

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MICROCLIMA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES NA
CULTURA DO MILHO**

**Mariangela Alves Gutierrez
(Bióloga)**

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2010**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MICROCLIMA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES NA
CULTURA DO MILHO**

Mariangela Alves Gutierrez

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutora em Agronomia
(Ciência do Solo)

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2010**

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Mariangela Alves Gutierrez – Em 2001, graduou-se em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – IBILCE – Unesp. Em meados de 2002, iniciou seus trabalhos de Treinamento Técnico de nível III com bolsa FAPESP. Concluiu seu mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Unesp, Campus de Jaboticabal em julho de 2006. Em agosto do mesmo ano ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, Unesp, Campus de Jaboticabal – SP.

O que fez uma bióloga em um curso de pós-graduação em Agronomia? Durante todos esses anos ouvi essa pergunta vinda das mais diversas fontes. No início, eu não sabia ao certo como explicar o que havia me motivado a isso.

Assim, estou decidida a tentar responder mais uma vez...

Após me formar em Ciências Biológicas, sentia a necessidade de ter contato com algo mais aplicado, ou seja, que fosse voltado mais para o lado “prático”, o que eu sabia que encontraria na área de Agronomia e encontrei!

O que eu aprendi?

Com os agrônomos descobri que o idealismo pode ser bom, mas não resolve “os problemas do mundo” e que pensar em produção é sim fundamental. Mas com os biólogos eu aprendi que sem certa dose de idealismo e até de radicalismo podemos “acabar” com o ambiente.

Com os biólogos aprendi que não há sequer uma espécie que seja mais importante que qualquer outra, mas com os agrônomos aprendi que as espécies de interesse comercial são realmente importantes para a humanidade.

Apesar de ter tornado meu caminho muito mais difícil, posso dizer finalmente que encontrei o que eu tanto buscava: O conhecimento do caminho do meio!

Mariangela Alves Gutierrez

À minha filha Ana Luisa Alves Gutierrez

Dedico

*Aos meus pais José Carlos Alves e Maria
Aparecida Debortoli Alves e aos meus irmãos
José Carlos Alves Junior e Carlos Roberto
Alves*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta pela orientação e incentivo.

Aos funcionários e docentes do Departamento de Tecnologia pela disponibilização da infraestrutura e pelo apoio dispensados à realização dos trabalhos.

À Maria Andréia Nunes, amiga de todas as horas, pelas dicas e “puxões de orelha”.

Ao Sr. José Carlos Alves pelo fornecimento da área para instalação do experimento e pelo esforço incansável para que tudo desse certo.

Aos meus pais, por me ajudarem nas avaliações experimentais e por estarem comigo na madrugada coletando os dados de temperatura e umidade.

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação por serem tão pacientes e solícitos, apesar de toda a sobrecarga.

À Profa. Dra. Elenice de Cássia Conforto, do Ibilce, pelo apoio e fornecimento de equipamento.

Ao Flávio Henrique Gutierrez Nogueira por me ajudar no desbaste das plantas e principalmente, por me ensinar a ser mais forte.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Às pessoas especiais que torceram por mim, mesmo à distância.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Aspectos gerais da cultura do milho.....	
2.2. Implicações do espaçamento entre linhas na cultura do milho.....	5
2.3. Efeitos da redução do espaçamento entre linhas sobre rendimento de grãos.....	6
2.4. Limitações e perspectivas da utilização de espaçamentos entre linhas reduzidos.....	8
2.5. Exigências climáticas da cultura do milho.....	9
2.6. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), índice de área foliar e produção vegetal.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Local do experimento.....	12
3.2. Instalação e condução do experimento.....	12
3.3. Avaliações dos componentes microclimáticos.....	14
3.4. Determinação das atividades enzimáticas no solo.....	15
3.5. Avaliações agronômicas.....	17
3.6. Análises estatísticas.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Comportamento nictemeral das temperaturas do ar e do solo e variações na umidade do ar.....	20
4.2. Variações dos componentes microclimáticos em função do espaçamento entre linhas.....	24
4.3. Atividades enzimáticas no solo sob plantas submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas.....	29
4.4. Efeitos das modificações nos espaçamentos entre linhas	31

na área foliar e relações entre RFA, IAF e altura das plantas.....	
4.5. Componentes agronômicos.....	37
5. CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
7. APÊNDICE.....	64

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Resultados da análise química do solo (0-20 cm) utilizado no experimento de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....	12
Tabela 2. Distribuição espacial de plantas de milho correspondente à população de cada tratamento no experimento de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....	13

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Variação nictemeral da temperatura do ar a 1 m da superfície do solo em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....	20
Figura 2. Variação nictemeral da temperatura do solo a 5 cm de profundidade em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....	21
Figura 3. Variação da umidade relativa do ar entre 9 e 18 horas a 1m da superfície do solo em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....	23
Figura 4. Variação das temperaturas máximas do ar e do solo em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....	24
Figura 5. Variação das temperaturas mínimas do ar e do solo em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....	26
Figura 6. Variação das umidades máximas e mínimas do ar em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra	27

2007/2008.....

Figura 7. Variação da umidade média do solo em função dos espaçamentos entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....

27

Figura 8. Variação do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A) em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.....

28

Figura 9. Atividade da urease em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....

30

Figura 10. Atividade da fosfatase em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidade de plantas. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....

30

Figura 11. Atividade da desidrogenase em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....

31

Figura 12. Área foliar das plantas de milhos submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.....

32

Figura 13. Área foliar das plantas de milhos submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às

32

densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.....

Figura 14. Variação do IAF das plantas de milho em função dos diferentes espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008..... 34

Figura 15. Variação da altura das plantas correspondentes aos diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais em função do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A). Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008..... 35

Figura 16. Variação da altura das plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais em função do índice de área foliar. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008..... 36

Figura 17. Variação do índice de área foliar em função do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A) submetido a diferentes espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008. 37

Figura 18. Estatura de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008..... 39

Figura 19. Altura de inserção da primeira espiga de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008..... 40

Figura 20. Diâmetro do colmo de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.....	40
Figura 21. Diâmetro das espigas de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.....	41
Figura 22. Número de espigas por planta em milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível-SP. Safra 2007/2008.....	42
Figura 23. Número de grãos por fileira em milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível-SP. Safra 2007/2008.....	43
Figura 24. Número de grãos por espiga de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível-SP. Safra 2007/2008.....	43
Figura 25. Massa de mil grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível-SP. Safra 2007/2008.....	44
Figura 26. Massa seca de folhas, caules e grãos de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e	45

160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.....

Figura 27. Índice de colheita de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 46

Figura 28. Concentração de nitrogênio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 47

Figura 29. Concentração de potássio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente..... 48

Figura 30. Concentração de fósforo em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 48

Figura 31. Concentração de magnésio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 49

Figura 32. Concentração de cálcio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 50

- Figura 33.** Concentração de enxofre em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 50
- Figura 34.** Concentração de cobre em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 51
- Figura 35.** Concentração de ferro em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 52
- Figura 36.** Concentração de manganês em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 52
- Figura 37.** Concentração de zinco em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP..... 53

MICROCLIMA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES NA CULTURA DO MILHO

RESUMO – Objetivou-se avaliar a influência do espaçamento entre linhas e da densidade populacional sobre componentes microclimáticos e características agronômicas da cultura do milho. O experimento foi conduzido na safra 2007/2008, em condições de campo, em Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, A moderado, em Monte Aprazível, SP. O delineamento experimental utilizado foi o DBC, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram dos espaçamentos entre linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm, correspondentes às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas/ha. As variáveis microclimáticas avaliadas foram: temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), atividades enzimáticas microbianas do solo (urease, fosfatase e desidrogenase). As variáveis agronômicas avaliadas foram: estatura de plantas, altura de inserção da primeira espiga, número de espigas por planta, diâmetro do colmo, acamamento e quebramento de plantas, nº de grãos na primeira espiga, massa de grãos na primeira espiga, massa de mil grãos, índice de colheita, massa seca de folhas, caules e grãos, concentração de macronutrientes e micronutrientes em folhas, caules e grãos. Com a redução do espaçamento entre linhas, de 160 a 40 cm, houve aumento da umidade do ar e do solo, da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, do índice de área foliar, da atividade as urease no solo, da altura das plantas, da altura de inserção da primeira espiga e diminuição de diâmetro do colmo, do número de grãos por fileira, do número de grãos por espiga, da massa de mil grãos, da temperatura máxima do ar e do solo, da área foliar média e da área foliar total da planta e da massa seca de folhas e de grãos por planta. Com o aumento do espaçamento entre linhas de 40-100 cm houve aumento da temperatura mínima do ar. Com o aumento do espaçamento de 100-160 cm houve diminuição da temperatura mínima do ar. A redução no espaçamento entre linhas não influenciou as atividades da fosfatase e da desidrogenase no solo, o número de espigas por planta, o índice de

colheita e a massa seca do caule. A estatura das plantas aumentou com o incremento da radiação fotossinteticamente ativa e do IAF.

Palavras-chave: *Zea mays*, distribuição de plantas, temperatura, umidade, radiação fotossinteticamente ativa.

MICROCLIMA AND AGRONOMIC TRAITS IN DIFFERENT ROW SPACING AND POPULATION IN CORN

SUMMARY - The study aimed to evaluate the influence of row spacing and plant population on climatic components and agronomic variables of maize. The experiment was carried out in the agricultural year of 2007/2008 crop, under field conditions in a typical Oxisol, medium texture, moderate, in Monte Aprazível, SP. The experimental design was a complete randomized block, with seven treatments (row spacing) and four replications, totaling 28 experimental units. The following microenvironmental variables were evaluated: air and soil temperature, air and soil humidity, PHAR, soil microbial enzymatic activities (urease, phosphatase and dehydrogenase). The following Agronomic variables were evaluated: plant height, first ear height, number of ear per plant, stem diameter, lodging and breaking of plants, number of grains in the first spike, grain weight in the first spike, mass of thousand grain, yield index, dry mass of leaves, stems and grains, micronutrients and macronutrients in leaves, stems and grains. With the reduction in spacing, from 160 to 40 cm, observed an increase of air and soil humidity, intercepted PHAR, the leaf area index, the urease activity in soil, plant height, height insertion of the first spike and decreased stem diameter, number of kernels per row, the number of grains per spike, thousand grain mass, the maximum air and soil temperature, the average leaf area and leaf area plant and dry mass of leaves and seeds per plant. With the increased spacing of 40-100 cm we observed increase in minimum air temperature. With the increased spacing of 100-160 cm decreased the minimum air temperature. The reduction in spacing did not influence the activities of phosphatase and dehydrogenase in the soil, the number of spikes per plant, harvest index and stem dry mass. The plant height increased with increasing PAR and LAI.

Keywords: *Zea mays*, distribution of plants, temperature, humidity, PHAR.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho é tradicionalmente implantada no Brasil com espaçamentos entre linhas compreendidos entre 80 a 100 cm, o que possibilita um adequado funcionamento dos equipamentos tradicionais para a semeadura, tratos culturais e colheita (SANGOI, SILVA e ARGENTA, 2004). Entretanto, vários trabalhos têm objetivado avaliar o comportamento de plantas de milho em condições de espaçamento reduzido (BALBINOT e FLECK, 2005; BERNARDON et al., 2008; DOURADO NETO e PALHARES, 2003; PAES e ZITO, 2006; PEREIRA et al., 2008; SILVA, ARGENTA e REZERA, 1999; SILVA et al., 2006). Isto porque, segundo FLESCH e VIEIRA (1999), o melhoramento tem procurado obter plantas com diferentes arquiteturas, de menor porte e folhas mais eretas, as quais tornariam possível uma semeadura mais densa, com conseqüente incremento no rendimento de grãos.

A elevação do rendimento de grãos com a redução do espaçamento entre linhas é atribuída à melhor eficiência na interceptação da radiação e ao decréscimo da competição entre plantas de milho por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais eqüidistante das plantas (JOHNSON, HOVERSTAD e GREENWALD, 1998; MOLIN, 2000).

Embora modificações no espaçamento entre linhas venham sendo bastante estudadas, são escassas informações sobre os componentes microclimáticos (temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo e RFA) obtidos nessas condições e esses dados, além de úteis para programas de melhoramento genético de milho, são extremamente importantes na adoção de práticas de manejo menos impactantes (LAUER, 1994; SANGOI, SILVA e ARGENTA, 2004; OLIVEIRA et al., 2005; SHARRAT e MCWILLIAMS, 2005; SANGOI e SILVA, 2006).

Por isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do espaçamento entre linhas e da densidade populacional sobre componentes microclimáticos e características agronômicas da cultura do milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais da cultura do milho

O milho é um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, fornecendo diversos produtos utilizados para a alimentação humana e animal, matérias-primas para a agroindústria, principalmente devido à quantidade de reservas acumuladas nos grãos e produção de etanol.

Trata-se de uma planta anual, robusta, monocotiledônea, pertencente à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogonea, gênero *Zea*, espécie *Zea mays* L. O ciclo vegetativo da planta varia entre 100 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio), período esse compreendido entre a semeadura e a colheita.

O milho é cultivado em diversas regiões do mundo. O maior produtor mundial, responsável por quase 50% da produção mundial, são os Estados Unidos (333 milhões de toneladas) seguidos por China (155 milhões de toneladas), Brasil (54 milhões de toneladas) e Índia (18 milhões de toneladas) (USDA, 2010).

De uma produção mundial, no ano de 2009, de aproximadamente 806 milhões de toneladas (USDA, 2010), cerca de 92 milhões foram comercializados internacionalmente, o que representa 12% da produção total do ano. O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três países: os EUA com 46 milhões de toneladas exportadas, a Argentina com 17 milhões de toneladas, e o Brasil com 8 milhões de toneladas (USDA, 2010). A principal vantagem dos EUA e da Argentina, em relação ao Brasil, é de terem uma logística favorável, que, no caso dos EUA, pode ser decorrente das excelentes estruturas de transporte e da Argentina da proximidade dos portos. O Brasil participa deste mercado, porém, a instabilidade cambial e a deficiência da estrutura de transporte até os portos têm prejudicado o país na presença mais constante no comércio internacional de milho.

Os principais importadores de milho são o Japão, o México, a Comunidade Européia e a Coréia do Sul, com respectivamente 16,1; 10,2; 9,5 e 9,1 milhões de toneladas, em 2009 (USDA, 2010).

No Brasil, que é um grande produtor e exportador de milho, o cereal é cultivado em praticamente todo o território, sendo que 90% da produção concentra-se nas regiões Sul (45%), Sudeste (21%) e Centro-Oeste (25%) (CONAB, 2009). Atualmente, somente cerca de 5% da produção brasileira destina-se ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta, na composição de outros produtos. Isto se deve principalmente à falta de informação sobre o milho e à ausência de uma maior divulgação de suas qualidades nutricionais, bem como aos hábitos alimentares da população brasileira, que privilegia outros grãos.

A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de semeadura. As semeaduras de verão, ou primeira safra, são realizadas na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na Região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. Mais recentemente, tem aumentado a produção obtida na chamada safrinha, ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, semeado extemporaneamente, em janeiro a abril, quase sempre depois da soja precoce, com predomínio na Região Centro-Oeste e nos estados de Paraná e São Paulo. Verifica-se decréscimo na área plantada no período da primeira safra (CONAB, 2009), decorrente da concorrência com a soja, o que tem sido particularmente compensado pelo aumento das semeaduras na safrinha.

A baixa produtividade média nacional de 3.637 kg ha^{-1} não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos produtores voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas computando-se as mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos e finalidades.

2.2. Implicações do espaçamento entre linhas na cultura do milho

A cultura do milho tem sido tradicionalmente implantada no Brasil com espaçamentos entre linhas compreendidos entre 80 e 100 cm. Essa distância

entre fileiras permite o adequado funcionamento dos equipamentos necessários à semeadura, tratos culturais e colheita, independentemente do sistema de produção e do tipo de tração utilizado (SANGOI, SILVA e ARGENTA, 2004).

A redução na distância entre os sulcos de semeadura é uma forma de modificar o arranjo de plantas e interferir na eficácia da utilização dos recursos do meio. O interesse em cultivar o milho utilizando espaçamentos entre linhas reduzidos, de 45-60 cm, tem crescido nos últimos anos. O desenvolvimento de híbridos tolerantes a altas densidades, o aumento no número de herbicidas para o controle seletivo de plantas daninhas em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas são fatores que favorecem o incremento na adoção desta prática cultural (SILVA, 2005).

Mantendo-se a densidade de plantas constante, a redução do espaçamento entre linhas tem várias vantagens potenciais. Uma delas é a de que ela incrementa a distância entre as plantas na linha, propiciando um arranjo mais eqüidistante dos indivíduos na área de cultivo. Esse procedimento reduz a competição entre plantas por água, luz e nutrientes, otimizando a sua utilização (PORTER et al., 1997).

O fechamento mais rápido dos espaços disponíveis pela cultura, advindo da presença de linhas mais próximas, reduz a transmissão da radiação através da comunidade. A menor incidência luminosa nos extratos inferiores do dossel limita o desenvolvimento de plantas daninhas (BALBINOT e FLECK, 2005). Dessa forma, a redução do espaçamento entre linhas atua como um método cultural de controle de invasoras.

O rápido sombreamento da superfície do solo obtido com espaçamentos reduzidos diminui a quantidade de água perdida por evaporação no início do ciclo do milho, o que, em associação à melhor exploração do solo pelo sistema radicular decorrente da distribuição mais eqüidistante das plantas, aumenta a eficiência de absorção e uso da água (SANGOI, SILVA e ARGENTA, 2004). Além disso, a cobertura antecipada da superfície do solo também pode auxiliar a protegê-lo, diminuindo o escoamento superficial e a erosão decorrentes de

precipitações pluviométricas intensas nas primeiras fases do desenvolvimento da lavoura (LAUER, 1994).

A redução do espaçamento entre linhas apresenta três vantagens potenciais no que se refere à mecanização agrícola: a primeira é a maior operacionalidade que espaçamentos de 45 a 50 cm proporcionam para produtores que trabalham com milho e soja, pois as semeadoras não necessitam ser substancialmente alteradas na mudança de um cultivo para outro; a segunda é a melhor distribuição das plântulas no sulco de semeadura, devido à menor velocidade de trabalho dos sistemas distribuidores de sementes; a terceira é a distribuição dos fertilizantes em maior quantidade de metros lineares por hectare, o que melhora o aproveitamento dos nutrientes e reduz a possibilidade de efeitos salinos fitotóxicos à semente (BALBINOT e FLECK, 2005).

2.3. Efeitos da redução do espaçamento entre linhas sobre rendimento de grãos

Os efeitos da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos do milho são bastante heterogêneos. No sul do Brasil, incrementos de 5 a 8% foram reportados por SANGOI et al. (2001) e PEIXOTO (2002) com a redução do espaçamento entre linhas de 80-100 cm para 45-50 cm. Três fatores interferem na resposta à redução do espaçamento em regiões subtropicais: época de semeadura, cultivar e densidade. Os benefícios dessa prática cultural são potencialmente maiores quando o milho é semeado no início da estação de crescimento no sul do Brasil (agosto-outubro). Nas chamadas “semeaduras de cedo”, as temperaturas atmosféricas mais baixas determinam um crescimento mais lento, limitando a expansão foliar e o porte da planta. Esse ideotipo compacto de planta incrementa a eficiência de uso da radiação solar com a redução do espaçamento entre linhas. Da mesma forma, cultivares de ciclo superprecoce e precoce, caracterizados pela presença de folhas curtas e eretas, são mais responsivas à distribuição eqüidistante dos indivíduos propiciadas pela redução do espaçamento (ARGENTA, SILVA E SANGOI, 2001). O efeito positivo da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos se manifesta mais

claramente quando são utilizadas altas densidades populacionais. Nesses casos, os espaçamentos convencionais (80 a 100 cm) fazem com que as plantas fiquem muito próximas entre si no sulco de semeadura (10 a 20 cm), aumentando a competição por água, luz e nutrientes e limitando a disponibilidade de carboidratos à produção de grãos.

No Cerrado brasileiro, os benefícios reportados pela redução do espaçamento entre linhas são percentualmente maiores que no Sul do país, oscilando entre 9% e 41%, dependendo da densidade, cultivar e ano agrícola (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2002). Essa região produz milho em duas épocas: safra (outubro-dezembro) e safrinha (fevereiro-março). Na safra, normalmente não há limitações hídricas e a quantidade de nutrientes fornecida é maior do que na safrinha. Essas regiões de baixa latitude têm dias mais curtos na primavera e verão, em comparação com as áreas produtoras do sul do Brasil. O milho é uma planta C4, altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química. Assim, os incrementos no rendimento de grãos propiciados pela redução do espaçamento entre linhas na safra têm sido atribuídos ao maior aproveitamento da energia radiante disponível, decorrente da distribuição mais equidistante das plantas. Na safrinha, existem maiores restrições hídricas e edáficas no desenvolvimento do milho na região, devido à redução na precipitação pluvial registrada a partir de abril e ao menor investimento em fertilizantes. Nessa época de semeadura, a redução do espaçamento entre linhas pode propiciar aumentos na produtividade principalmente devido à distribuição mais homogênea do sistema radicular, ocupando maior volume de solo, favorecendo o aproveitamento de água e nutrientes e reduzindo o acamamento.

2.4. Limitações e perspectivas da utilização de espaçamentos entre linhas reduzidos

Observa-se que a adoção de espaçamentos entre linhas reduzidos na cultura do milho tem três limitações importantes: a primeira é a de que seu uso nem sempre traz benefícios à produtividade da cultura. Trabalhos desenvolvidos

por MEROTTO JÚNIOR, ALMEIDA e FUCHS (1999) e STRIEDER et al. (2006) demonstraram que o benefício da utilização de linhas mais próximas sobre o rendimento de grãos é altamente dependente do genótipo, da densidade de plantas e das condições ambientais; a segunda é o incremento no custo de produção, devido à necessidade de aquisição de plataformas adaptadas à colheita com linhas mais próximas; a terceira é a maior dificuldade para realização de tratos culturais em pós emergência, tais como adubação nitrogenada de cobertura e controle da lagarta do cartucho.

A recomendação da redução no espaçamento entre linhas deve levar em conta aspectos agrônômicos e econômicos. A disponibilidade de equipamentos adaptados para cultivos com espaçamentos reduzidos tem aumentado nos últimos anos, em função das vantagens apresentadas por esta estratégia de manejo do arranjo de plantas (ARGENTA, SILVA E SANGOI, 2001). Atualmente, existem diversos modelos de plataformas disponíveis no mercado que permitem colher lavouras instaladas com espaçamentos entre linhas de 45 a 50 cm. Contudo, sua aquisição tem um custo elevado a curto prazo que precisa ser confrontado com os benefícios potenciais advindos da adoção desta prática cultural (SILVA, 2005).

2.5. Exigências climáticas da cultura do milho

O milho é uma planta de origem tropical, necessitando de calor e umidade para se desenvolver. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como disponibilidade térmica (calor) e radiação solar (luz) exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho. A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos períodos de desenvolvimento desta cultura, havendo relação linear entre a duração destes períodos e o desenvolvimento da planta (LOZADA e ANGELOCCI, 1999). Essa influência da temperatura do ar sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas deve-se ao efeito da mesma na velocidade das reações químicas e dos processos internos de transporte (PEREIRA et al., 2002).

A cultura do milho, embora seja C4, sofre influência marcante da temperatura do ar tanto diurna como noturna, sendo que esta última tem efeito decisivo no metabolismo e respiração noturna (BRUNINI et al., 2006).

O milho é uma cultura de ampla dispersão geográfica, sendo cultivado desde latitudes de 40°N até a Patagônia. Em vista de sua grande variabilidade genética e dos intensos trabalhos de melhoramento vegetal, o milho é uma cultura que apresenta uma das maiores dinamicidades nos estudos para obtenção de linhagens e mesmo híbridos. Esta variabilidade genética permitiu a substituição das variedades e híbridos de porte alto e ciclo longo por híbridos e variedades de porte baixo e de ciclo até superprecoce considerando-se principalmente o período desde a germinação até o florescimento masculino.

Para REZENDE et al. (2003), os ciclos variam conforme a temperatura. Durante o período de crescimento, quando as temperaturas médias são superiores a 20°C, o ciclo das variedades precoces de produção de grãos varia de 80 a 110 dias, e o das variedades médias, de 110 a 140 dias para a atingir a fase de maturidade fisiológica. Quando as temperaturas médias são inferiores a 20°C, o ciclo da cultura aumenta de 10 a 20 dias para cada 0,5°C de diminuição de temperatura, dependendo da variedade, ressaltando que a 15°C o ciclo da cultura do milho varia de 200 a 300 dias.

2.6. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), índice de área foliar e produção vegetal

A radiação global representa a soma da radiação direta com a radiação difusa, e compreende os comprimentos de onda de 300 a 3000 nm. Antes de interagir com a atmosfera, a radiação solar (ondas curtas) compõe-se de aproximadamente 9% da radiação ultravioleta (UV), 40% da radiação visível e 51% de radiação na taxa do infravermelho próximo (IVP) (ROSENBERG, 1974).

Ao atravessar a atmosfera, a composição da radiação solar muda consideravelmente. A fração UV é quase totalmente absorvida pelo ozônio. A fração IVP também sofre absorção significativa pelos constituintes atmosféricos, principalmente pelo vapor d'água e dióxido de carbono e a fração da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que compreende a faixa dos 400 aos 700 nm, é a que menos sofre influência, sendo menos absorvida pela atmosfera (PEREIRA,

1996). Portanto, é de se esperar que a composição da radiação solar que incide sobre o solo varie tanto ao longo do dia como de um dia para o outro.

A produção final de matéria seca de uma planta depende da quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas e da eficiência com que essas convertem a energia radiante em energia química, através da fotossíntese. Contudo, somente uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas para este processo de conversão. As clorofilas e os carotenóides apresentam picos de absorção de radiação nas faixas do azul (aproximadamente 450 nm) e do vermelho (650 nm) (SALISBURY e ROSS, 1994). Estas faixas de comprimento de onda estão contidas em uma fração da radiação global denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA), genericamente considerada como o fluxo de fótons entre 400 e 700 nm do espectro solar (MCCREE, 1966). Nesta porção do espectro ocorre excitação das moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese, sendo, por isso, denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento das plantas e, indiretamente, pelos efeitos no regime térmico de qualquer sistema terrestre, assim como sobre a evaporação de água pelas superfícies naturais (PEREIRA et al., 2002).

A competição pela radiação solar é resultado do sombreamento das folhas por outras folhas. Quando o IAF é baixo, a eficiência fotossintética de cada folha é alta. Com o aumento do IAF esta eficiência decresce. O decréscimo da eficiência fotossintética de cada folha resulta, em parte, do progressivo aumento do sombreamento mútuo das próprias folhas que pode conduzir, inclusive, a um processo de senescência precoce (BROWN, 1984).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo, no Município de Monte Aprazível, SP (20°46'21"S e 49°42'51"W, 475 m). O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo Aw (Tropical chuvoso com inverno seco).

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, textura média (EMBRAPA, 1999).

3.2. Instalação e condução do experimento

Antes da instalação do experimento, o solo foi amostrado e determinada a sua fertilidade de acordo com RAIJ et al. (1997), a fim de se verificar a necessidade de correção e planejar a adubação (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados da análise química do solo (0-20 cm) utilizado no experimento de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

Prof. cm	P resina mg/dm ³	pH CaCl ₂	M.O. g/dm ³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c /dm ³	SB	CTC	V %
0-20	4	4,5	22	1,3	7	6	25	14	39	36

O solo foi preparado por meio de aração e gradagens, sendo a última gradagem realizada para a incorporação do corretivo. A correção do solo foi feita para a elevação da saturação de bases para 70%, de acordo com recomendações da literatura (RAIJ et al., 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com sete tratamentos (espaçamentos entre linhas/densidades populacionais) e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais.

Para instalação do experimento, foram feitos quatro blocos com sete parcelas de 10 x 10 m cada e área útil de 36m², contendo os espaçamentos entre

linhas de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm. A marcação dos espaçamentos foi feita com o auxílio de réguas de madeira previamente confeccionadas e marcadas e a semeadura foi realizada manualmente no dia 14/12/2007 com duas sementes por cova. O espaçamento entre plantas foi fixado em 20 cm, resultando em populações de aproximadamente 125.000, 83.000, 62.000, 50.000, 41.000, 35.000 e 31.000 plantas, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição espacial de plantas de milho correspondente à população de cada tratamento no experimento de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

Espaçamento entre linhas (cm)	Número de linhas na parcela	Número de linhas na área útil	Distância entre plantas na linha (cm)	Densidade populacional (plantas/ha)
40	25	15	20	125.000
60	16	10	20	83.300
80	12	7	20	62.500
100	10	6	20	50.000
120	8	5	20	41.666
140	7	4	20	35.714
160	6	3	20	31.250

O desbaste foi realizado cortando-se as plantas rente ao solo aos 25 DAE (dias após a emergência) com o objetivo de manter apenas uma planta por cova.

Utilizou-se o híbrido simples de milho (*Zea mays* L.) 30A00 da Agromen, recomendado para plantio em espaçamento reduzido, de arquitetura foliar ereta, com alta tolerância ao tombamento, super precoce e de “stay green” pronunciado, ou seja, um híbrido de características predominantemente de plantas modernas. A população recomendada para o híbrido no verão é de 75.000 plantas/ha.

As adubações de semeadura e de cobertura foram realizadas de acordo com CANTARELLA et al. (1996), com base na análise do solo e na produtividade esperada de 8 a 10 Mg/ha. Para a adubação de semeadura foi empregada a

formulação 8-28-16 com zinco e as adubações de cobertura foram feitas em duas frações com sulfato de amônio e cloreto de potássio.

As plantas foram mantidas em condições ideais de sanidade, fazendo-se o controle de *Spodoptera frugiperda* com o tiofosfato de 0,0-dietil-3,5,6-tricloro-2-piridila (Lorsban: Dow AgroSciences, Indianapolis, Indiana, EUA) e de plantas invasoras manualmente.

3.3. Avaliações dos componentes microclimáticos

No decorrer do período experimental foram avaliadas as variações nictemerais da temperatura do ar e do solo, variação da umidade relativa do ar, Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) e umidade gravimétrica do solo. Essas avaliações foram realizadas no intervalo de tempo compreendido entre 46 e 66 dias após a emergência (de V12 a R1), período mais crítico para a produção do milho, frente a variações climáticas (FORNASIERI FILHO, 1992).

As avaliações nictemerais de temperatura e as avaliações de umidade relativa do ar foram feitas com o auxílio de termohigrômetros digitais (Anexo I), precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Incoterm: Porto Alegre, RS) sendo a leitura dos dados feita de hora em hora. As medições foram feitas por blocos, com intervalo de cinco dias entre um bloco e outro. Como suporte para os termohigrômetros foram fixadas, no meio das entrelinhas, estacas de bambu em posição perpendicular à superfície do solo. Os termohigrômetros foram instalados a 1 m do solo sob cones de EVA brancos que os protegia da insolação direta e de precipitações atmosféricas.

Nas mesmas condições em que foram conduzidas as avaliações de temperatura e umidade do ar, foram feitas as avaliações de temperatura do solo com o auxílio de termômetros de mercúrio (Incoterm: Porto Alegre, RS) inseridos no solo a 5 cm de profundidade.

Para as medições de RFA utilizou-se um IRGA (infra-red gas analyser), modelo LCA-4 (ADC Bioscientific: Inglaterra). Para a avaliação da porcentagem de radiação fotossinteticamente absorvida (RFA-A) foram usados os dados de RFA coletados acima do dossel e ao nível do solo. As medições foram feitas nos quatro blocos sempre entre 10h e 11h, na ausência de nuvens.

A fim de determinar a umidade gravimétrica do solo nas condições de diferentes espaçamentos entrelinhas, amostras de solo foram coletadas na camada de 0-5 cm de profundidade em latas de alumínio de pesos conhecidos, pesadas e transferidas para estufa a 105°C-110°C, onde permaneceram por 24 horas. Após serem retiradas da estufa, as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas para a determinação da umidade, segundo a fórmula: Umidade gravimétrica = $100(a-b) / b$, onde a é o peso da amostra úmida (g) e b é o peso da amostra seca (g) (EMBRAPA, 1997).

3.4. Determinação das atividades enzimáticas no solo

As coletas de amostra para a determinação das atividades enzimáticas foram realizadas no centro das entre linhas, na área útil, ao acaso, 40 dias após a primeira aplicação do adubo nitrogenado.

A atividade da fosfatase ácida foi determinada segundo a metodologia de TABATABAI E BREMMER (1969). Foi pesado 0,2 g de solo seco em tubo de ensaio de 18x180 mm, adicionou-se 4 mL de tampão acetato 0,1 M pH 5,4. Acomodaram-se os tubos em banho-maria a 37°C e após o equilíbrio da temperatura, 5 minutos, adicionou-se, exceto nos tubos controle, 1 mL de solução de p-nitrofenilfosfato 30mM, agitou-se levemente os tubos e incubou-se por 60 minutos em banho-maria a 37°C. Após o tempo de incubação acrescentou-se 1 mL de solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,5 M e 4 mL de solução de hidróxido de sódio 0,5 M, agitou-se vigorosamente em agitador de tubos, filtrou-se em papel de filtro Whatman nº 12. Na sequência, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 405 nm. Através da realização da curva padrão com concentrações crescentes de solução de p-nitrofenol, calculou-se a quantidade de fosfato produzido com a reação enzimática. A atividade da fosfatase foi expressa em µg de p-nitrofenol (PNF) liberado por grama de solo por hora.

A determinação da atividade da urease foi realizada com base na metodologia de MCGARITY e MYERS (1967). Pesou-se 2,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em tubo de 18 x 180 mm, acrescentou-se 0,2 mL de tolueno. O

sistema ficou em repouso por 15 minutos, e recebeu a adição de 2 mL de tampão fosfato 0,1 M pH 6,7 e, como substrato foi utilizado 1mL de solução de uréia a 10%. Após essa fase foi feita a incubação por 3 horas em banho-maria a 37°C. Terminada a incubação, adicionou-se 3mL de água destilada e foi feita a centrifugação a 10.000 rpm por 10 minutos. Recolheu-se, em tubo de ensaio, 0,1 mL do centrifugado com auxílio de pipeta. Adicionou-se 2,1 mL de água destilada, 0,5 mL de fenolato e 0,3 mL de hipoclorito 0,9% de cloro ativo. Os tubos foram agitados vigorosamente, incubando-se novamente agora em temperatura ambiente por 60 minutos e realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 630 nm. Os resultados foram calculados a partir de uma nova curva padrão com solução de sulfato de amônio.

A atividade enzimática da desidrogenase foi obtida através do método de CASIDA (1977). Pesou-se 6,0 g de TFSA em tubo de ensaio 18x180 mm, misturou-se 0,06 g de carbonato de cálcio (CaCO_3). Depois adicionou-se 0,5 mL de TCC 3% (tetrazolium cloreto de sódio, acrescentou-se 1 mL de água destilada para formação de um filme líquido na superfície do solo. Foi feita a agitação leve do tubo com as mãos e incubou-se a 37°C por 24 horas. Após a incubação, o solo foi lavado com 5 mL de metanol e filtrado. Em seguida, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 485 nm. Através da realização da curva padrão com concentrações crescentes de solução de TFF (trifenilformazan), calculou-se a quantidade de TFF produzido com a reação enzimática.

3.5. Avaliações agronômicas

As avaliações agronômicas, exceto área foliar e IAF, foram realizadas no R5, sendo elas:

- Estatura das plantas – determinada pela distância entre a superfície do solo e a extremidade da inflorescência masculina, numa amostragem ao acaso de dez plantas da área útil de cada parcela, com dados expressos em cm.

- Altura de inserção da primeira espiga – determinada pela distância, em centímetros, entre a superfície do solo e da inserção da espiga superior, numa amostragem ao acaso de dez plantas da área útil de cada parcela.
- Número de espigas por planta – foi contado o número de espigas por planta, ao acaso, na área útil de cada parcela.
- Diâmetro do colmo – foi determinado com auxílio de paquímetro, no primeiro entrenó acima do colo da planta, numa amostragem de dez plantas da área útil de cada parcela, com dados expressos em mm.
- Acamamento e quebramento de plantas – foram contadas como acamadas, na área útil das parcelas, as plantas que apresentaram ângulo de inclinação superior a 30° com a vertical e, como quebradas, as plantas que se apresentaram quebradas abaixo da espiga superior, sendo os dados transformados em porcentagem.
- Número de grãos por espiga – foi contado o número de grãos por espiga, numa amostragem de dez primeiras espigas da área útil de cada parcela.
- Massa de grãos por espiga – foi determinada pela pesagem do número total de grãos por espiga, numa amostragem de dez espigas coletadas de plantas de cada parcela, com dados expressos em gramas e corrigidos para 13% de teor de umidade.
- Massa de mil grãos – determinada pela somatória das pesagens de dez subamostras de 100 grãos, tomadas de amostras de grãos de dez espigas de cada parcela, com dados expressos em gramas, corrigidos para 13% de teor de umidade.
- Índice de colheita – relação entre a produção de matéria seca de grãos e a produção de matéria seca total da planta, com dados expressos em porcentagem.
- O índice de área foliar foi avaliado em VT em cinco plantas na área útil de cada unidade experimental. Para sua determinação foram consideradas as medidas das folhas fotossinteticamente ativas, ou seja, das folhas totalmente expandidas. O IAF foi obtido pela razão entre o somatório da área foliar das cinco plantas avaliadas e a superfície do solo por elas ocupada. A área de cada folha foi

obtida pelo produto das medidas do comprimento e da largura máxima, multiplicando-se o valor obtido pelo fator de correção 0,75 conforme metodologia descrita por FRANCIS et al.(1969). A área ocupada por planta foi obtida pela razão entre o número de plantas e a área útil da respectiva unidade experimental.

- Partição de matéria seca - A fim de comparar o acúmulo de matéria seca nos tratamentos correspondentes aos diferentes espaçamentos entrelinhas ao final do experimento foram coletadas vinte plantas por parcela e estas separadas em folhas, caules e grãos. Depois de feita a secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar a 65-70°C e a pesagem para determinação da MS, foi feito o cômputo da matéria seca acumulada nas diferentes partes do vegetal.

- Análises químicas - Após a secagem e pesagem do material, foi feita a moagem do material vegetal do qual foram retiradas sub-amostras para realização das análises químicas. Foram avaliados os teores de macronutrientes e micronutrientes em folhas, caules e grãos segundo metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

3.6. Análises estatísticas

Para as análises estatísticas utilizou-se o programa SAS (SAS INSTITUTE, 2000). Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância pelo teste F. Com o objetivo de estudar a relação do espaçamento entre linhas/densidades populacionais com os parâmetros microclimáticos e destes com algumas características agronômicas realizou-se uma análise de regressão. Os modelos para cada característica foram apresentados quando o ajuste do modelo foi significativo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comportamento nictemeral das temperaturas do ar e do solo e variações na umidade do ar

Analisando-se o comportamento nictemeral das temperaturas do ar e do solo, observou-se que as menores temperaturas foram observadas às seis horas da manhã (Figura 1), similarmente ao descrito por PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS (2002), os quais relataram que a temperatura do ar mínima ocorre por volta do nascer do sol. Já com relação às maiores temperaturas, estas ocorrem entre 12 e 15 horas, em decorrência das maiores temperaturas do solo que ocorreram nesse intervalo (Figura 2).

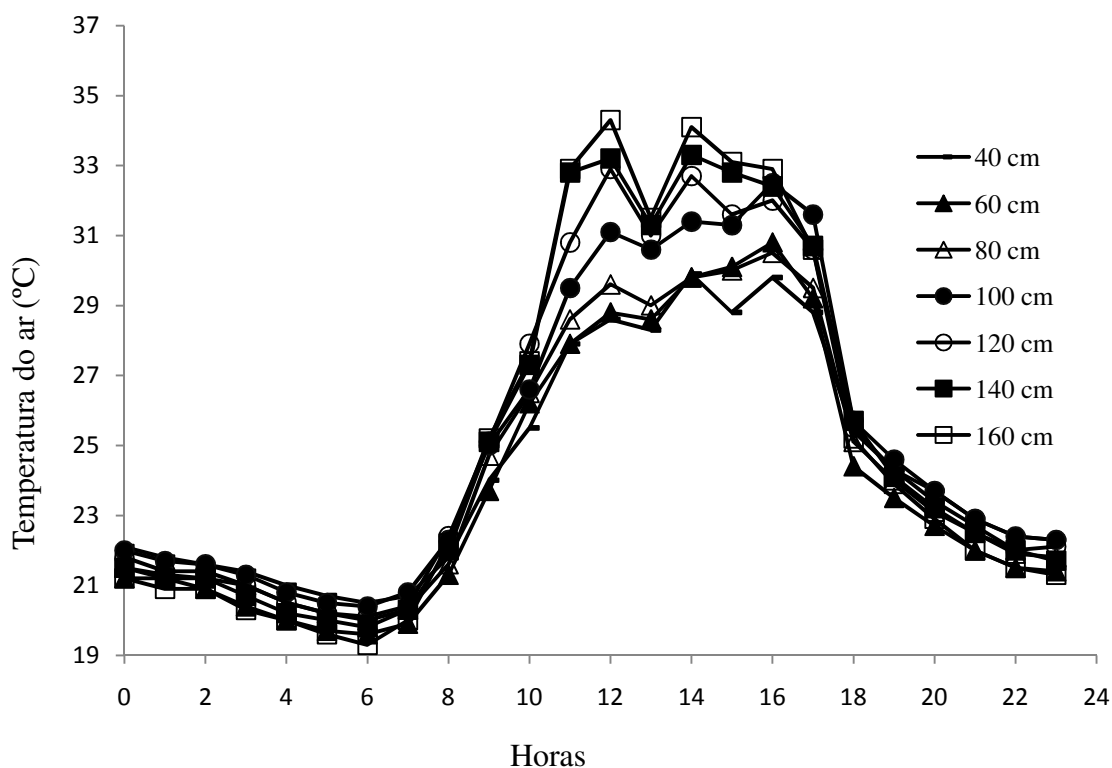


Figura 1. Variação nictemeral da temperatura do ar a 1m da superfície do solo em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

De fato, nas camadas mais superficiais, as maiores temperaturas do solo devem ser observadas nesse intervalo de tempo em função da incidência da radiação solar (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).

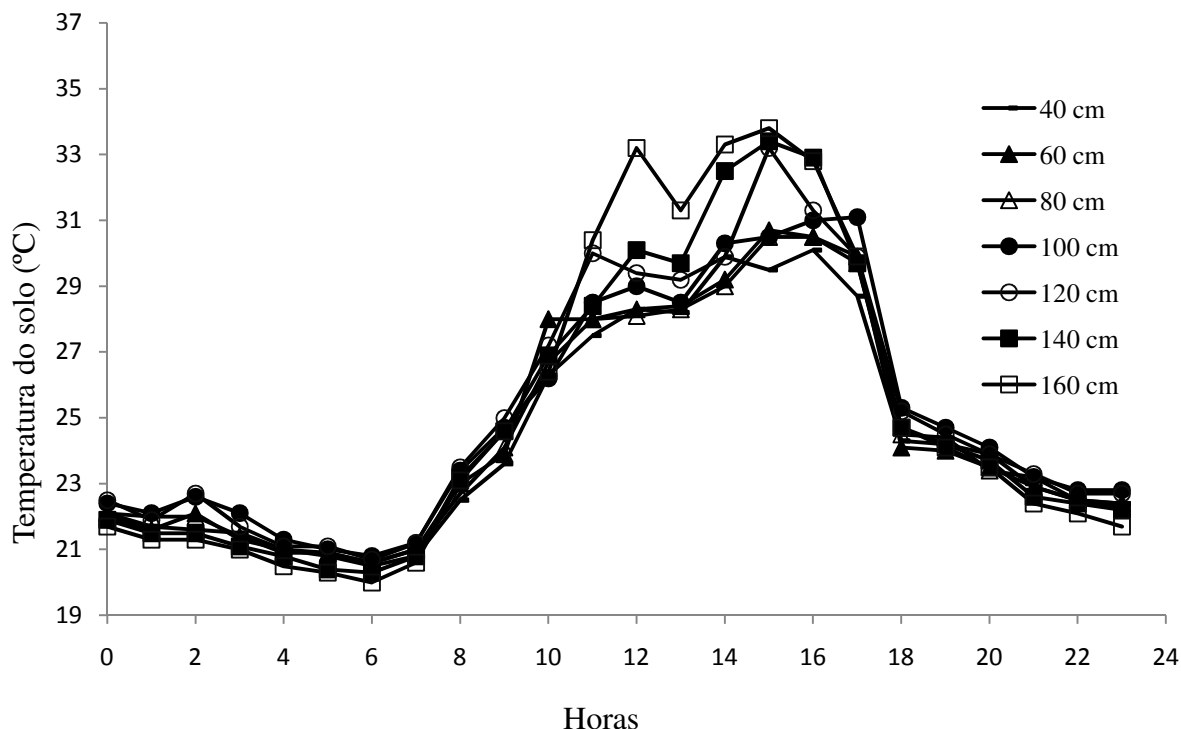


Figura 2. Variação nictemeral da temperatura do solo a 5 cm de profundidade em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

As maiores variações de temperatura do ar e do solo entre os espaçamentos foram verificadas entre 10 e 17 horas (Figuras 3 e 4). As menores divergências dos tratamentos com relação às temperaturas ao final da tarde e à noite provavelmente se devam ao fato de que, se por um lado há um maior aquecimento do solo nos espaçamentos maiores, em função da maior incidência de radiação solar, por outro lado, há uma maior perda de calor durante a noite, em consequência da maior ventilação e da menor temperatura do ar. Isto concorda com o relato de SALTON e MIELNICZUK, (1995) de que a amplitude diária de

variação da temperatura do solo depende do nível de cobertura, da capacidade calorífica do solo e da temperatura do ar.

Segundo PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS (2009), durante o dia, a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior do solo. À noite, o resfriamento da superfície por emissão de radiação terrestre (ondas longas) inverte o sentido do fluxo, que passa a ser do interior do solo para a superfície. O fluxo de calor do solo, além de fatores intrínsecos, como condutividade térmica, calor específico, emissividade e tipo de solo, dependem ainda de fatores externos, como irradiância solar global, temperatura do ar, vento, tipo de cobertura, entre outros. Com relação ao tipo de cobertura, quanto mais desnudos estejam os solos, mais sujeitos a grandes variações térmicas. De modo análogo, no presente experimento observou-se que as maiores amplitudes térmicas foram correspondentes aos maiores espaçamentos. As amplitudes foram de 10,6; 10,8; 11,7; 12,6; 14,2; 14,5; 15°C, para os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm, respectivamente.

As maiores discrepâncias entre os valores de umidade relativa do ar nos diferentes espaçamentos ocorreram também entre 10 e 17 horas (Figura 3). A umidade do ar nos microclimas formados nos diferentes espaçamentos entre linhas são a resultante da evapotranspiração, ou seja, representam a soma da transpiração das plantas e da demanda evaporativa do solo. Após as 16 horas, apenas a umidade relativa do ar no espaçamento de 160 cm ainda se encontrou notadamente menor que as dos demais tratamentos, em virtude da maior exposição à radiação solar e, conseqüentemente, da maior taxa de evaporação. De modo semelhante ao que ocorreu com a temperatura, as maiores variações de umidade do ar foram encontradas nos microclimas formados pelos maiores espaçamentos entre linhas. Isto se deve provavelmente à maior taxa de evaporação de água do solo resultante da maior incidência da radiação solar sobre o mesmo, em conseqüência da menor densidade da cobertura vegetal (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2009).

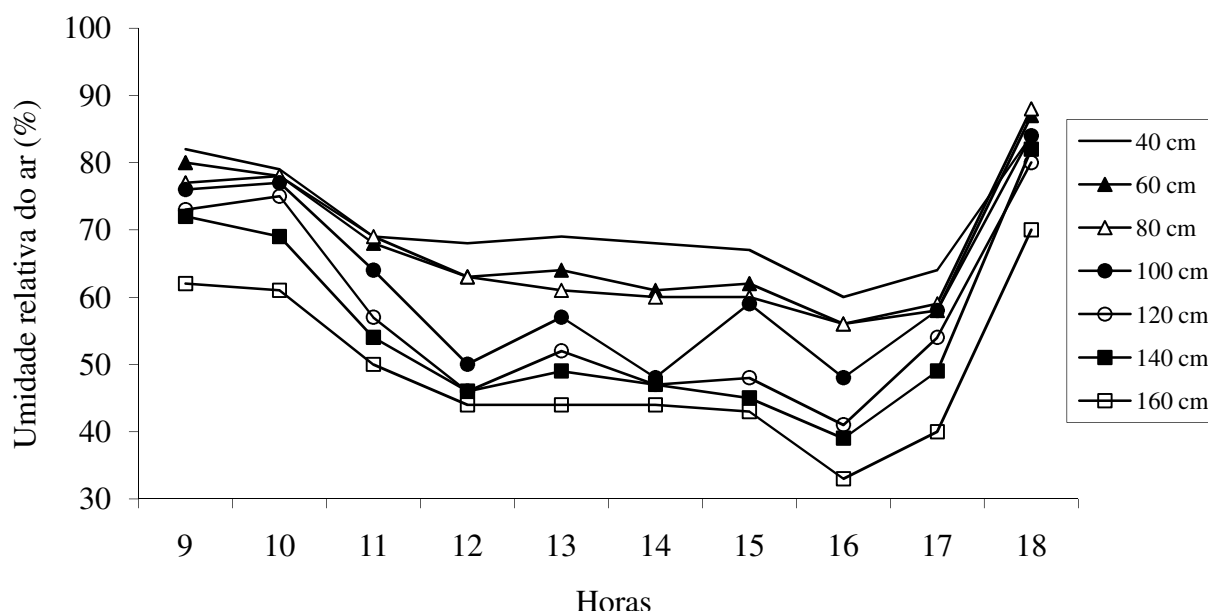


Figura 3. Variação da umidade relativa do ar entre 9 e 18 horas a 1m da superfície do solo em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

4.2 Variações dos componentes microclimáticos em função do espaçamento entre linhas

Embora as temperaturas máximas do solo fossem maiores que as máximas do ar nos menores espaçamentos entre linhas (40, 60 e 80 cm), observou-se que a temperatura do ar aumenta mais acentuadamente com o aumento do espaçamento entre linhas, provavelmente devido a maior convecção, uma vez que os termohigrômetros foram instalados a 1m acima do solo (Figura 4). A partir do espaçamento de 100 cm observou-se inclusive que o ar apresentou temperatura maior que o solo. Esses resultados são reforçados pelos valores de r obtidos para a correlação entre RFA-A (radiação fotossinteticamente absorvida) e as

temperaturas máximas do ar e do solo, que foram de 0,90 e 0,87, respectivamente, mostrando que houve uma correlação ligeiramente maior da RFA com as temperaturas máximas do ar. Isso provavelmente ocorra porque a temperatura do ar varia basicamente em função da radiação solar que atinge a superfície do solo, dependendo, para uma mesma região, da cobertura vegetal (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).

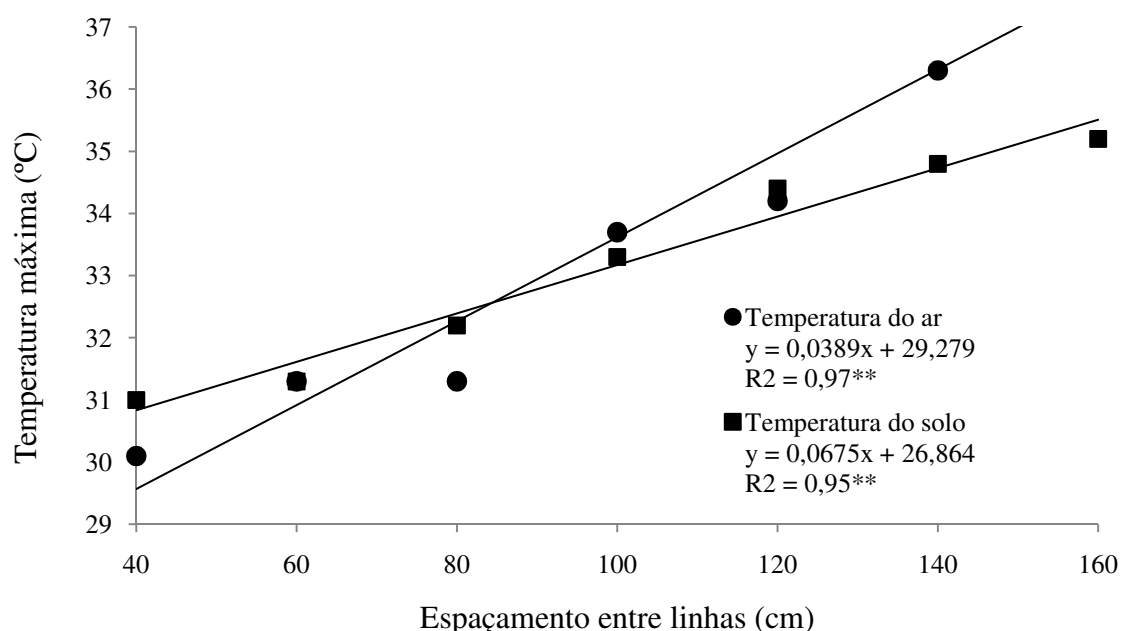


Figura 4. Variação das temperaturas máximas do ar e do solo em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

No caso das temperaturas mínimas nos diferentes espaçamentos entre linhas, observou-se que as temperaturas do ar sempre foram inferiores às do solo (Figura 5). Entretanto, tanto para o ar quanto para o solo, as temperaturas mínimas aumentaram até o espaçamento entre linhas de 100 cm e a partir daí

sofreram um decréscimo acentuado. O aumento da temperatura mínima com o aumento do espaçamento entre linhas de 40 cm para 100 cm provavelmente se deva ao saldo positivo entre a incidência da radiação solar nos maiores espaçamentos e a perda de calor durante o período noturno. No caso dos espaçamentos maiores (120-160 cm) esse saldo se inverteria, ou seja, embora haja uma maior incidência de radiação solar e, portanto, um maior aquecimento nos espaçamentos maiores, também há uma maior perda de calor em consequência da menor densidade de cobertura vegetal e de uma maior convecção.

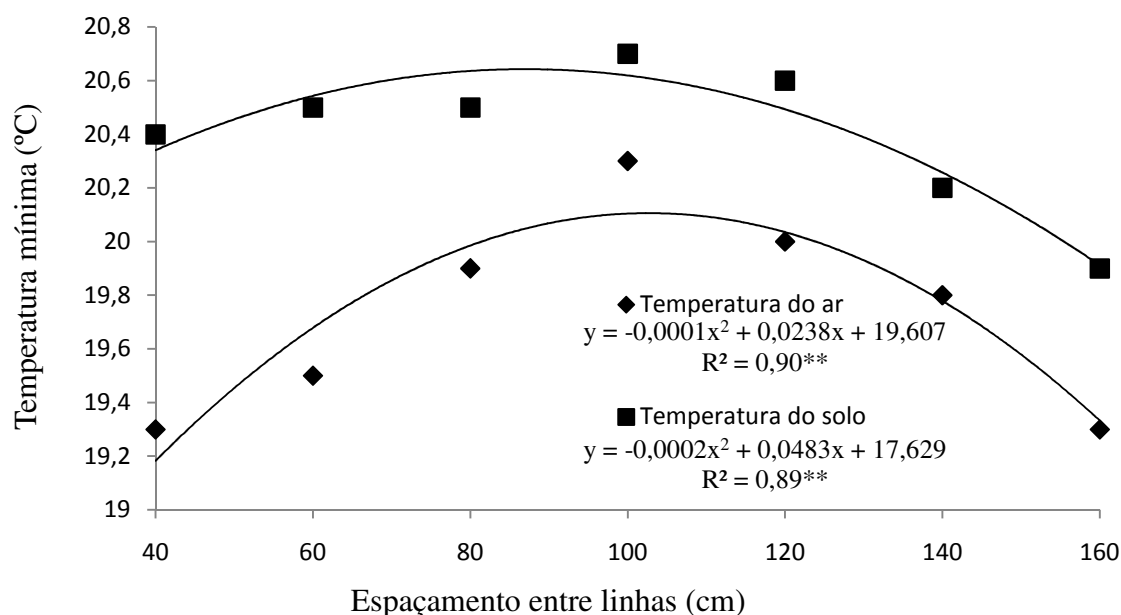


Figura 5. Variação das temperaturas mínimas do ar e do solo em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

A umidade relativa mínima do ar e a umidade gravimétrica do solo diminuíram com o aumento do espaçamento entre linhas, provavelmente devido à maior evaporação de água do solo causada pela incidência de radiação solar em espaçamentos maiores (Figuras 6 e 7). Em outras palavras, a perda de água foi facilitada pela maior exposição da superfície de evaporação e a maior temperatura registrada quando da menor densidade de cobertura vegetal (OLIVEIRA et al., 2005).

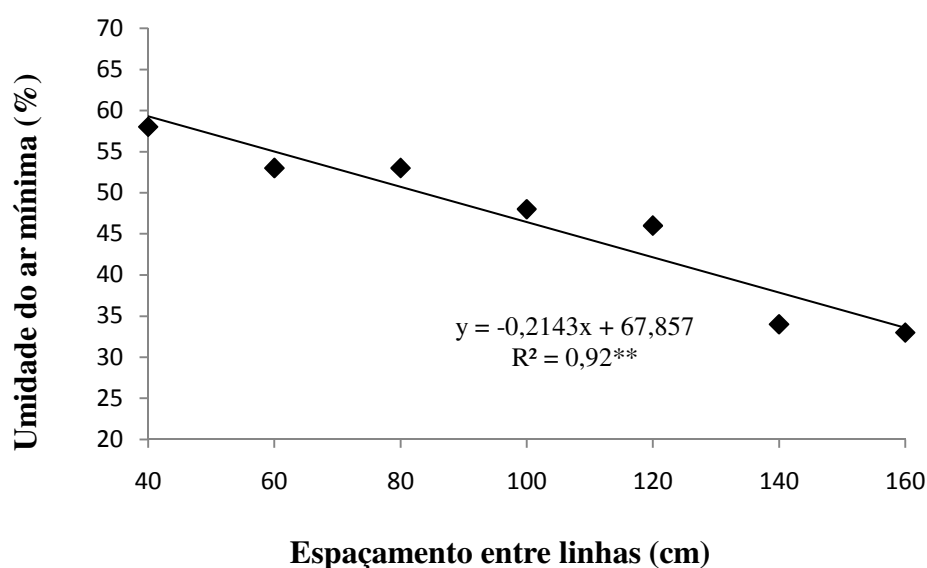


Figura 6. Variação das umidades máximas e mínimas do ar em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

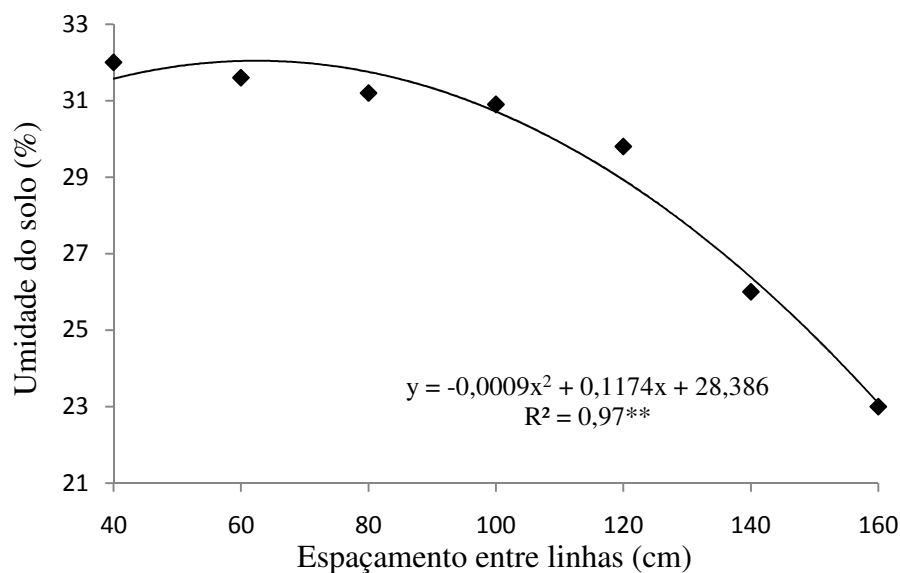


Figura 7. Variação da umidade média do solo em função dos espaçamentos entre linhas e da densidade populacional da cultura do milho. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

O estudo da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) revelou que existe correlação negativa entre o aumento do espaçamento entre linhas e a interceptação da RFA (RFA-A), com valor de r de -0,97. Com o objetivo de demonstrar o comportamento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel, ajustaram-se modelos de regressão em função do espaçamento entre linhas (Figura 8). Pôde-se observar que houve um decréscimo da absorção de RFA com o aumento do espaçamento entre linhas, o que confirma a hipótese de que a redução do espaçamento entre linhas com aumento da densidade populacional aumenta a capacidade do dossel do milho de interceptar melhor a radiação solar disponível em uma determinada área do solo, conforme sugeriram SANGOI et al. (2002) e MARCHÃO, BRASIL e XIMENES (2006).

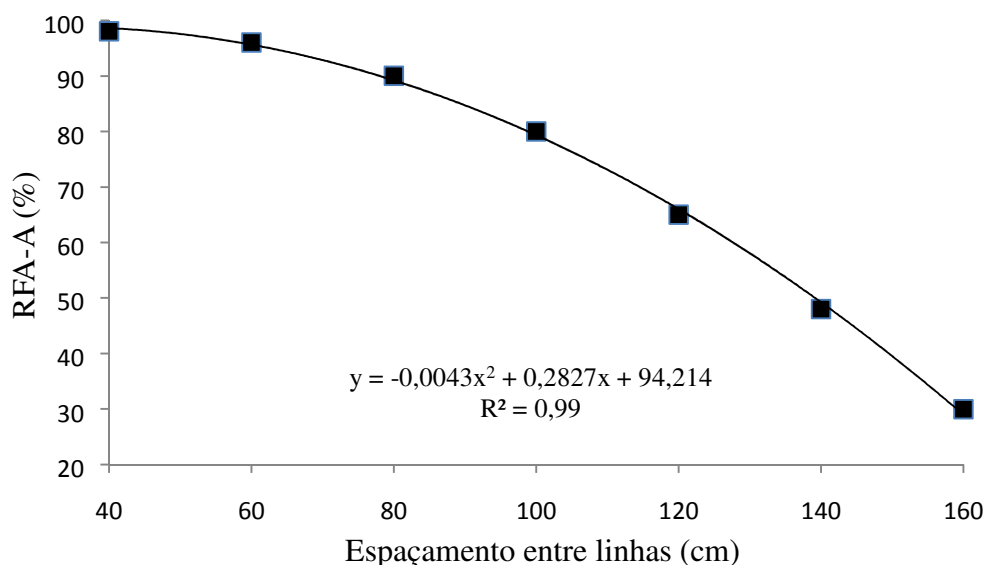


Figura 8. Variação do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A) em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível. Safra 2007/2008.

4.3. Atividades enzimáticas no solo sob plantas submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas

Nas figuras 9, 10 e 11, respectivamente, encontram-se representadas as atividades da urease, da fosfatase e da desidrogenase em condições de diferentes espaçamentos entre linhas da cultura do milho.

Não foram observadas diferenças significativas das atividades da fosfatase e da desidrogenase nas condições criadas pelos diferentes espaçamentos entre linhas. Observou-se uma atividade enzimática baixa, principalmente para a fosfatase segundo preceitos de CONTE, ANGHINONI e RHEINHEIMER (2002), o que pode ser devido à baixa fertilidade do solo anterior à condução do experimento, bem como à ocupação anterior do solo por pastagem.

Por outro lado, verificou-se aumento da atividade da urease com a redução do espaçamento entre linhas (aumento da densidade populacional). Isto, de certa

forma, contrasta com a menção da literatura (LONGO et al., 1993; DENG e TABATABAI, 1996) de que a atividade desta enzima é incrementada pelo aumento da temperatura do solo. Entretanto, é preciso considerar que nos menores espaçamentos, devido às altas densidades de plantas, deve haver também uma maior concentração de raízes, o que pode explicar a maior atividade da urease nessas condições.

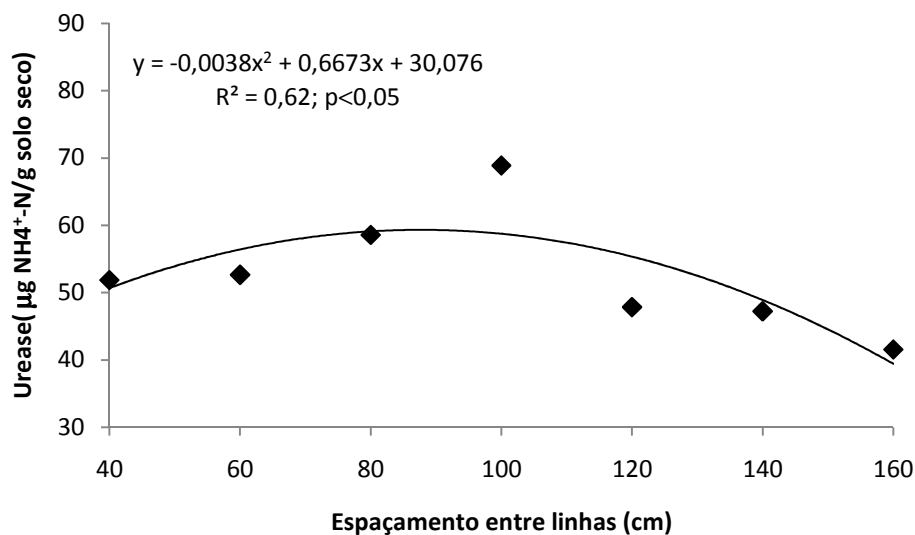


Figura 9. Atividade da urease em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.

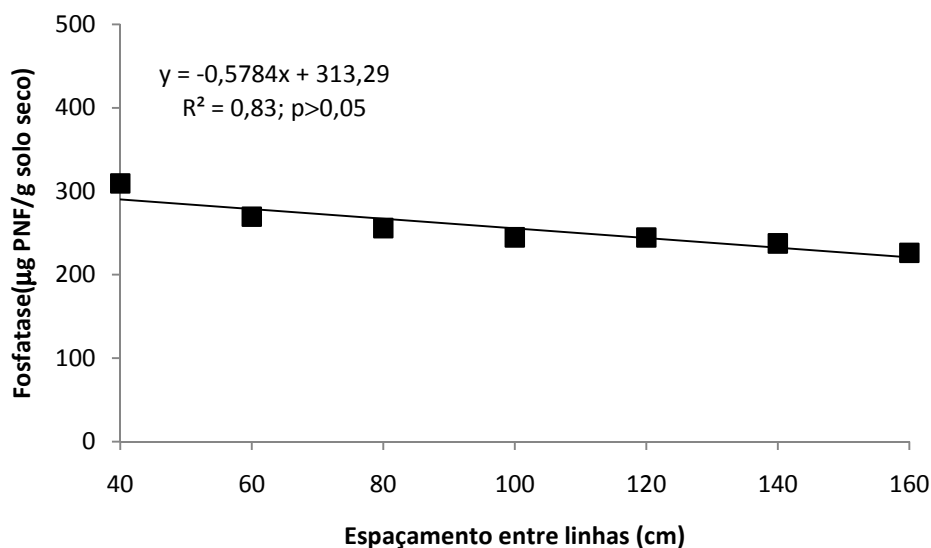


Figura 10. Atividade da fosfatase em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidade de plantas. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.

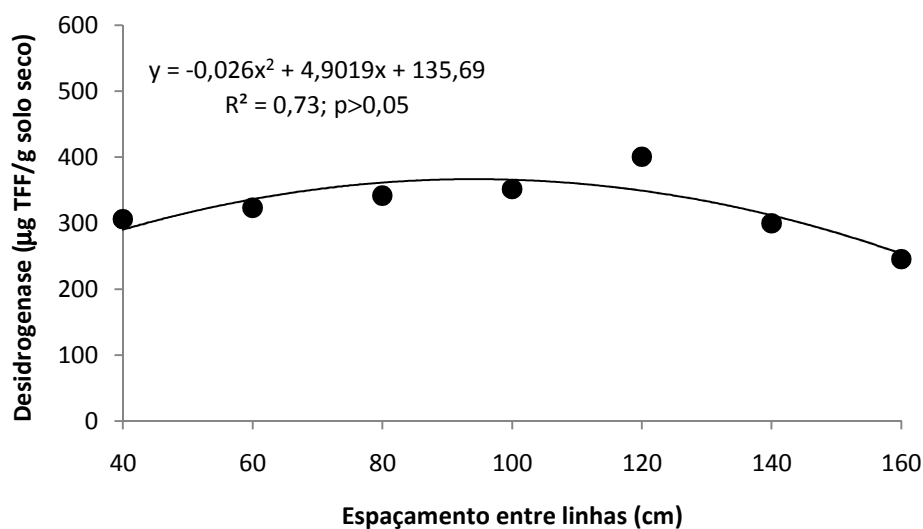


Figura 11. Atividade da desidrogenase em solo sob cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de

125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Safra 2007/2008. Monte Aprazível, SP.

4.4. Efeitos das modificações nos espaçamentos entre linhas na área foliar e relações entre RFA, IAF e altura das plantas

Os dados de área foliar, de área foliar total de uma planta e de índice de área foliar em função do espaçamento entre linhas e da densidade populacional encontram-se representados nas figuras 12, 13 e 14, respectivamente.

Observou-se que a área foliar e a área foliar total aumentaram com o aumento do espaçamento entre linhas.

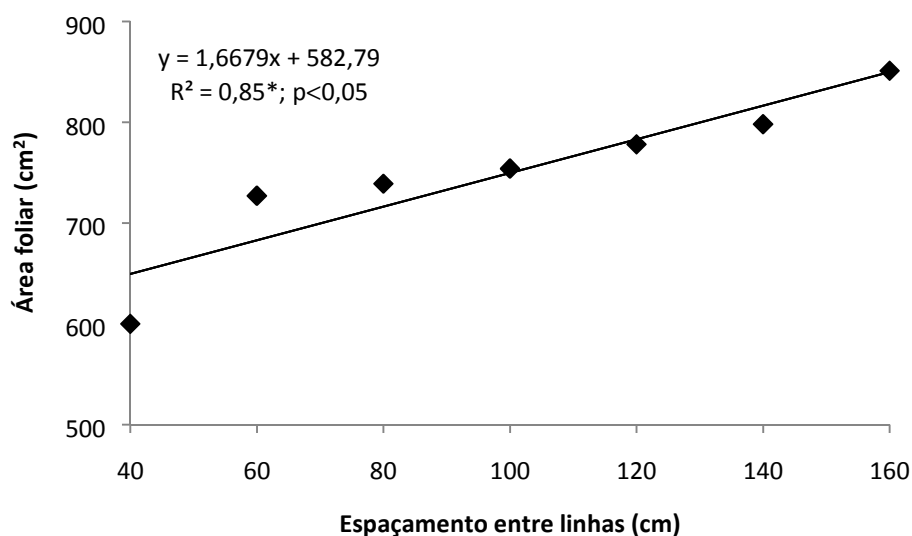


Figura 12. Área foliar das plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

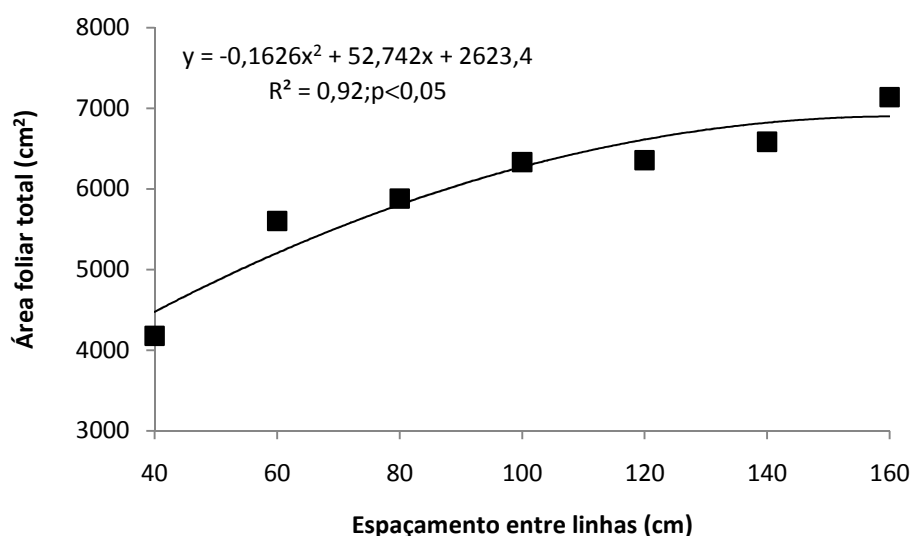


Figura 13. Área foliar total das plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

Na figura 14 registra-se o comportamento de diminuição do IAF em resposta aos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. O comportamento observado para o IAF, principalmente para os espaçamentos maiores de 100 cm, provavelmente se deveu ao aumento significativo do espaçamento entre linhas, que resultou em valores de IAF baixos especialmente a partir de 120 cm, segundo o preceito de LINQUIST et al. (1998) de que, em milho, valores de IAF entre 3 e 4 podem ser suficientes para maximizar a produção de grãos. Esse comportamento difere do mencionado por WESTGATE et al. (1997) de que o espaçamento entre linhas não modifica geralmente o IAF máximo provavelmente devido às diferentes populações de plantas utilizadas nesse experimento. A discordância de resultados pode ser devida à ainda diferença de genótipos utilizados, como foi sugerido por MADONNI et al. (2001).

As modificações observadas na área foliar e no índice de área foliar em resposta aos diferentes espaçamentos entre linhas vão ao encontro do mencionado na literatura de que a redução do espaçamento entre linhas incrementam a interceptação da radiação solar pelo aumento do IAF (MOLIN, 2000), mas alteram a estrutura do dossel, em termos de tamanho, forma e orientação das folhas. Segundo TETHIOKAGHO e GARDNER (1988) e FLÉNET et al. (1996), as modificações no espaçamento entre linhas afetam o IAF, o número e a área individual da folha e, desta forma, a relação entre RFA e IAF, o que de fato observou-se neste trabalho (Figura 17).

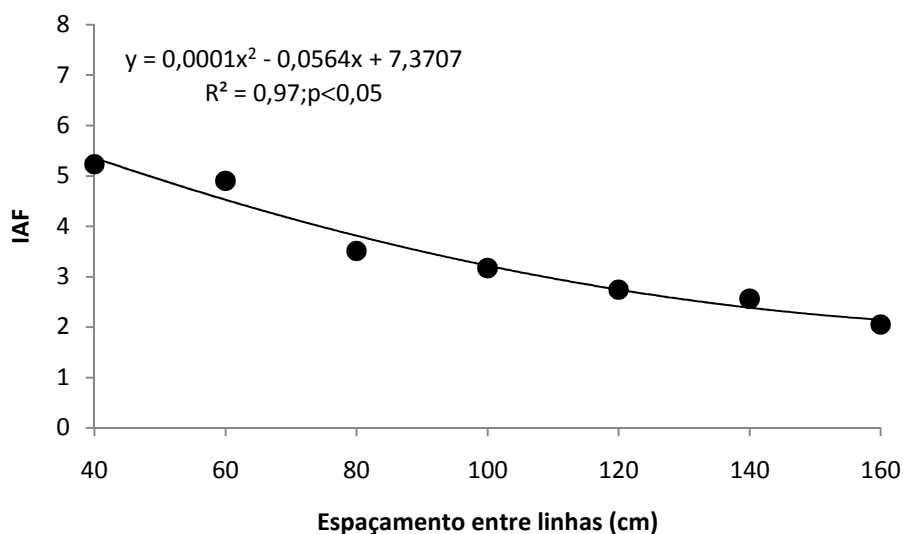


Figura 14. Variação do IAF das plantas de milho em função dos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

A relação entre a porcentagem de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA-A) pelo dossel e a altura das plantas encontra-se representada na

Figura 15. Pôde-se observar que houve um aumento da altura das plantas com o aumento da RFA-A, ou seja, quanto menor a quantidade de luz que atravessou o dossel, maior a altura das plantas. Segundo MARCHÃO, BRASIL e XIMENES (2006), esse resultado pode estar relacionado com o maior crescimento da parte superior da planta, quando há acréscimo na densidade de plantas ou redução do espaçamento entre linhas.

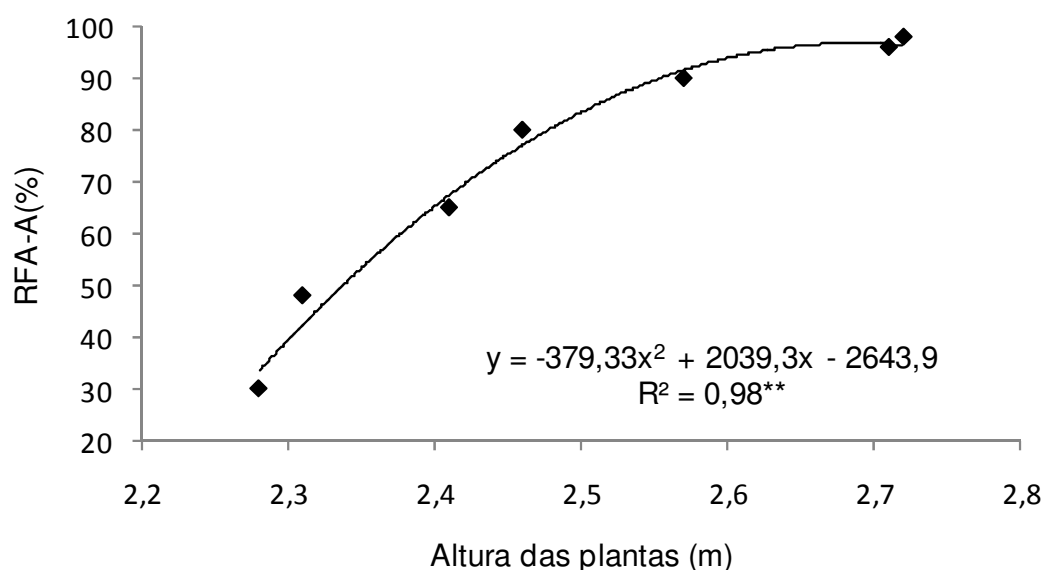


Figura 15. Variação da altura das plantas correspondentes aos diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais em função do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A). Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

Na figura 16 encontra-se ilustrada a relação entre o IAF e a altura de plantas submetidas aos diferentes espaçamentos entre linhas. Observou-se, para o IAF, relação semelhante à observada entre RFA-A e altura de plantas, ou seja, quanto maior a RFA-A, maior a altura das plantas.

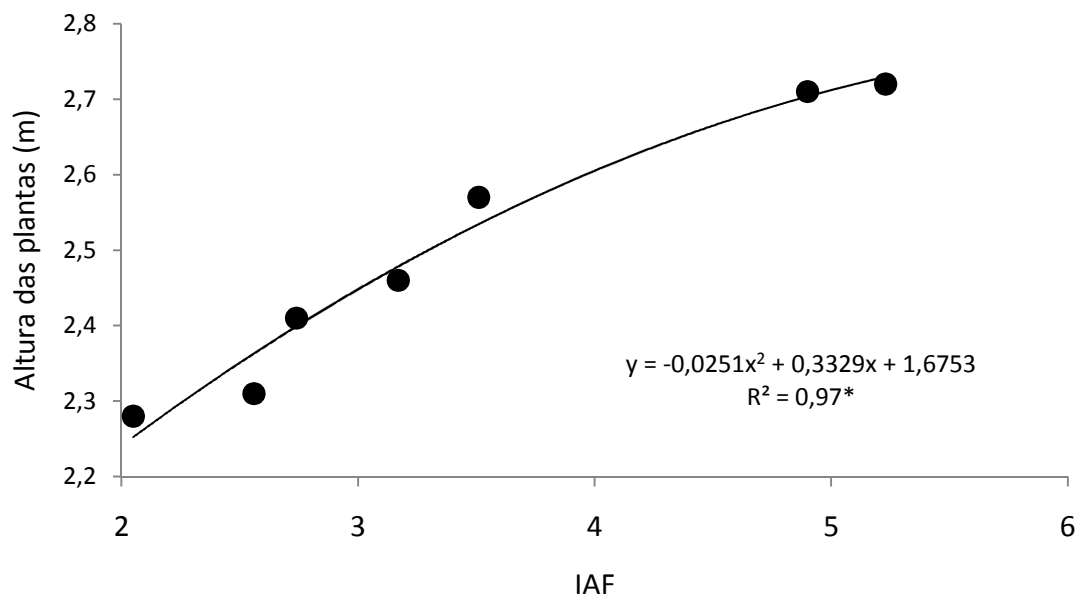


Figura 16. Variação da altura das plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais em função do índice de área foliar. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

A relação entre IAF e RFA-A encontra-se representada na figura 17. Observou-se que houve aumento do IAF com aumento da RFA-A, o que concorda com informações da literatura de que IAF e RFA-A são características bastante inter-relacionadas (TOLLENAAR, MCCULLOUGH e DWYER, 1994; MADONNI e OTEGUI, 1996). Pôde-se notar ainda que houve uma concomitância de aumento de IAF e RFA-A com a diminuição do espaçamento entre linhas, o que reforça a hipótese de que a redução do espaçamento entre linhas aumenta a interceptação de RFA (FLÉNET et al. (1996) pelo aumento do IAF (MOLIN, 2000).

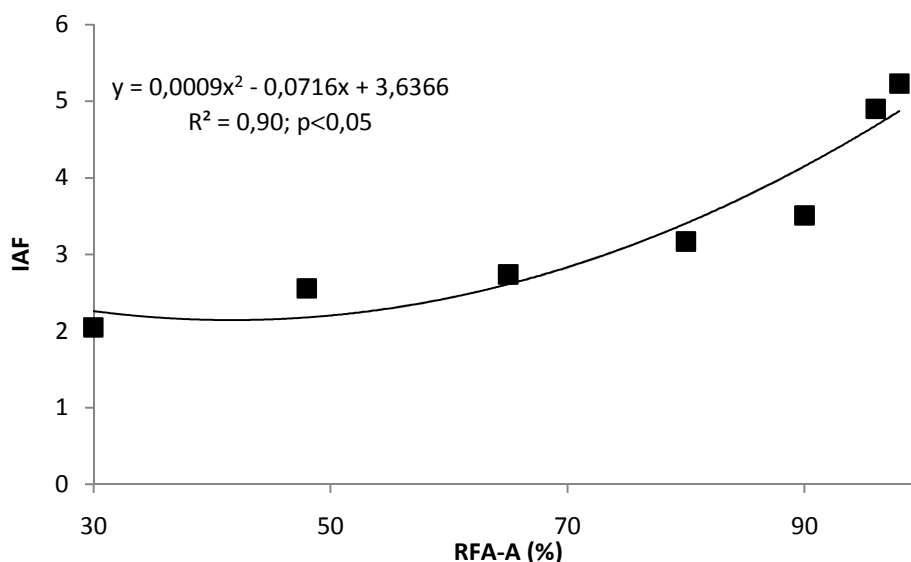


Figura 17. Variação do índice de área foliar em função do percentual de radiação fotossinteticamente ativa absorvido por todo o dossel de milho (RFA-A) submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

4.5. Componentes agronômicos

Os resultados de estatura das plantas, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo e diâmetro da espiga em função do espaçamento entre linhas/densidade populacional encontram-se apresentados nas figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente.

Pôde-se verificar que a estatura da planta (Figura 18) e a altura de inserção da 1ª espiga (Figura 19) aumentaram com a diminuição do espaçamento entre linhas (aumento da densidade populacional). Esses resultados vão ao encontro dos resultados obtidos por PENARIOL et al. (2003) que, avaliando o desempenho agrônomo de cultivares de milho em três espaçamentos entre as linhas (40, 60 e 80 cm) e três densidades de semeadura (40, 60 e 80 mil plantas/ha) observaram incremento da estatura das plantas e na altura de inserção da 1ª espiga com a

redução do espaçamento entre linhas. ALVAREZ, PINHO e BORGES (2006), avaliando o comportamento de híbridos de milho de diferentes arquiteturas foliares, submetidos a dois espaçamentos entre linhas (70 e 90 cm) e duas densidades populacionais (55 e 75 mil plantas/ha), em dois anos agrícolas também observaram incremento das duas características com a redução do espaçamento entre linhas.

Por outro lado, MARTINS e COSTA (2003), não verificaram efeito da redução entre linhas de 90 para 45 cm sobre a estatura de plantas e altura de inserção da primeira espiga. Segundo SANGOI et al. (2001) e ARGENTA et al. (2001), a estatura das plantas tanto será maior quanto maior for a população, devido ao efeito combinado da competição intra-específica por luz, com conseqüente estímulo da dominância apical das plantas.

Pôde-se observar incremento do diâmetro do colmo (Figura 20) e da espiga (Figura 21) com o aumento do espaçamento entre linhas (diminuição da densidade populacional). Segundo GROSS, PINHO e BRITO (2006), o aumento da densidade populacional interfere na massa individual das plantas, obtendo-se um decréscimo de matéria seca individual, nomeadamente do colmo, como resultado da competição entre elas pelos recursos do meio. Isto leva a inferir que as plantas tendem a ficar mais suscetíveis ao quebramento e/ou acamamento com o incremento populacional. De acordo com BRUNS e ABBAS (2005), o aumento da densidade populacional, na maioria dos cereais da família Poaceae, resulta na produção de plantas mais altas e com colmos de menor diâmetro e mais suscetíveis ao acamamento e quebramento.

A qualidade do colmo é uma das mais importantes características do milho para a produção em larga escala com colheita mecanizada, podendo ser avaliada pela porcentagem de plantas acamadas e quebradas (MIRANDA et al., 2003). Entretanto, como no presente trabalho, o número de plantas acamadas e quebradas foi muito baixo, não foram apresentados seus dados estatísticos, verificando-se assim que o acamamento e o quebramento de plantas não foram influenciados pelo espaçamento entre linhas. Um dos fatores que podem ter contribuído para isso é o fato do híbrido utilizado apresentar elevado “stay green”,

minimizando a ocorrência de podridões do colmo e das raízes, potenciais causadoras do acamamento e do quebramento.

Resultados semelhantes foram obtidos por BRUNS e ABBAS (2005), que não encontraram diferenças no acamamento e quebramento de plantas de milho, quando submetidas a diferentes densidades populacionais.

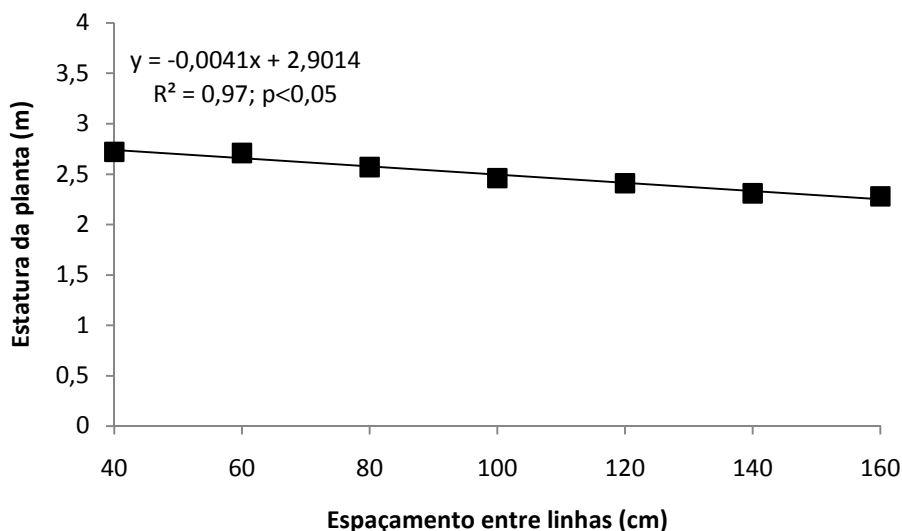


Figura 18. Estatura de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

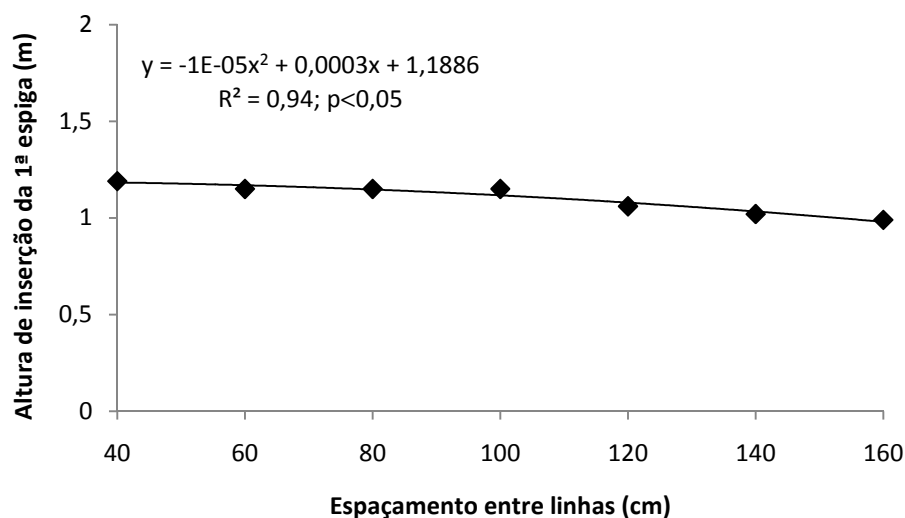


Figura 19. Altura de inserção da primeira espiga de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

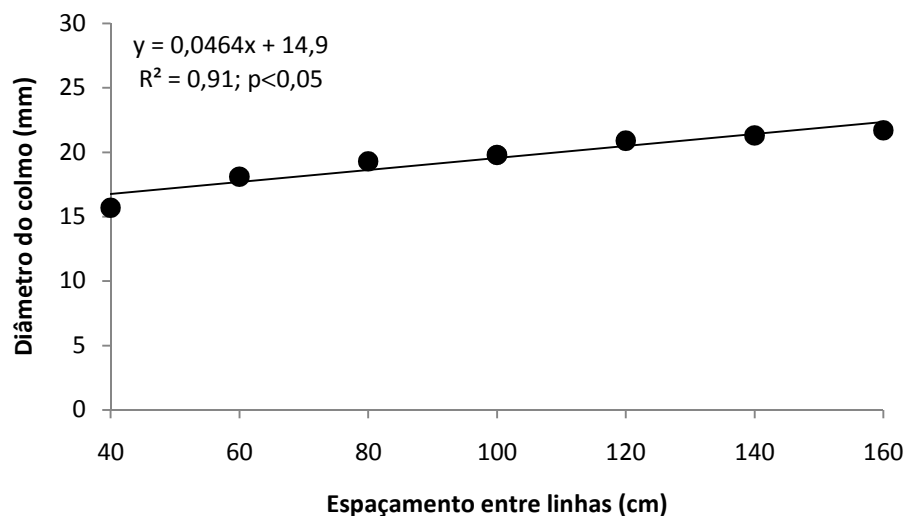


Figura 20. Diâmetro do colmo de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

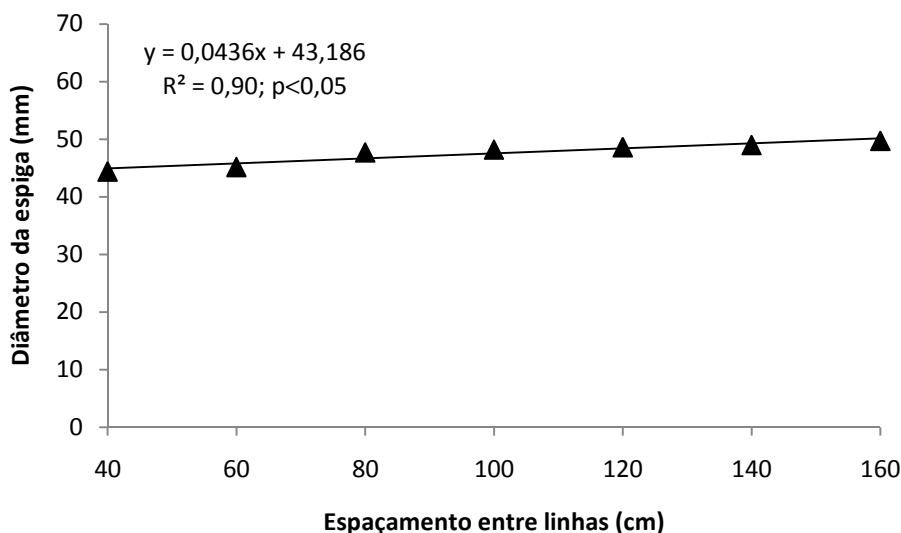


Figura 21. Diâmetro das espigas de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

Nas Figuras 22, 23, 24 e 25 foram apresentadas as variações de número de espigas por planta, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de mil grãos em função dos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais.

Observou-se que não houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade do espaçamento entre linhas/densidade populacional sobre o número de espigas por planta. Por outro lado, com a redução do espaçamento entre linhas (aumento da densidade populacional) verificou-se diminuição do número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e da massa de mil grãos. PENARIOL et al. (2003) e AMARAL FILHO et al. (2005) também obtiveram redução do número de grãos por espiga com o aumento da densidade populacional de 40 para 80 mil plantas/ha.

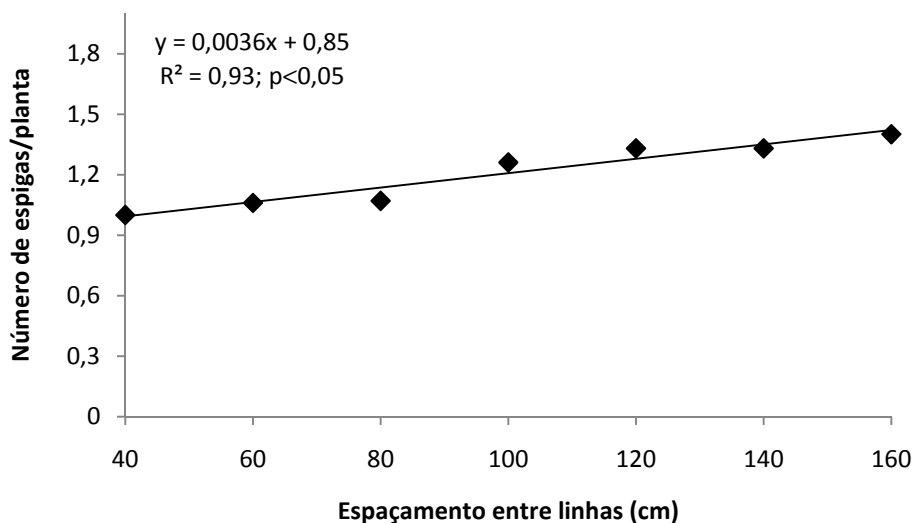


Figura 22. Número de espigas por planta em milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/ densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

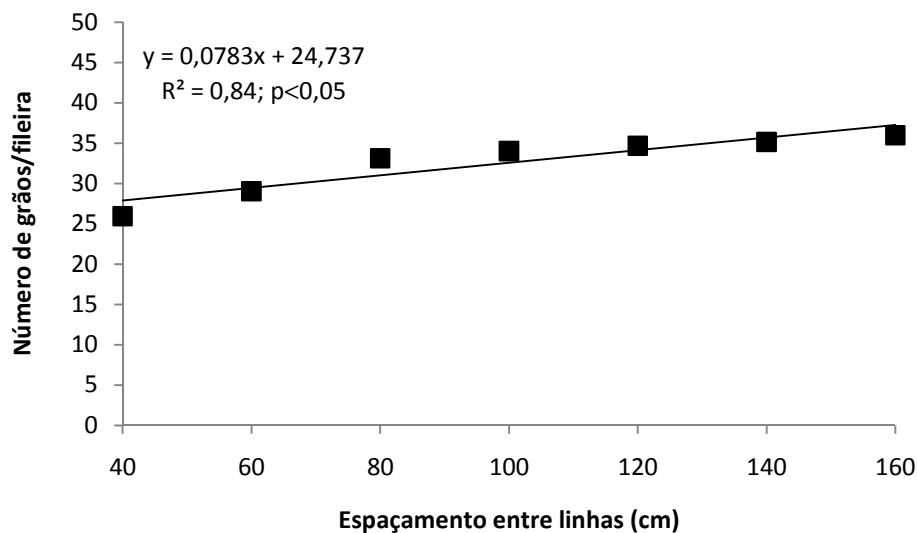


Figura 23. Número de grãos por fileira em milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

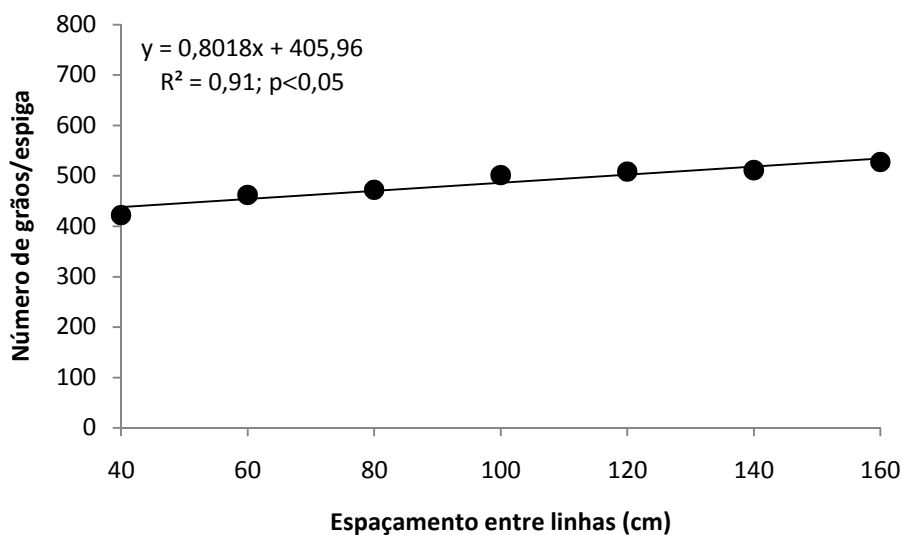


Figura 24. Número de grãos por espiga de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

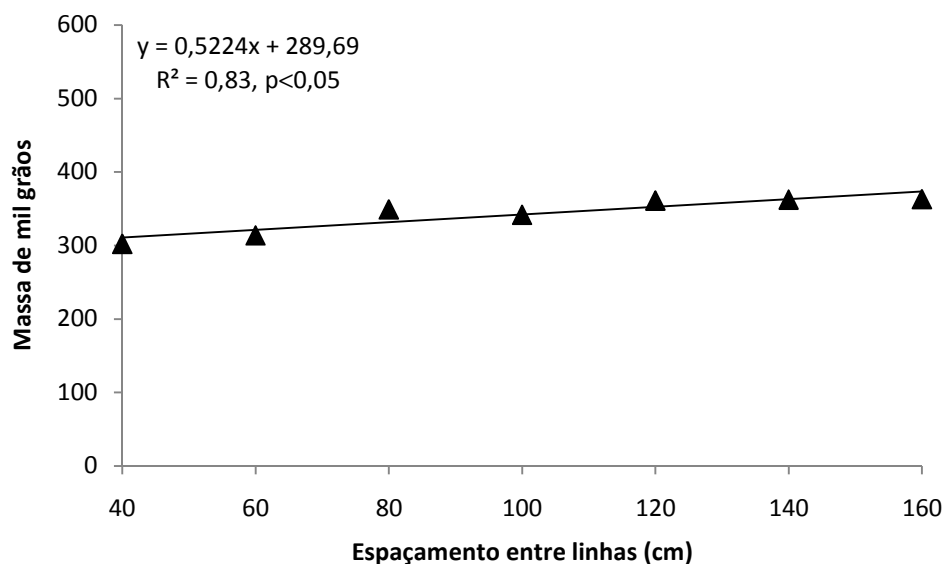


Figura 25. Massa de mil grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

As variações da matéria seca de folhas, caules e grãos de milho em função dos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais foram apresentados na Figura 26. Na Figura 27 estão apresentados os dados de IC em função do espaçamento entre linhas/densidade populacional.

Com o aumento do espaçamento entre linhas verificou-se um aumento da massa seca de folhas e grãos. A massa seca de caules, entretanto, não foi significativamente influenciada (ao nível de 5% de probabilidade) pelas modificações no espaçamento entre linhas. O índice de colheita (IC), que representa a razão entre o rendimento biológico e o rendimento de grãos, é indicativo da eficiência com que a planta converte produção total de fitomassa acima do solo em produção total de parte colhida e comercializada da cultura (MARTINS e COSTA, 2003). De acordo com dados relatados por DOORENBOS e KASSAN (1994), o índice de colheita do milho varia de 0,35 a 0,65, sendo o valor de 0,5 considerado satisfatório. Desta forma, os valores de índice de colheita obtidos para este experimento (Figura 27) foram de satisfatório a bom (50 a 60%). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas (ao nível de 5% de probabilidade) entre os valores de IC correspondentes às plantas dos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Isto vai de encontro ao observado por DEMÉTRIO et al. (2008), que verificaram diminuição dos índices de colheita com o aumento do espaçamento de 40 a 80 cm. Desta forma, para o híbrido utilizado e para as condições em que foi realizado o presente trabalho, pode-se dizer que as alterações no espaçamento entre linhas provavelmente não alteraram a capacidade de remobilização de reservas do colmo para os grãos (TOLLENAAR et al., 1994; FANCELLI, 2000).

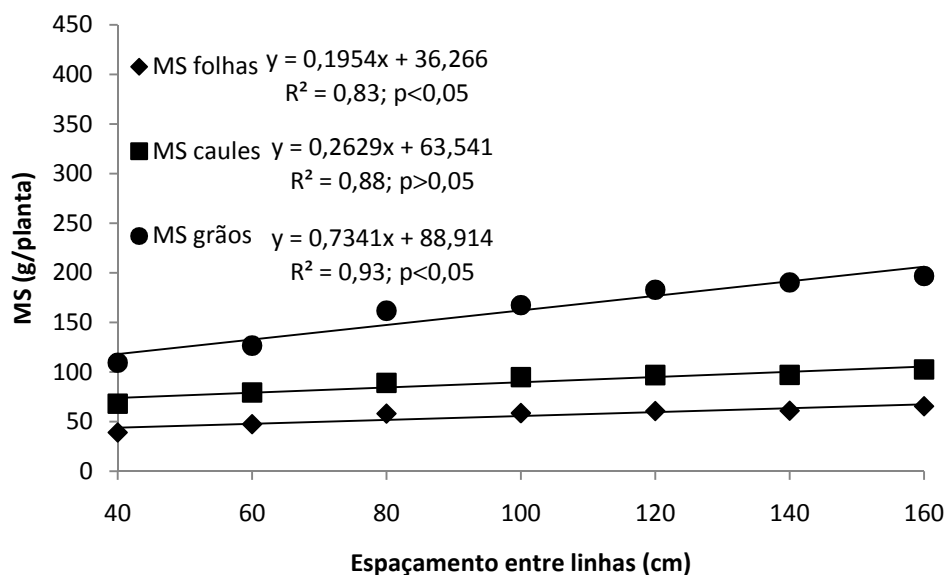


Figura 26. Massa seca de folhas, caules e grãos de plantas de milho submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

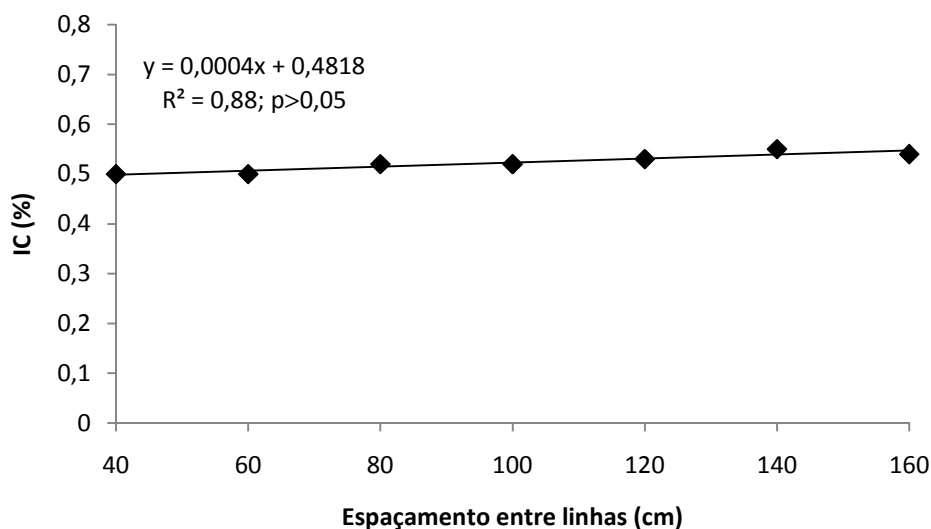


Figura 27. Índice de colheita de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500,

50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

As concentrações de N, K, P, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas, caules e grãos em função dos diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais encontram-se representadas nas figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37, respectivamente.

Nas folhas, não se observaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade quanto a nenhum dos elementos estudados. Nos caules, observaram-se diferenças significativas nas concentrações de N (Figura 28) e Fe (Figura 35), tendo-se verificado um aumento dos teores com o aumento do espaçamento entre linhas/redução da densidade populacional. Nos grãos, as modificações no espaçamento entre linhas/densidade populacional resultou em alterações significativas nos teores de Ca (Figura 32), Cu (Figura 34) e Mn (Figura 36) ao nível de 5% de probabilidade. Observou-se um aumento nos teores desses elementos em função do aumento do espaçamento entre linhas (diminuição da densidade populacional). Segundo ARNON (1975), os fatores que interferem nestas diferenças estão relacionados aos teores de nutrientes no solo e às variáveis abióticas que interferem na absorção destes nutrientes. Além dos fatores abióticos, a distribuição espacial das plantas também influencia significativamente a absorção de nutrientes.

Mesmo nos casos em que não se encontrou significância estatística observou-se uma tendência de aumento do teor dos nutrientes com o aumento do espaçamento entre linhas. Os menores teores observados para espaçamentos reduzidos evidenciam a existência de maior competição intra-específica pela maior densidade de plantas em uma mesma área. A existência de uma possível competição é reforçada pela diminuição da massa seca individual em função da maior densidade de plantas visualizada na Figura 26.

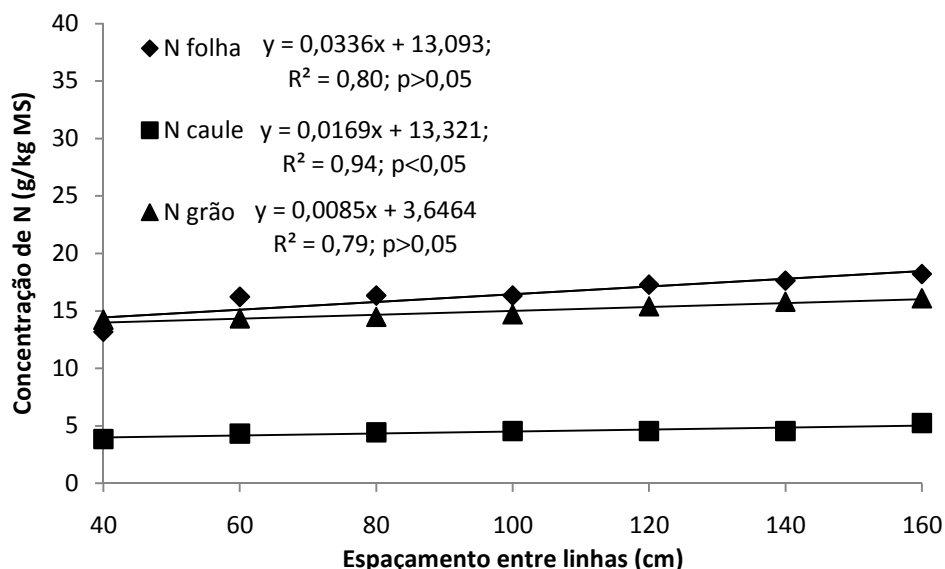


Figura 28. Concentração de nitrogênio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

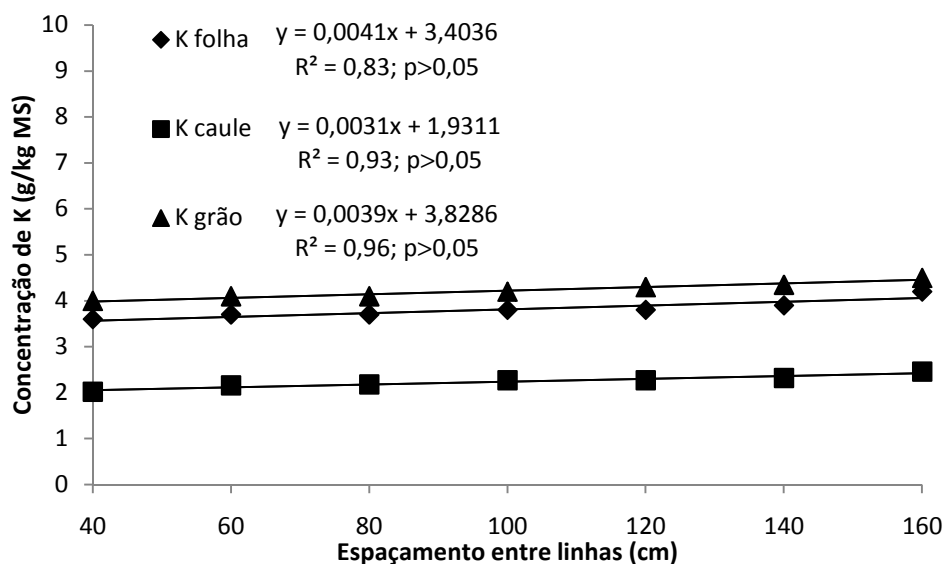


Figura 29. Concentração de potássio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

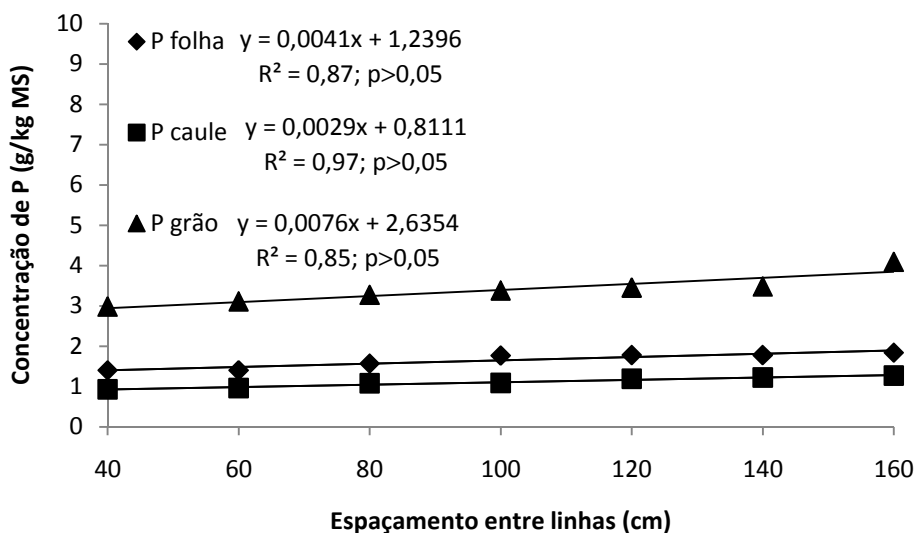


Figura 30. Concentração de fósforo em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

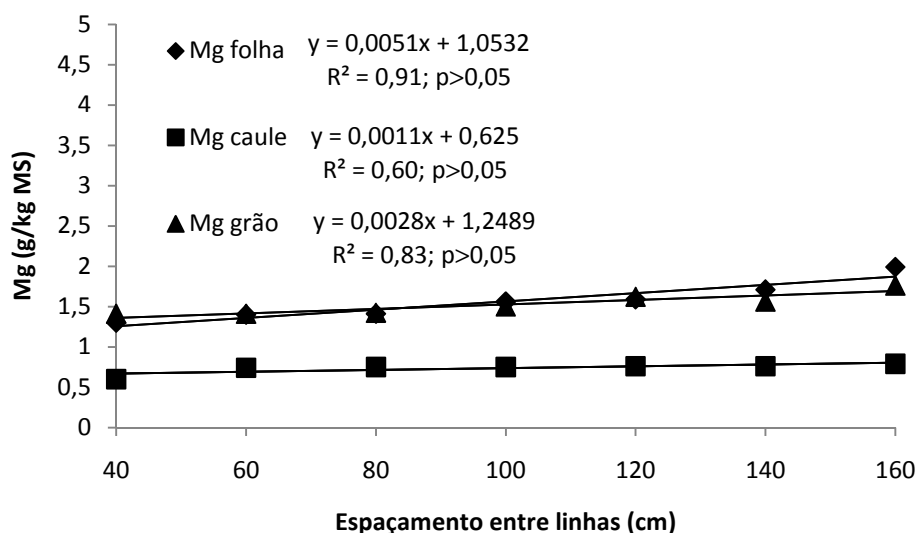


Figura 31. Concentração de magnésio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às

densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

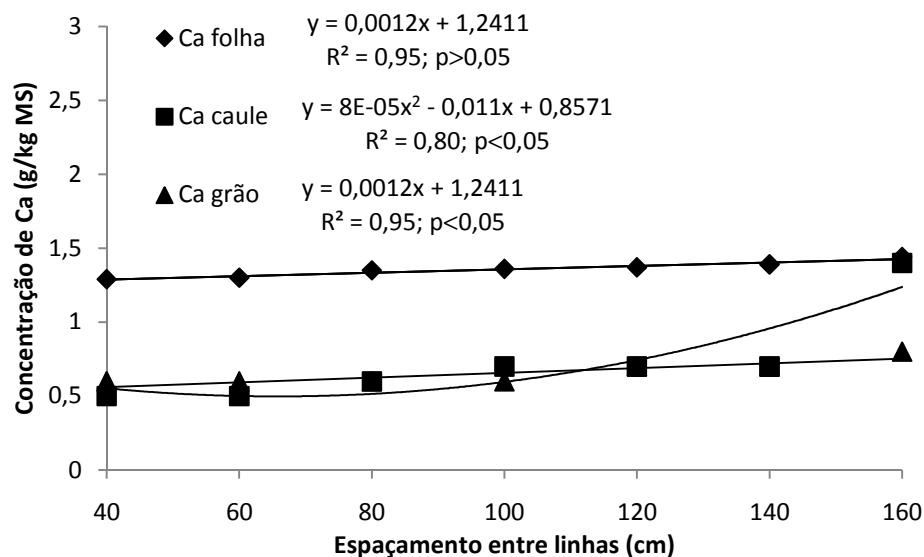


Figura 32. Concentração de cálcio em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

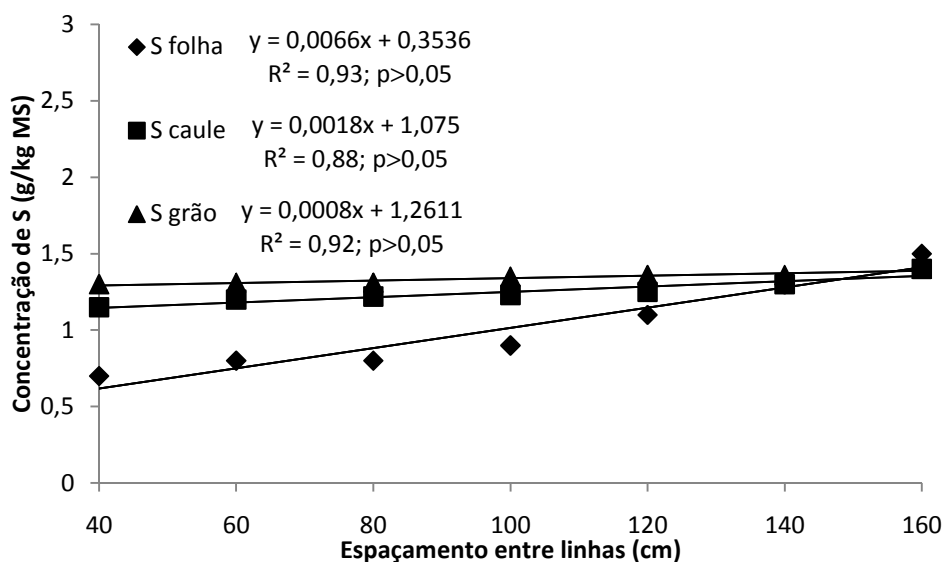


Figura 33. Concentração de enxofre em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

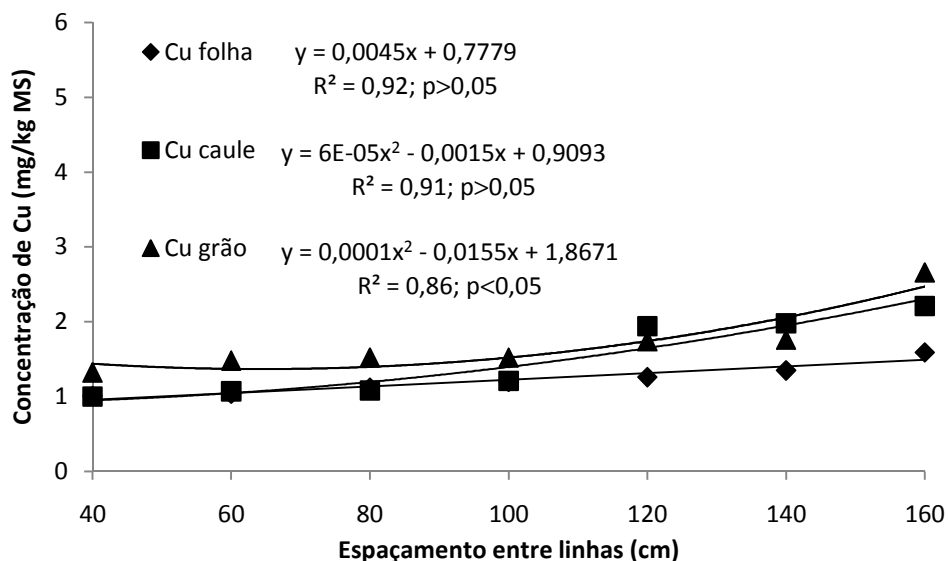


Figura 34. Concentração de cobre em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às

densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

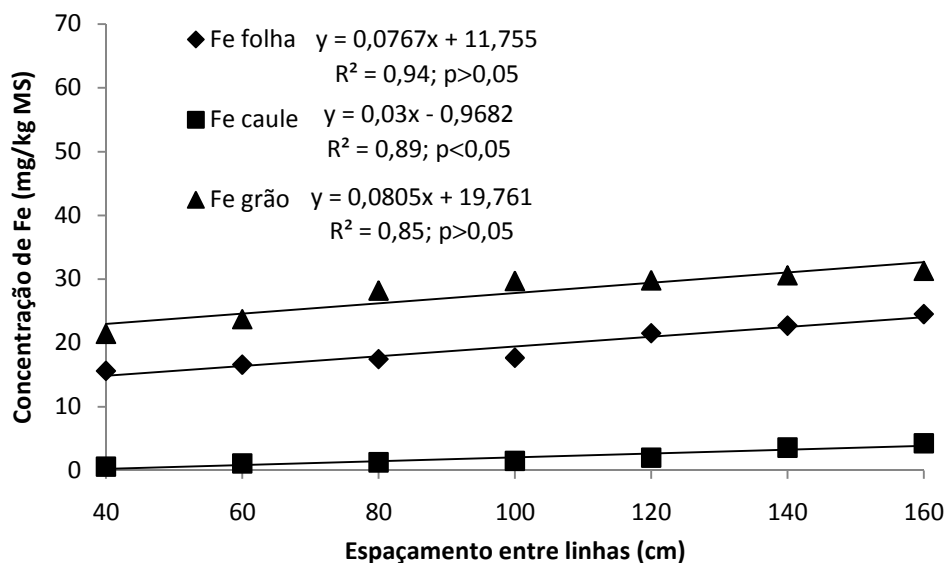


Figura 35. Concentração de ferro em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

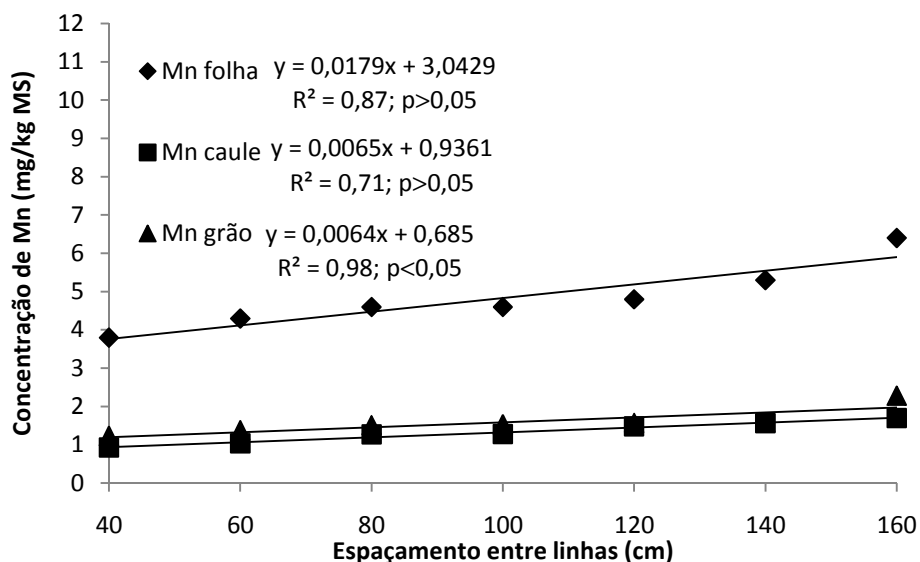


Figura 36. Concentração de manganês em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os

espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

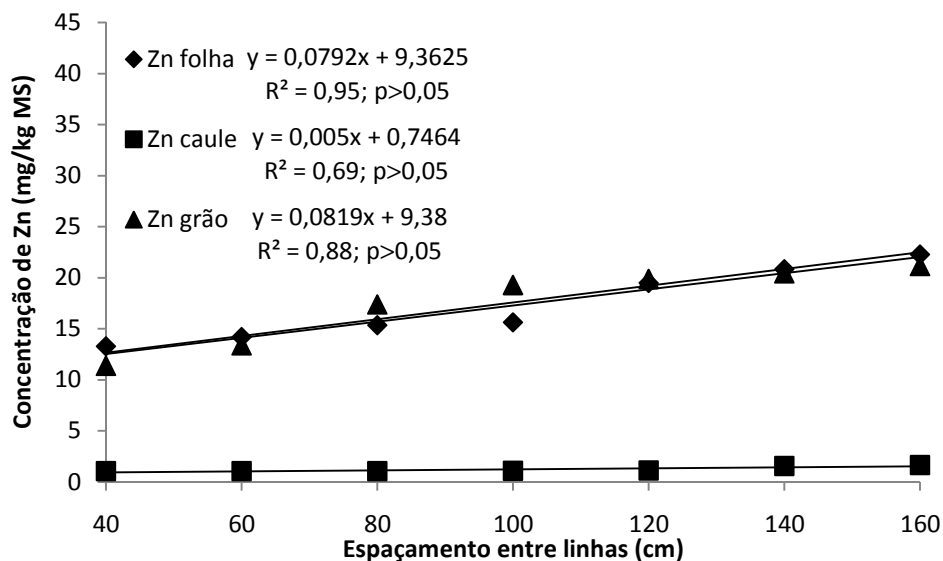


Figura 37. Concentração de zinco em folhas, caules e grãos de milho submetido a diferentes espaçamentos entre linhas/densidades populacionais. Os espaçamentos de 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 cm correspondem às densidades populacionais de 125.000, 83.300, 62.500, 50.000, 41.666, 35.714 e 31.250 plantas, respectivamente. Monte Aprazível, SP. Safra 2007/2008.

5. CONCLUSÕES

- a) Nas condições de clima e solo utilizados no experimento, a redução do espaçamento entre linhas, com aumento da densidade populacional, proporciona diminuição da temperatura máxima do ar e do solo, da área foliar média e da área foliar total da planta, do diâmetro do colmo, do número de grãos por fileira, do número de grãos por espiga, da massa de mil grãos, da massa seca de folhas e de grãos por planta.
- b) A redução do espaçamento entre linhas/aumento da densidade populacional proporciona aumentos da umidade do ar e do solo, da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, do índice de área foliar, da atividade da urease no solo, da estatura das plantas e da altura de inserção da espiga.
- c) Com o aumento do espaçamento entre linhas de 40-100 cm há aumento da temperatura mínima do ar. Com o aumento do espaçamento de 100-160 cm há diminuição da temperatura mínima do ar.
- d) A redução no espaçamento entre linhas/aumento da densidade populacional não influencia as atividades da fosfatase e da desidrogenase no solo; o número de espigas por planta; o índice de colheita e a massa seca do caule;

6. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragens e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamento entre linhas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p.402-408, 2006.
- AMARAL FILHO, J.P.R. et al. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.3, p.467-473, 2005.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjos de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.1075-1084, 2001a.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; NETO, V.B. Resposta de híbrido simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.71-78, 2001b.
- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- BALBINOT, A.A.; FLECK, N.G. Benefício e limitações da redução do espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.5, n.83, p.37-41, 2005.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BERNARDON, T.; ROBAINA, A.D.; CALGARO, M.; PEITER, M.X. Viabilidade espacial de componentes da produção de milho (*Zea mays* L.) no Rio Grande do Sul. **Revista Geomática**, v.3, p.1-11, 2008.
- BROWN, R.H. Growth of the green plant. In: TESAR, M.B. (Ed.). **Physiological basis of crop growth and development**. Madison: ASA-CSSA, 1984. p.153-174.
- BRUNINI, O.; ABRAMIDES, P.L.G.; BRUNINI, A.P.C.; CARVALHO, J.P.. Caracterizações macroclimáticas, agrometeorológicas e restrições ambientais para o cultivo de milho em regiões tropicais baixas. **InfoBibos**, Campinas, v.1, n.3,

2006. Artigo em hipertexto. Disponível em <<http://infobibos.com/Artigos/20063/ambientemilho/index.htm>>. Acesso em 19/9/2010.

BRUNS, H.A.; ABBAS, H.K. Ultra-high plant populations and nitrogen fertility effects on corn in the Mississippi valley. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.4, p.1136-1140, 2005.

CANTARELLA, H. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2º ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAE, 1996. P.45-71 (Boletim técnico, 100).

CASIDA Jr., L.E. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. **Applied and Environmental Microbiology**, v.34, p.630-636, 1977.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2009/2010. http://conab.gov.br/conabewb/download/safra/estudo_safr.pdf (10 de setembro de 2010).

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.925-930, 2002.

DEMÉTRIO, C. S. et al. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DENG, S.P. & TABATABAI, M.A. Effect of tillage and residue management on enzymes activities in soils. *Biol. Fert. Soil*, 22:202-207, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Irrigação e drenagem, 33). Tradução de H.R. Gheyi, A.A. de Souza, F.A.V. Damasco, J.F. de Medeiros.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.22-37, 2003.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA-(EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília - DF, 1999.

FANCELLI, A.L. Fisiologia da produção e aspectos básicos de manejo para alto rendimento. In: SANDINI, I.; FANCELLI, A.L. (Ed). **Milho: estratégias de manejo para a região Sul**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. P.103-116.

FLÉNET, F.; KINIRY, J. R.; BOARD, J. E.; WESTGATE, M. E.; REICOSKY, D. C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 2, p. 185-190, 1996.

FLESCH, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamento e população de plantas na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.12, n.2, p.28-31, 1999.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v.9, p.537-539, 1969.

FUNDAÇÃO RIO VERDE. **Resultados de Pesquisa Arroz, Milho e Soja – safra 2001/2**. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2002. 65p. (Boletim Técnico, 5).

GROSS, M.R.; PINHO, R.G.; BRITO, A.H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p.387-393, 2006.

JOHNSON, G.A.; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.1, p.40-46, 1998.

LAUER, J. Should I be planting corn at a 30-inch row spacing? **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v.1, p. 6-8, 1994.

LINDQUIST, J.L.; MORTENSEN, D.A.; JOHNSON, B.E. Mechanism of corn tolerance and velvetleaf suppressive ability. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.787, 792, 1998.

LONGO, R.M.; MELO, W.J.; LEITE, S.A.S. & CHELI, R.A. Variação anual da atividade da urease em amostras de Latossolo Roxo cultivado com pinus e soja.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus, 1993. p.2383-2389.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.31-36, 1999.

MADDONNI, G.A.; CHELLE, M.; DROUET, J.L.; ANDRIEU, B. Light interception of contrasting azimuth canopies square and rectangular plant spatial distributions simulations and crop measurements. **Fields Crop Research**, v. 70, n.1, p.1-13, 2001.

MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.A. Leaf area, light interception and crop development in maize. **Fields Crop Research**, v. 81, n.1, p.81-87, 1996.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; XIMENES, P.A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos de milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p.170-181, 2006.

MARTINS, P.E.; COSTA, A.J.A. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoces em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agrônômica**, Ilha solteira, v.12, n.1, p.77-88, 2003.

McCREE, K.J. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. **Agric. Meteorol.**, Amsterdam, v.3, p.353-366, 1966.

MCGARITY, J.W.; MYERS M.G. A survey of urease activity in soil of Northern New South Wales. **Plant and Soil**, v.27, p.217-238, 1967.

MEROTTO JUNIOR, A.; ALMEIDA, M.L.; FUCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, p.549-554, 1999.

MIRANDA, G.V.; COIMBRA, R.R.; GODOY, C.L.; SOUZA, L.V.; GUIMARÃES, L.J.M.; MELO, A.V.D. Potencial de melhoramento e divergência genética de

cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.6, p.681-688, 2003.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. p.1-2.

OLIVEIRA, M.L. de; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M. da; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

PAES, J.M.V.; ZITO, R.K. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.54-64, 2006.

PEIXOTO, C.M. Mais plantas, menos espaço. **Cultivar**, Pelotas, p.25-28, 2002.

PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.52-60, 2003.

PEREIRA, J. **Alterações na qualidade tecnológica de grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) durante o armazenamento**. Viçosa, 1996. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa – UFV.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. In: José Eduardo B.A. Monteiro (org.). Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009, v.1, p.3-12.

PEREIRA, R.C.; DAVIDE, L.C.; PEDROZO, C.A.; CARNEIRO, N.P.; SOUZA, I.R.P.; PAIVA, E. **Relationship between structural and biochemical**

characteristics and texture of corn grains. Genetics and Molecular Research, v.2, p.498-508, 2008.

PORTER, P.M.; HICKS, D.R.; LUESCHEN, W.E.; FORD, J.H.; WARNES, D.D.; HOVERSTAD, T.R. Corn response to row width and plant population in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.10, 1997.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC (Boletim Técnico 100), 1997. p.56-57.

REZENDE, S.G. DE; PINHO, R.G.V.; VASCONCELOS, R.D. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.3, p.34-42, 2003.

ROSENBERG, N. J. **Microclimate: the biological environmet.** New York: J. Wiley & Sons, 1974. 315 p.

SALISBURY, F.B., ROSS, C.W. **Fisiología vegetal.** México: Iberoamérica, 1994. 759p.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado de Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L de; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**. Campinas, v.61, 2.2, p.101-110, 2002.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L; HEBERLE, P.C. Row spacing reduction infuencing maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, 861-869, 2001.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Arranjo espacial de plantas de milho: como otimizá-lo para maximizar o rendimento de grãos. In: CONGRESSO

NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá, MT. Anais... Cuiabá: EMBRAPA-CNPMS, 2004. CD.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. da. Densidade e arranjo populacional em milho. 2006. Disponível em <<http://www.infobios.com/Artigos20062/Densidade/Index.htm>>. Acesso em 10/08/2010.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide: statistics. Version 8. Cary: SAS Institute, 2000.

SHARRAT, B.S.; McWILLIAMNS, D.A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. **Agronomy Journal**. v.97, p.1139-1135, 2005.

SILVA, A.K. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 5., 2005, Chapecó, SC. **Resumos Expandidos**...Capecó: Epagri-Cepaf, 2005. P27-30.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Respostas de híbridos de milho à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.234, n.4, p.585-595, 1999.

SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63p.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, A.A.; ENDRIGO, P.C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entre linhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, 2006.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 1, p.301-307, 1969.

TETIOKAGHO, M.L.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.935-940, 1988.

TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L.M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G. A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York : M. Dekker, 1994. p. 183-236.

USDA: United States Department of Agriculture. Safra 2009/2010. http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/_s_7_0_A/7_0_10B?navtype=SU&navid=AGRICULTURE (10 de setembro de 2010).

WESTGATE, M.E. et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, p.249-258, 1997.

APÊNDICE



Figura 1A. Fotografia do cone de EVA utilizado no experimento para proteção dos termohigrômetros digitais.



Figura 1B. Fotografia mostrando a colocação do termômetro de mercúrio utilizado para as medições de temperatura do solo.