apenas calcário e gesso. O acúmulo do nutriente foi crescente com o aumento dos níveis de fósforo (Tabela 10 e Figura 16).

As variações de níveis de potássio, como na maioria dos nutrientes estudados não causaram diferenças significativas na concentração de zinco (Tabela 9 e Figura 17), e nem no acúmulo do nutriente na parte aérea da planta (Tabela 10 e Figura 18).

Aos dados de concentração de macronutrientes e dos micronutrientes estudados, foram ajustadas equações de regressão em função das variações de nitrogênio e fósforo. Conforme consta na Figura 7, verificou-se que, de modo geral, houve aumentos nas concentrações dos macronutrientes em função do aumento dos níveis de nitrogênio. Salienta-se que os acréscimos de concentração foram mais pronunciados no caso do nitrogênio, potássio e cálcio e, bastante discretos para fósforo, magnésio e enxofre. Em função das variações dos níveis de fósforo (Figura 9), observou-se uma diminuição na concentração de nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre e um li-

geiro aumento na concentração de magnésio e fósforo quando se aumentou o fornecimento de fósforo.

Quanto aos micronutrientes analisados, viu-se pela Figura 13, que os aumentos dos níveis de nitrogênio foram acompanhados por aumentos de concentrações de ferro, cobre, manganês e zinco. Em função das variações dos níveis de fósforo (Figura 15), houve decréscimo na concentração de ferro, cobre, manganês e zinco quando houve aumentos nos níveis deste nutriente.

4.5. Concentração de nutrientes e óleo na semente

Os dados de concentração de nutrientes e óleo na semente são apresentados na Tabela 11. Pelos valores encontrados verificou-se que praticamente não houve variação entre os mesmos em função dos tratamentos.

A análise de correlação feita entre níveis de NP e K utilizados e os teores desses nutrientes na semente não apresentou significância estatística (Tabela 12). Quanto a porcentagem de óleo, de modo semelhante, a análise de correlação (Tabela 13), não foi significativa.

Sobre esse aspecto, cabe salientar as afirmações de TANAKA (1981), de que altas doses de nitrogênio em girassol pode diminuir o teor de óleo na semente. Embora esse comportamento pudesse também ser verificado em gergelim, nas condições do experimento, tal não ocorreu.

Tabela 11. Concentração de macronutrientes, micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco) e teor de óleo em sementes de gergelim submetido a diferentes níveis de NPK.

Tratamento	%					ppm					%	
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	Óleo	Óleo
N ₀ P ₀ K ₀	3,30	0,66	0,41	1,52	0,35	0,20	70	26	15	106	49,9	49,9
N ₀ P ₂ K ₂	3,63	0,88	0,46	1,36	0,47	0,23	87	21	12	91	47,2	47,2
N ₁ P ₂ K ₂	3,99	0,88	0,46	1,40	0,48	0,23	88	23	14	100	47,2	47,2
N ₂ P ₂ K ₂	3,98	0,88	0,46	1,48	0,48	0,28	87	24	13	100	48,2	48,2
N ₃ P ₂ K ₂	3,72	0,88	0,51	1,48	0,49	0,25	85	22	12	90	47,7	47,7
N ₄ P ₂ K ₂	3,51	0,77	0,46	1,40	0,43	0,18	68	21	10	72	46,2	46,2
N ₂ P ₀ K ₂	3,82	0,55	0,46	1,44	0,40	0,18	58	25	6	80	52,9	52,9
N ₂ P ₁ K ₂	3,65	0,88	0,46	1,40	0,45	0,35	103	23	6	86	49,9	49,9
N ₂ P ₃ K ₂	3,57	1,10	0,51	1,36	0,48	0,20	78	24	8	101	49,9	49,9
N ₂ P ₄ K ₂	3,95	0,99	0,51	1,28	0,47	0,30	97	22	8	105	49,7	49,7
N ₂ P ₂ K ₀	3,53	0,99	0,51	1,24	0,47	0,28	85	22	8	80	49,3	49,3
N ₂ P ₂ K ₁	3,67	0,88	0,46	1,40	0,45	0,65	75	21	9	86	47,3	47,3
N ₂ P ₂ K ₃	3,95	1,10	0,48	1,52	0,48	0,50	77	24	8	90	47,7	47,7
N ₂ P ₂ K ₄	4,00	0,99	0,51	1,32	0,46	0,35	72	24	7	98	48,8	48,8

Tabela 12. Equações de correlação entre níveis de NP e K aplicados e os teores desses nutrientes nas sementes.

Equação	Coefficiente de determinação	Nível mínimo de significância (%)
$Y(N) = 3,6 + 0,018x - 2,5.10^{-4}x^2 + 8,06.10^{-7}x^3$	0,98	16,96
$Y(P) = 0,57 + 0,0052x - 1,66.10^{-5}x^2 + 1,5.10^{-8}x^3$	0,92	34,14
$Y(K) = 0,50 - 0,0023x + 2,95.10^{-5}x^2 - 8,93.10^{-8}x^3$	0,96	23,84

Tabela 13. Equações de correlação entre níveis de NP e K aplicados e teores de óleo nas sementes

Equação	Coefficiente de determinação	Nível mínimo de significância (%)
$Y(N) = 47,12 + 0,024x - 2,15.10^{-4}x^2 + 3,43.10^{-7}x^3$	0,87	43,89
$Y(P) = 53,01 - 0,092x + 5,53.10^{-4}x^2 + 8,57.10^{-7}x^3$	0,98	17,16
$Y(K) = 49,09 - 0,056x + 6,15.10^{-4}x^2 - 1,70.10^{-6}x^3$	0,63	71,92

4.6. Análise de solo após a colheita

4.6.1. Valor pH

Os valores de pH do solo após a colheita (Tabela 14) não apresentaram diferenças em função das variações dos níveis de NPK aplicados. O tratamento ($N_0P_0K_0$) que recebeu apenas calcário e gesso (17:1), apresentou valores pH superior à maioria dos tratamentos, o que pode ser justificado pelo fato deste não ter recebido fertilizantes.

A incubação de quantidade equivalente a 6 t/ha de calcário durante 30 dias, mostrou-se suficiente para elevar o valor pH a 6,3 (Tabela 4), entretanto no tratamento que não recebeu fertilizantes o valor pH chegou a 7,4 após 120 dias indicando assim, que provavelmente a fração mais grossa do corretivo, continuou reagindo além dos 30 dias.

4.6.2. Matéria orgânica

Todos os tratamentos utilizados no experimento apresentaram valores iguais quanto a porcentagem de matéria orgânica (Tabela 14). Os baixos teores observados já eram esperados pois como se viu na análise do solo inicialmente (Tabela 2), trata-se de um solo muito pobre em matéria orgânica.

Tabela 14. Valores de pH, matéria orgânica, fósforo solúvel, potássio, cálcio, magnésio e alumínio troçáveis e acidez potencial nos diferentes tratamentos 120 dias após adubação (média de 4 repetições).

Tratamentos	pH	M.O.	PO_4^{3-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	(Al+H)	Al^{3+}
	(H ₂ O)	(%)	meq/100 cm ³ solo					
$N_0P_0K_0$	7,4a(1)	0,82a	0,03b	0,05b	1,8a	0,9a	0,8ab	0
$N_0P_2K_2$	6,8b	0,81a	0,07b	0,09b	2,3a	0,5a	1,2ab	0
$N_1P_2K_2$	6,8b	0,81a	0,07b	0,09b	2,2a	0,5a	1,3a	0
$N_2P_2K_2$	6,5b	0,77a	0,07b	0,08b	2,3a	0,5a	1,3a	0
$N_3P_2K_2$	6,6b	0,69a	0,07b	0,07b	2,3a	0,6a	1,3a	0
$N_4P_2K_2$	6,6b	0,73a	0,07b	0,08b	2,0a	0,6a	1,2ab	0
$N_2P_0K_2$	6,7b	0,73a	0,03b	0,09b	2,3a	0,5a	1,1ab	0
$N_2P_1K_2$	6,6b	0,80a	0,04b	0,09b	2,4a	0,6a	1,1ab	0
$N_2P_3K_2$	6,6b	0,86a	0,14b	0,10ab	2,2a	0,7a	1,0ab	0
$N_2P_4K_2$	6,7b	0,77a	0,42a	0,09b	2,3a	0,6a	1,0ab	0
$N_2P_2K_0$	6,9ab	0,70a	0,07b	0,06b	2,4a	0,5a	0,7b	0
$N_2P_2K_1$	6,5b	0,69a	0,07b	0,06b	2,2a	0,7a	1,2ab	0
$N_2P_2K_3$	6,7b	0,85a	0,07b	0,09b	2,4a	0,6a	1,06ab	0
$N_2P_2K_4$	6,9ab	0,69a	0,07b	0,16a	2,2a	0,7a	0,9ab	0
CV (%)	3,14	18,05	16,50	29,94	8,24	8,86	18,95	-
F	5,24**	0,79	7,03**	4,35**	1,17	0,62	3,04**	-

(1) Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

4.6.3. Fósforo solúvel

Em função dos diferentes níveis de NPK, o único tratamento que se mostrou diferente dos demais foi o que recebeu o maior nível de fósforo. Com o aumento dos níveis aplicados, verificou-se aumentos progressivos no teor de fósforo solúvel no solo, porém o grande aumento ocorreu quando se usou o maior nível (400 kg/ha de P_2O_5). Neste tratamento, o teor solúvel foi 14 vezes maior que o tratamento que não recebeu o nutriente. Houve boa relação entre teor de fósforo solúvel no solo e produção de matéria seca, porém quanto a produção de sementes, tal relação não se verificou.

4.6.4. Potássio, cálcio e magnésio trocáveis

No que diz respeito ao potássio trocável (Tabela 14), observou-se que apenas o tratamento que recebeu o maior nível de potássio ($N_2P_2K_4$), apresentou valor diferente dos demais. Ainda assim, neste tratamento o teor trocável (0,16 meq/100 ml) foi baixo para médio. Os aumentos nos teores de potássio trocável não resultaram em maiores produções de matéria seca ou semente porém, houve boa relação entre estes e a concentração e acúmulo de potássio na parte aérea da planta.

Com relação aos teores de cálcio e magnésio trocáveis (Tabela 14), não se verificaram variações em função dos tratamentos. Cabe ressaltar entretanto, que comparando com

os teores originais (Tabela 2), observou-se uma elevação dos mesmos em função da calagem.

4.6.5. Acidez potencial e alumínio trocável

A acidez potencial praticamente não variou em função dos tratamentos (Tabela 14). Os valores observados quando comparados com a análise do solo original (Tabela 9), foram bem inferiores evidenciando assim, o efeito da calagem sobre este aspecto.

Quanto ao alumínio trocável, em todos os tratamentos, este apresentou valor zero, o que já era esperado em função da quantidade de calcário utilizada.

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos podem ser tiradas as seguintes conclusões:

1. O fósforo foi o nutriente que proporcionou os maiores ganhos de matéria seca até os 40 dias;
2. Não houve relação entre a produção de matéria seca da parte aérea aos 40 dias e a produção de sementes;
3. As variações dos níveis de NPK aplicados não proporcionaram variações nos teores destes nutrientes e óleo na semente;
4. A cultura não respondeu a adubação potássica nas condições do experimento;
5. Houve acentuado efeito dos níveis de fósforo no acúmulo de cálcio e magnésio na parte aérea da planta..

6. LITERATURA CITADA

BASCONES, L. e J. LOPEZ RITAS, 1961a. La nutrición mineral del ajonjolí. I. Sintomas visuales de deficiencia y diagnóstico foliar. Agronomía Tropical, Maracay, 11(1): 17-32.

BASCONES, L. e J. LOPEZ RITAS, 1961b. La nutrition mineral de ajonjolí. II. Extracion total de nutrientes. Agronomía Tropical, Maracay, 11(1): 93-101.

FAO, 1982. Production Yearbook, Rome, 36. p.144.

FRANCO, J.A.A., 1972. A cultura do gergelim e suas possibilidades no Nordeste. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, 4(15): 33-57.

GUTIERREZ, H.C., 1968. Contribuição ao significado fisiológico da relação Ca/K em gergelim (Sesamum indicum L.). Piracicaba, ESALQ. 46p. (Dissertação de Mestrado).

- KAMEL, M.S.; R. SHABANA e N.M. ABU-HAGAZA, 1984. Population arrangements and fertility level effects on yields of seed and oil of irrigated sesame (Sesamum indicum L.). Field Crop Abstracts, Farnham Royal, 37(11): p.422.
- MAZZANI, B., 1959. Variaciones del contenido em aceite de la semillas em cultivares locales de ajonjolí. II. Su correlacion com otras características de la planta. Agronomía Tropical, Maracay, 9(3): 87-92.
- MAZZANI, B., 1962. Mejoramiento del ajonjolí en Venezuela. Ministério de Agricultura y cria, Maracay, Centro de Investigaciones Agronomicas. 127p.
- MELLO, F.A.F.; M.C.O. BRASIL SOBRº e S. ARZOLA, 1965. Análises de Solos. Piracicaba, ESALQ, 47p.
- MORRISON, F.B., 1966. Alimentos e alimentação dos animais. São Paulo, Edições Melhoramentos, 892p.
- NEPTUNE, A.M.L.; N.P. SABINO e F. PIVA NETO, 1962. Efeito do valor pH sobre o crescimento e composição química do gergelim, cultivado em solução nutritiva. In: II Congresso Latino Americano de Ciência do Solo e X Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Piracicaba. Resumos.
- NEPTUNE, A.M.L.; J. NAKAGAWA; L.C. SCOTON e A.E. BOARETTO, 1970. Adubação NPK e calagem no gergelim (Sesamum indicum L.) e os efeitos na produção e extração de macronutrientes. In: Reunião Anual da S.B.P.C., Salvador, Resumos.
- NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1976. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2a. ed. São Paulo, I.A.L. p.36-38.

- NOVAIS, R.F., 1952. O gergelim na indústria elaiotécnica. O Solo, Piracicaba, 44: 13-24.
- PAL, N.L. e M. BANGARAYY, 1958. Deficiency symptoms in Sesamum indicum L. Central Tobacco Res. Inst., RAJAHMUNDRY AND DARA STATE. Indian Journal Agricultural Science, New Delhi, 28(4): 607-611.
- RAIJ, B. van e M.A.T. ZULLO, 1977. Métodos de análises de solo. Campinas, IAC. 16p. (Circular nº 63).
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Cartas de solos do município de Piracicaba, Piracicaba, Centro de Estudos de Solo, 85p.
- RODRIGUEZ, R.A., 1967. Ensaíos de aboniamiento del ajonjolí en la Colonia Agrícola de Turen. In: 7a. Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, Maracay. Resúmenes de los trabajos científicos, p.246-247.
- SANTOS, R.A., 1982. Concentração e acúmulo de nutrientes pela cultura do gergelim (Sesamum indicum L.) cultivar Venezuela, Piracicaba, ESALQ, 66p. (Tese de Doutorado).
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 56p.
- SAVY FILHO, A.; N.V. BANZATTO e D.H.C. LASCA, 1983. Gergelim IAC-ouro. Campinas, Divulgação Técnica, IAC (CPA) e DEXTRU (CATI).
- TANAKA, R.T., 1981. Nutrição e adubação da cultura do girassol. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 7(82): 74-76.

TRIBE, A.J., 1967. Sesame. Field Crop Abstracts. Farnham
Royal, 20(3): 189-194.