

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DENSIDADES POPULACIONAIS DE PEPINO SOBRE
ÍNDICES AGROECONÔMICOS DO CONSÓRCIO COM
ALFACE

Rodolfo Gustavo Teixeira Ribas
Engenheiro Agrônomo

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DENSIDADES POPULACIONAIS DE PEPINO SOBRE
ÍNDICES AGROECONÔMICOS DO CONSÓRCIO COM
ALFACE**

Rodolfo Gustavo Teixeira Ribas

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Priscila Lupino Gratão

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

2017

R482d Ribas, Rodolfo Gustavo Teixeira
Densidades populacionais de pepino sobre índices
agroeconômicos do consórcio com alface / Rodolfo Gustavo Teixeira
Ribas. -- Jaboticabal, 2017
xix, 165 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Coorientadora: Priscila Lupino Gratão
Banca examinadora: Juan Waldir Mendonza Cortez, Matheus
Saraiva Bianco, Roberto Botelho Ferraz Branco, Pedro Luís da Costa
Aguiar Alves
Bibliografia

1. Lactuca sativa L. 2. Cucumis sativus L. 3. Estresse oxidativo. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.11:635.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DENSIDADES POPULACIONAIS DE PEPINO SOBRE ÍNDICES AGROECONÔMICOS DO CONSÓRCIO COM ALFACE

AUTOR: RODOLFO GUSTAVO TEIXEIRA RIBAS

ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

COORIENTADORA: PRISCILA LUPINO GRATÃO

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


Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JUAN WALDIR MENDOZA CORTEZ
Facultad de Agronomía / Universidad Nacional Agraria La Molina / Peru


Prof. Dr. MATHEUS SARAIVA BRANCO
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP / São José do Rio Preto/SP


Pesquisador Dr. ROBERTO BOTELHO FERRAZ BRANCO
APTA - Polo Regional do Centro Leste / Ribeirão Preto/SP


Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES
Diretoria / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 19 de dezembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODOLFO GUSTAVO TEIXEIRA RIBAS, filho de Hiroito Ribas e Marialva Aparecida Teixeira Ribas, nascido aos 18 de abril de 1980, em Ji-Paraná, Estado de Rondônia. Realizou o curso primário na Escola Estadual Julieta Vilela Velozo. Em 1997 concluiu o curso Colegial na Escola Estadual Paulo de Assis Ribeiro, em Colorado do Oeste – RO. Em 1998 iniciou o curso em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, colocando grau em 2003. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica (CNPq-PIBIC) nos anos de 2000 a 2003 na Embrapa Agrobiologia, sob a orientação do Pesquisador José Guilherme Marinho Guerra, ganhando três prêmios por desempenho durante a época de bolsista. Em Agosto de 2003 iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), sob orientação do Professor Ricardo Henrique Silva Santos, submetendo-se à defesa da dissertação em 2005, intitulada “Doses de adubo verde em cobertura na produção orgânica de brócolis”. Em 2005 começou a trabalhar como Extensionista Rural na EMATER-RO, Escritório Local de Colorado do Oeste, sendo transferido em 2007 para o Escritório Local de Cerejeiras. Durante os anos de 2007 a 2010 foi responsável da EMATER pela Rede Temática de Agroecologia do Estado de Rondônia. Permanecendo na EMATER até 2013, quando ingressou, através de concurso, como Professor de Agroecologia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* Cacoal, sendo Coordenador do Curso Técnico de Agroecologia de 2013 a 2014. Ingressou no Curso de Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal, sob orientação do Professor Arthur Bernardes Cecílio Filho, submetendo à defesa em 2017, com a Tese intitulada “Densidades populacionais de pepino sobre índices agroeconômicos do consórcio com alface”.

“ ...

Correndo sobre o mesmo velho chão

O que nós encontramos?

Os mesmos velhos medos

...”

Trecho da música “Wish You Were Here”
(David Gilmour/Roger Waters) – Pink Floyd

Ofereço

A todos que acreditam numa agricultura sustentável.

Dedico

À minha esposa, Greiscyléia Togo Côrte Ribas.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo pelo dom da vida;

A Greiscy, minha esposa, pelo amor e companheirismo;

A toda minha família, meus pais, Marialva e Hiroito (*in memorian*), minhas irmãs Eliza e Tatiana, minha sogra Léia, meus cunhados Ledelaynne, Ronan, Wilton, Higor e Rafael por todo carinho e apoio, por entenderem minha ausência em diversos momentos, e aos sobrinhos Julia, Arthur, Carlos e Rafaela, crianças amadas que só trazem alegrias a minha vida;

Ao IFRO pela liberação para cursar o doutorado;

Aos professores do IFRO, Joel, Juliana, Edslei e Marco Antônio, pois nem começaria essa jornada se não me estendessem a mão ao pegar minhas aulas;

A CAPES, pela concessão da bolsa Prodoutoral;

Ao professor Arthur, que mais que orientador pelos ensinamentos e conselhos, foi um grande amigo nesta jornada;

A minha coorientadora, professora Priscila, pela amizade, conselhos e valiosos ensinamentos;

Aos amigos, Matheus (Chefe), Alexson (B1), Leonardo, Victor, Juan, Rodrigo, Natália, Eliza, Gilmar, Letícia, Gislaine (*in memorian*), Arthur (Neto), Mariana, Rogério (Teacher) e todas as pessoas que, em algum momento e de alguma forma, me ajudaram nesta realização;

Ao pessoal da “Horta”, Inauro, Claudio e Reinaldo, pelo suporte na condução do experimento;

As técnicas de laboratório, Sônia e Sidnéia, pela ajuda nas análises;

A Rosanne e Wagner, pela amizade e alegrias em momentos de convivência;

Minhas desculpas mais sinceras a todos que colaboraram nesta etapa da minha vida que não mencionei e que de alguma forma fazem parte desse trecho da minha história.

A todos, muitíssimo obrigado.

SUMÁRIO

	página
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvii
 CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	 1
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 – Cultivo consorciado de hortaliças.....	3
2.2 – Índices de avaliação de cultivos consorciados.....	5
2.3 – Fator luz em cultivos consorciados.....	11
2.4 – Estresses de plantas em cultivos consorciados.....	14
2.5 – Alface e pepino em cultivo consorciado.....	19
3 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
 CAPÍTULO 2 – Eficiência do uso de área dos consórcios de duas cultivares de alface com pepino em função da densidade populacional do pepino	 37
RESUMO	37
ABSTRACT	38
1 – INTRODUÇÃO	39
2 – MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 – Localização e caracterização da área experimental.....	41
2.2 – Instalação e condução do experimento.....	42
2.3 – Delineamento experimental e tratamentos.....	45
2.4 – Características avaliadas.....	46
2.4.1 – % PAR B/A.....	46
2.4.2 – Teor foliar de nutrientes.....	46
2.4.3 – Massa da alface fresca total.....	46
2.4.4 – Massa da alface fresca comercial.....	47
2.4.5 – Produtividade total da alface.....	47
2.4.6 – Produtividade comercial da alface.....	47
2.4.7 – Produtividade comercial de pepino.....	47
2.4.8 – Número de frutos comerciais de pepino.....	47
2.4.9 – Eficiência de Uso da Área (EUA).....	47
2.4.10 – Produtividade Relativa (PR).....	48
2.5 – Análises estatísticas.....	48
3 – RESULTADOS	50
3.1 – PAR (Radiação Fotossintética Ativa).....	50
3.2 – Alfaces.....	51
3.3 – Pepino.....	57
3.4 – Eficiência de Uso de Área (EUA) e Produtividade Relativa (PR).....	59
4 – DISCUSSÃO	62
5 – CONCLUSÕES	67
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

CAPÍTULO 3 – Índices de competição para avaliação de consórcios de alface e pepino, em casa de vegetação.....	74
RESUMO.....	74
ABSTRACT.....	75
1 – INTRODUÇÃO.....	76
2 – MATERIAL E MÉTODOS.....	77
2.1 – Localização e caracterização da área experimental.....	77
2.2 – Instalação e condução do experimento.....	78
2.3 – Características avaliadas.....	81
2.3.1 – Coeficiente relativo de adensamento (K).....	81
2.3.2 – Índice de Competitividade Relativa (CR).....	81
2.3.3 – Agressividade (AGR).....	82
2.3.4 – Coeficiente Relativo de Aglomeração (CRA).....	82
2.3.5 – Intensidade Absoluta de Competição (IAC).....	82
2.3.6 – Intensidade Relativa de Competição (IRC).....	83
2.3.7 – Perda de Produtividade Real (PPR).....	83
2.3.8 – Produtividade Relativa (PR).....	83
2.3.9 – Eficiência de Uso da Área no Tempo (EUAT).....	83
2.3.10 – Eficiência de Uso da Área (EUA).....	83
2.3.11 – Índice de Produtividade do Sistema (IPS).....	84
2.3.12 – Coeficiente da Eficiência de Uso da Área (CEUA).....	84
2.4 – Análises estatísticas.....	84
3 – RESULTADOS.....	86
4 – DISCUSSÃO.....	100
5 – CONCLUSÕES.....	104
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

CAPÍTULO 4 – Alterações fisiológicas e bioquímicas em duas cultivares de alface consorciadas com pepino em diferentes densidades.....	110
RESUMO.....	110
ABSTRACT.....	111
1 – INTRODUÇÃO.....	112
2 – MATERIAL E MÉTODOS.....	115
2.1 – Localização e caracterização da área experimental.....	115
2.2 – Instalação e condução do experimento.....	116
2.3 – Delineamento experimental e tratamentos.....	119
2.4 – Características avaliadas.....	120
2.4.1 – Massa seca da parte aérea da alface (MS).....	120
2.4.2 – Pigmentos (clorofilas e carotenoides).....	120
2.4.3 – Fluorescência da clorofila.....	121
2.4.4 – Peroxidação Lipídica – conteúdo de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂).....	121
2.4.5 – Atividade de enzimas antioxidantes.....	122
2.4.5.1 – Superóxido Dismutase (SOD, EC 1.15.1.1).....	122
2.4.5.2 – Catalase (CAT, EC 1.11.1.6).....	123
2.4.5.3 – Ascorbato Peroxidase (APX, EC 1.11.1.11).....	123
2.4.5.4 – Glutathione Redutase (GR, EC 1.6.4.2).....	123

2.5 – Análises estatísticas.....	124
3 – RESULTADOS.....	125
3.1 – Pepino.....	125
3.2 – Alfaces.....	128
3.2.1 – Massa seca.....	128
3.2.2 – Pigmentos.....	132
3.2.3 – Peroxidação Lipídica.....	139
3.2.4 – Atividade enzimática.....	143
4 – DISCUSSÃO.....	150
5 – CONCLUSÕES.....	156
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157

Densidades populacionais de pepino sobre índices agroeconômicos do consórcio com alface

RESUMO – O consórcio é uma alternativa sustentável de cultivo, mas precisa ser bem planejado e avaliado. A interferência que o consórcio pode causar gera estresse nas plantas e um possível desequilíbrio nas espécies reativas de oxigênio. O objetivo foi quantificar as produtividades das culturas e do consórcio, através de diferentes índices, e avaliar possíveis alterações no metabolismo fotossintético, bem como a atividade de enzimas relacionadas com a defesa oxidativa, de duas cultivares de alface consorciadas com diferentes densidades populacionais de pepino. O experimento foi instalado em casa de vegetação em Jaboticabal, SP, em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial $4 \times 2 + 6$, com quatro repetições. Os fatores foram populações de pepino consorciado (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}) e cultivares de alface ('Lucy Brown' e 'Vanda'), e os tratamentos adicionais corresponderam às monoculturas de pepino nas quatro densidades populacionais e das duas cultivares de alface. À medida que maior foi a densidade populacional do pepino, menor foi a massa fresca total e produtividade das duas alfaces. Com o aumento da densidade populacional do pepino, o número de frutos por planta e por área diminuiu e aumentou, respectivamente, porém não sofreu alterações fisiológicas e bioquímicas. A alface 'Lucy Brown' produz comercialmente (cabeça) apenas na menor densidade (55%). A produção por planta e a produtividade do pepino 'Soldier' não são influenciadas pela presença da alface, não diferindo entre os sistemas de cultivo, consórcio e solteiro. O consórcio possibilita uso mais eficiente da área que os cultivos solteiros de alface e pepino, com intensidade maior para 'Vanda' que para 'Lucy Brown'. Os índices de desempenho das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' nos consórcios retratam prejuízo no crescimento e produtividade quando em consórcio com o pepino, independentemente da densidade populacional deste. Índices de desempenho das alfaces caracterizam a 'Vanda' como a cultivar de alface mais adequada para consorciar com o pepino. Os índices de desempenho do pepino 'Soldier' nos consórcios não caracterizam efeito de interferência das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown'. O consórcio 'Vanda' e 'Soldier' mostrou-se mais vantajoso que 'Lucy Brown' e 'Soldier'. Considerando os índices, o melhor consórcio é o de 'Vanda' e 'Soldier' com 100% da população de pepino. Para 'Lucy Brown' e 'Soldier' o melhor consórcio é usando-se a densidade de 55% da população de pepino. A concentração de peróxido de hidrogênio, atividade de superóxido dismutase, catalase e glutathione redutase foram maiores em 'Vanda' que em 'Lucy Brown'. O teor de pigmentos foi maior em 'Lucy Brown' que em 'Vanda'. O consórcio causou estresse sobre a produção de biomassa seca das alfaces, e a perda de biomassa seca foi mais acentuada em 'Lucy Brown' quando consorciada, que em 'Vanda'.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., estresse oxidativo

Population densities of cucumber on agroeconomic indices of the intercropping with lettuce

ABSTRACT – The intercropping is a sustainable alternative for cultivation, but needs to be well planned and evaluated. The interference that the intercropping can cause generates stress on plants and a possible imbalance in reactive oxygen species. The objective was to quantify the crop and intercrop yields through different indices and to evaluate possible changes in the photosynthetic metabolism, as well as the activity of enzymes related to oxidative defense, of two intercropping lettuce cultivars with different population densities of cucumber. The experiment was installed in a greenhouse in Jaboticabal, SP, in a randomized block design, factorial scheme $4 \times 2 + 6$, with four replications. The factors were intercropped cucumber populations (100, 85, 70 and 55% of 2.35 plants m^{-2}) and lettuce cultivars ('Lucy Brown' and 'Vanda'), and additional treatments corresponded to monoculture cucumber in the four population densities and the two monocultures cultivated lettuce cultivars. The higher was the population density of the cucumber, lower was the total fresh mass and the productivity of the two lettuces. With the increase in population density of the cucumber, the number of fruits per plant and per area decreased and increased, respectively, but did not undergo physiological and biochemical changes. Lettuce 'Lucy Brown' commercially produces (head) only at the lowest density (55%). The yield per plant and the productivity of the 'Soldier' cucumber are not influenced by the presence of lettuce, not differing between the cultivation, intercropping and monoculture systems. The intercropping allows more efficient use of the area than monoculture crops of lettuce and cucumber, with greater intensity for 'Vanda' than for 'Lucy Brown'. The performance indices of the 'Vanda' and 'Lucy Brown' lettuce in the intercropping portray damage in growth and productivity when in intercropping with the cucumber, regardless of the population density. Lettuce performance indexes characterize 'Vanda' as the most suitable lettuce cultivar to intercropped with the cucumber. The performance indexes of the 'Soldier' cucumber in the intercrop do not characterize the interference effect of lettuces 'Vanda' and 'Lucy Brown'. The intercropping 'Vanda' and 'Soldier' proved to be more advantageous than 'Lucy Brown' and 'Soldier'. Considering the indices, the best intercropping is 'Vanda' and 'Soldier' with 100% of the cucumber population. For 'Lucy Brown' and 'Soldier' the best intercropping is using the density of 55% of the cucumber population. The concentration of hydrogen peroxide, superoxide dismutase activity, catalase and glutathione reductase were higher in 'Vanda' than in 'Lucy Brown'. The pigment content was higher in 'Lucy Brown' than in 'Vanda'. The consortium caused stress on dry biomass production of lettuces, and the loss of dry biomass was more pronounced in 'Lucy Brown' when intercropped, than in 'Vanda'.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., oxidative stress

LISTA DE TABELAS

	página
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
Tabela 1. Consórcios viáveis entre espécies hortícolas.....	4
Tabela 1. Continuação.....	5
 CAPÍTULO 2 – Eficiência do uso de área dos consórcios de duas cultivares de alface com pepino em função da densidade populacional do pepino	 37
Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.....	43
Tabela 2. Caracterização dos tratamentos de monoculturas e dos consórcios de duas cultivares de alface e quatro populações de pepino.....	45
Tabela 3. Teste t para paralelismo e teste F para coincidência entre as retas, a partir da linearização dos dados de PAR.....	51
Tabela 4. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.....	52
Tabela 5. Médias de teores foliares de nutrientes de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ nos dois sistemas de cultivo.....	52
Tabela 6. Grupos de contrastes dos teores foliares de Mg e Mn das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ entre tratamentos adicionais (cultivos solteiros de ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’) e o fatorial (2 alfaces x 4 densidades de pepino no consórcio).....	53
Tabela 7. Resumo da análise de variância para massa fresca total e produtividade total nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.....	53
Tabela 8. Médias de massa fresca total (MFT) e produtividade total (PT) de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro.....	54
Tabela 9. Grupos de contrastes para massa fresca total (g planta^{-1}) e produtividade total (kg m^{-2}) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’.....	55
Tabela 10. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes do pepino ‘Soldier’ em função de sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP).....	57
Tabela 11. Resumo da análise de variância para número de frutos comerciais por planta (NFP) e por área (NFA), produção de frutos comerciais por planta (PFP) e por área (PFA) do pepino ‘Soldier’ em função de sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP).....	58
Tabela 12. Resumo da análise de variância para eficiência do uso de área (EUA) do consórcio e produtividade relativa das culturas (PR_{alf} e PR_{pep}) no consórcio em função de cultivar de alface no consórcio (CA) e densidade populacional (DP).....	59

CAPÍTULO 3 – Índices de competição para avaliação de consórcios de alface e pepino, em casa de vegetação.....	74
Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.....	79
Tabela 2. Produtividades (kg m^{-2}) das espécies em cultivo solteiro e em consórcio.....	84
Tabela 3. Resumo da análise de variância para os índices de competição das espécies em consórcio em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.....	86
 CAPÍTULO 4 – Alterações fisiológicas e bioquímicas em duas cultivares de alface consorciadas com pepino em diferentes densidades	110
Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.....	117
Tabela 2. Caracterização dos tratamentos de monoculturas e dos consórcios de duas cultivares de alface e quatro populações de pepino.....	119
Tabela 3. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila a, teor de clorofila a (Chl a), b (Chl b), a+b (Chl a+b) e carotenoides (Car), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 30 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.....	126
Tabela 4. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila a, teor de clorofila a (Chl a), b (Chl b), a+b (Chl a+b) e carotenoides (Car), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 40 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.....	126
Tabela 5. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila a, teor de clorofila a (Chl a), b (Chl b), a+b (Chl a+b) e carotenoides (Car), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 55 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.....	127
Tabela 6. Resumo da análise de variância para teor de clorofila a (Chl a), b (Chl b), a+b (Chl a+b) e carotenoides (Car), fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila a, conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT, em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.....	129

Tabela 7. Resumo da análise de variância para teor de clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), <i>b</i> (Chl <i>b</i>), <i>a+b</i> (Chl <i>a+b</i>) e carotenoides (<i>Car</i>), fluorescência máxima (<i>Fm</i>) e relação da fluorescência variável e máxima (<i>Fv/Fm</i>) da clorofila <i>a</i> , conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, ao final do ciclo, em função de cultivares de alface (<i>A</i>) e densidade populacional (<i>DP</i>) do pepino.....	129
Tabela 8. Resumo da análise de variância para atividade específica de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione redutase (GR), ascorbato peroxidase (APX), aos 30 DAT, SOD, CAT e GR e massa seca da alface (MS), ao final do ciclo, nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, em função de cultivares de alface (<i>A</i>) e densidade populacional (<i>DP</i>) do pepino.....	130
Tabela 9. Massa seca de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro.....	131
Tabela 10. Grupos de contrastes para massa seca ($g\ planta^{-1}$) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’.....	131
Tabela 11. Teor de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila <i>a+b</i> e carotenoides de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT.....	134
Tabela 12. Teor de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila <i>a+b</i> e carotenoides de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, ao final do ciclo.....	137
Tabela 13. Fluorescência máxima (<i>Fm</i>) e relação da fluorescência variável e máxima (<i>Fv/Fm</i>) da clorofila <i>a</i> de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	138
Tabela 14. Grupos de contrastes para fluorescência máxima (<i>Fm</i>) e relação da fluorescência variável e máxima (<i>Fv/Fm</i>) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	138
Tabela 15. Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	139
Tabela 16. Grupos de contrastes para o conteúdo peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	143
Tabela 17. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD) de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	144
Tabela 18. Grupos de contrastes para atividade específica de superóxido dismutase (SOD) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	146
Tabela 19. Atividade específica de catalase (CAT) de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	146

Tabela 20. Atividade específica de ascorbato peroxidase (APX) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT, e 'Vanda' e 'Lucy Brown' em cultivo solteiro ao final do ciclo.....	147
Tabela 21. Atividade específica de glutatona redutase (GR) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	148
Tabela 22. Grupos de contrastes para atividade específica de glutatona redutase (GR) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown', aos 30 DAT e ao final do ciclo.....	149

LISTA DE FIGURAS

	página
CAPÍTULO 2 – Eficiência do uso de área dos consórcios de duas cultivares de alface com pepino em função da densidade populacional do pepino.....	37
Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	41
Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	42
Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.....	42
Figura 4. Porcentagem da Radiação Fotossintética Ativa (PAR) que chegou ao dossel das alfaces nas densidades de população do pepino.....	50
Figura 5. Massa fresca total (=comercial) da alface ‘Vanda’ e massa fresca total e comercial da ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	54
Figura 6. Produtividade total (= comercial) da alface ‘Vanda’ e produtividades total e comercial de ‘Lucy Brown’ em função de densidades populacionais do pepino.....	56
Figura 7. Dendrograma de análise de agrupamento hierárquico abordando as densidades populacionais do pepino entre as variáveis %PAR, produtividade e estado nutricional das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ consorciadas, obtido a partir da distância euclidiana pelo método de Ward.....	57
Figura 8. Número de frutos por planta e por área (m ²) do pepino em função de densidades populacionais.....	58
Figura 9. Produtividade do pepino em função de densidades populacionais...	59
Figura 10. Índice de eficiência de uso da área (EUA) dos consórcios de ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ com pepino.....	60
Figura 11. Produtividade Relativa (PR) dos componentes dos consórcios de ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ com pepino.....	61
 CAPÍTULO 3 – Índices de competição para avaliação de consórcios de alface e pepino, em casa de vegetação.....	 74
Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	77
Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	78
Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.....	78
Figura 4. Coeficientes relativos de adensamento (K) parciais das alfaces ‘Vanda’, e ‘Lucy Brown’ (a), do pepino ‘Soldier’ (b) e dos consórcios (c) em função da densidade populacional do pepino.....	88
Figura 5. Índice de competitividade relativa (CR) parciais das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ (a), do pepino ‘Soldier’ (b) e CR dos consórcios (c) em função da densidade populacional do pepino.....	89

Figura 6. Índices de agressividade das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a) e do pepino 'Soldier' (b) em consórcios, em função da densidade populacional do pepino.....	90
Figura 7. Coeficiente relativo de aglomeração (CRA) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a) e do pepino 'Soldier' (b) em função da densidade populacional do pepino.....	91
Figura 8. Intensidade absoluta de competição (IAC) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a) e pepino 'Soldier' (b) em função da densidade populacional do pepino.....	92
Figura 9. Intensidade relativa de competição (IRC) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a) e do pepino 'Soldier' (b) em função da densidade populacional do pepino.....	93
Figura 10. Perda de produtividade real (PPR) parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a), do pepino 'Soldier' (a) e dos consórcios (b) em função da densidade populacional do pepino.....	95
Figura 11. Produtividade relativa (PR) das alfaces 'Vera' e 'Lucy Brown' e do pepino 'Soldier' em função da densidade populacional do pepino no consórcio com as alfaces.....	96
Figura 12. Eficiência do uso de área no tempo (EUAT) parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a), do pepino 'Soldier' (a) e dos consórcios (b) em função da densidade populacional do pepino.....	97
Figura 13. Eficiência do uso de área (EUA) dos consórcios do pepino 'Soldier' com as alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.....	98
Figura 14. Índice de produtividade do sistema (IPS) dos consórcios das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino 'Soldier', em função da densidade populacional do pepino.....	98
Figura 15. Coeficiente de eficiência do uso de área (CEUA) dos consórcios das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino 'Soldier', em função da densidade populacional do pepino.....	99
 CAPÍTULO 4 – Alterações fisiológicas e bioquímicas em duas cultivares de alface consorciadas com pepino em diferentes densidades	110
Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	115
Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.....	116
Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.....	116
Figura 4. Massa seca da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.....	131
Figura 5. Teor de clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.....	132
Figura 6. Teor de clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.....	133
Figura 7. Teor de clorofilas <i>a+b</i> (Chl <i>a+b</i>), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.....	133

Figura 8. Teor de carotenoides (<i>Car</i>), aos 30 DAT, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	134
Figura 9. Teor de clorofila <i>a</i> (<i>Chl a</i>), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	135
Figura 10. Teor de clorofila <i>b</i> (<i>Chl b</i>), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	135
Figura 11. Teor de clorofila <i>a+b</i> (<i>Chl a+b</i>), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino....	136
Figura 12. Teor de carotenoides (<i>Car</i>), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	136
Figura 13. Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aos 30 DAT, das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	140
Figura 14. Teor de malondialdeído (MDA), aos 30 DAT, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	141
Figura 15. Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	142
Figura 16. Teor de malondialdeído (MDA), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino....	142
Figura 17. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD), aos 30 DAT, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	144
Figura 18. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	145
Figura 19. Atividade específica da ascorbato peroxidase (APX), ao final do ciclo, na alface ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	147
Figura 20. Atividade específica da glutathione redutase (GR), ao final do ciclo, da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.....	149

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1 – INTRODUÇÃO

O nível de conscientização quanto às relações da agricultura com o ambiente, os recursos naturais e a qualidade dos alimentos cresceu substancialmente (OLIVEIRA et al., 2005). Existe interesse entre os agricultores por sistemas alternativos de produção que aumentem a rentabilidade e melhorem a qualidade de vida no meio rural, além de preservar a capacidade produtiva do solo a longo prazo (EHLERS, 1999). Dentre as práticas alternativas de produção enquadram-se os consórcios de culturas, que antes da modernização e da industrialização da agricultura eram comuns, sendo o monocultivo a exceção. Em regiões tropicais, os consórcios permanecem amplamente utilizados (VANDERMEER, 1989; GLIESSMAN, 2005), principalmente porque temperatura e radiação solar não se constituem em fatores limitantes durante quase todo o ano, bastando que haja disponibilidade de água (FAGERIA, 1989). As vantagens dos cultivos consorciados em relação aos monocultivos são o aumento da produção por unidade de área em determinado período de tempo, melhor distribuição temporal de renda, aproveitamento mais adequado dos recursos disponíveis, diversificação da produção, o que significa maior variedade de alimentos para os produtores, e menor risco de insucesso, além de conferir maior proteção ao solo (FAGERIA, 1989; VANDERMEER, 1989; PUIATTI et al., 2000; CECÍLIO FILHO; MAY, 2002).

Para estudos dos consórcios existem vários índices (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001), que avaliam diferentes aspectos do consórcio através da interferência (WILLEY; RAO, 1980; CAMPBELL; GRIME, 1992; GRACE, 1995), agressividade (MCGILCHRIST; TRENBATH, 1971), perda de produtividade (BANIK et al., 2000), produção por área (WILLEY; OSIRU, 1972), tempo de duração do consórcio (HIEBSCH; MCCOLLUM, 1987), adensamento das culturas (DE WIT, 1960), dentre outras características que podem ser avaliadas (WEIGELT; JOLLIFFE, 2003), tanto para consórcios aditivos ou substitutivos (CONNOLLY, 1988; SNAYDON, 1991), e ainda considerar as competições intra e interespecíficas (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001).

Esses índices nos permitem ter uma boa interpretação sobre a influência do consórcio sobre as culturas envolvidas, mas, os fenômenos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nas plantas num consórcio ainda são pouco estudados (COSTA et al., 2012). E, nesse aspecto, não estão claros os efeitos da luz num consórcio sobre a atividade fotossintética da planta (FU; LI; WU, 2012) e sobre a atividade de enzimas antioxidantes (FU et al., 2012).

A partir da hipótese que as plantas envolvidas em um sistema de cultivo consorciado têm sua produção, fotossíntese e atividade bioquímica alteradas, o objetivo foi quantificar as produtividades das culturas e do consórcio, através de diferentes índices, e avaliar possíveis alterações no metabolismo fotossintético, bem como a atividade de enzimas relacionadas com a defesa oxidativa, de duas cultivares de alface consorciadas com diferentes densidades populacionais de pepino.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Cultivo consorciado de hortaliças

Os consórcios são sistemas de cultivo caracterizados pela utilização de duas ou mais culturas concomitantemente (VANDERMEER, 1989), sem necessariamente conviverem por todos seus ciclos (WILLEY, 1979a). A maior vantagem dos consórcios é o aumento da produtividade em dado espaço da propriedade pelo fato de se utilizar de modo mais eficiente os recursos de cultivo disponíveis (LITHOURGIDIS et al., 2011).

Os sistemas consorciados têm recebido especial atenção principalmente por causa da riqueza de suas interações ecológicas e do arranjo e manejo das culturas no campo, que contrastam com os sistemas agrícolas modernizados, assentados sobre a exploração de monoculturas e uso intensivo de capital e produtos originários do setor industrial (SANTOS, 1998). O desafio é conseguir melhor compreensão dos fenômenos ecológicos subjacentes às mudanças no desempenho das culturas em consórcio (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; SANTOS; GLIESSMAN; CECON, 2002; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

Vandermeer (1989) sugeriu dois arranjos básicos para sistemas em consórcios, sendo: adição e substituição. Em termos gerais, nos arranjos aditivos, a população de uma cultura “principal” é mantida constante, enquanto indivíduos da outra cultura são adicionados a essa população. Nos consórcios com arranjos substitutivos, parte da população “secundária” substitui parte da população “principal”, sendo a população total mantida constante (SNAYDON, 1991) e a “identidade específica de cada espécie é perdida em uma equivalência puramente numérica” (CONNOLLY, 1988).

Ambos os arranjos tentam equilibrar as interferências intraespecífica (entre indivíduos da mesma espécie) e interespecífica (entre indivíduos de espécies diferentes) (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; GLIESSMAN, 2005). Essa competição pode ser por luz, nutrientes ou água, podendo ser minimizada quando a demanda pelos recursos não ocorrerem no mesmo momento, caracterizando a complementaridade temporal. Caso a diferença ocorra na arquitetura das plantas,

diferenciando a utilização de água, nutrientes e luz, densidades e arranjos populacionais caracteriza a complementaridade espacial (WILLEY, 1979a, b; VANDERMEER, 1989; TREZZI; SILVA, 1993; FLESCHE, 2002)

A viabilidade do consórcio de hortaliças pode estar no aumento de produção por área, aumento de renda, diminuição de plantas infestantes, pragas e doenças, e, nestes aspectos, a literatura comprova viabilidade de consórcio para várias hortaliças (Tabela 1).

Tabela 1. Consórcios viáveis entre espécies hortícolas.

Espécies envolvidas no consórcio	Fonte
tomate e pepino	SCHULTZ et al. (1982)
tomate e trigo	SCHUERGER; LAIBLE (1994)
alface e cenoura	CAETANO; FERREIRA; ARAÚJO (1999); NEGREIROS et al. (2002); BEZERRA NETO et al. (2003, 2007, 2008, 2010); BARROS JÚNIOR et al. (2005); SALGADO et al. (2006); BEZERRA NETO; GOMES; OLIVEIRA (2007); PIMENTEL; LANA; DE-POLLI (2009); PORTO et al. (2011)
taro e milho doce	PUIATTI et al. (2000)
alho-poró e aipo	BAUMANN; BASTIAANS; KROPFF (2001)
alho e cenoura	MUELLER et al. (2001, 2004)
alface e rabanete	CECÍLIO FILHO; MAY (2002); REZENDE et al. (2005); SALGADO et al. (2006); CECÍLIO FILHO; REZENDE; CANATO (2007); GRACIANO et al. (2007); TAVELLA et al. (2011); SUGASTI; JUNQUEIRA; SABOYA (2013).
brócolis e ervilha;	SANTOS; GLIESSMAN; CECON (2002)
brócolis e feijão;	SANTOS; GLIESSMAN; CECON (2002)
brócolis e repolho	SANTOS; GLIESSMAN; CECON (2002)
cebolinha e salsa	HEREDIA Z. et al. (2003)
cebolinha e espinafre	HEREDIA ZÁRATE; VIEIRA (2004)
quiabo e amaranto	JOHN; MINI (2005)
quiabo e caupi	JOHN; MINI (2005)
quiabo e pepino	JOHN; MINI (2005)
alface e coentro	OLIVEIRA et al. (2005a)
repolho e rabanete	OLIVEIRA et al. (2005b)
alface e tomate	REZENDE; CANATO; CECÍLIO FILHO (2005); CECÍLIO FILHO et al. (2008, 2011, 2013); CECÍLIO FILHO; REZENDE; COSTA (2010)
pepino e amaranto	BERRY et al. (2006a, 2006b)
taro e chicória	HEREDIA ZÁRATE et al. (2006a)
taro e alface	HEREDIA ZÁRATE et al. (2006a)
taro e cenoura	HEREDIA ZÁRATE et al. (2006a)
almeirão e cenoura	HEREDIA ZÁRATE et al. (2006b)
pimentão e repolho;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão e rúcula;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão e alface;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão e rabanete;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, repolho e alface;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, repolho e rúcula;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, repolho e rabanete;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, rúcula e alface;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, rúcula e rabanete;	REZENDE et al. (2006, 2009)
pimentão, alface e rabanete	REZENDE et al. (2006, 2009)
alface e rúcula	COSTA et al. (2007, 2008); BARROS JÚNIOR et al. (2008, 2011); OLIVEIRA et al. (2010); ALMEIDA et al. (2015)

Tabela 1. Continuação...

beterraba e rúcula	GRANGEIRO et al. (2007)
morango e pepino	SANTOS et al. (2008)
morango e abóbora	SANTOS et al. (2008)
morango e melão	SANTOS et al. (2008)
alface e pepino	SILVA et al. (2008); BARROS et al. (2009); REZENDE et al. (2010, 2011); CECÍLIO FILHO et al. (2015)
tomate e arruda,	CARVALHO et al. (2009)
tomate e funcho,	CARVALHO et al. (2009)
tomate e hortelã-pimenta,	CARVALHO et al. (2009)
tomate e manjerição	CARVALHO et al. (2009)
manjerição e hortelã	MAIA et al. (2009)
tomate e coentro	TOGNI et al. (2009)
alface e jateikaá	MOTA; VIEIRA; CARDOSO (2010)
cebolinha e rabanete	MASSAD; OLIVEIRA; DUTRA (2010)
couve e coentro	RESENDE et al. (2010)
beterraba e coentro	GRANGEIRO et al. (2011)
rúcula e cenoura	PORTO et al. (2011); LIMA et al. (2014); BATISTA et al. (2016a, 2016b)
alface e marcela	MOTA; VIEIRA; DE ARAÚJO (2011)
rabanete e cenoura	TAVELLA et al. (2011)
pepino e cebola	ZHOU; YU; WU (2011)
alho e pepino	ZHOU; YU; WU (2011); XIAO et al. (2013)
alface, rúcula e cenoura	BEZERRA NETO et al. (2012)
alface e cebola	MOTA et al. (2012)
alface e brócolis	OHSE et al.(2012); YILDIRIM; TURAN (2013)
alface e manjerição	VIEIRA et al. (2012)
alface e alisso	BRENNAN (2013)
alface e quiabo;	SUGASTI; JUNQUEIRA; SABOYA (2013)
rabanete e quiabo;	SUGASTI; JUNQUEIRA; SABOYA (2013)
alface, rabanete e quiabo	SUGASTI; JUNQUEIRA; SABOYA (2013)
alho e tomate	LIU et al. (2014)
brócolis e alisso	BRENNAN (2016)
quiabo e celósia	OROKA (2016)
caupi e rabanete	PEREIRA et al. (2016)
couve e espinafre	CECÍLIO FILHO et al. (2017)

A viabilidade do consórcio é mensurada através de índices, que avaliam, sobretudo, a competição entre as espécies envolvidas (WILLEY; OSIRU, 1972; WILLEY; RAO, 1980; CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001).

2.2 – Índices de avaliação de cultivos consorciados

Os índices ecológicos podem ajudar os pesquisadores de várias maneiras e, ao condensar índices de dados experimentais, facilita a apresentação de resultados (CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001). Ao agregar várias medidas, os índices podem expressar e quantificar ideias compostas que podem caracterizar melhor a interferência do que é possível através de simples medida primária (WEIGELT;

JOLLIFFE, 2003). Ao condensar e organizar índices de resultados experimentais, estes ajudam a interpretar dados complexos, e o uso do mesmo índice por diferentes pesquisadores pode ajudar a comparar os resultados de diferentes estudos.

No entanto, os índices ecológicos tem possíveis deficiências e não serem adequados e, conseqüentemente, mal aplicados (CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001). Precisam ser usados de forma adequada e com cuidado. Ao longo do tempo, diferentes pesquisadores formularam índices que são relevantes para as circunstâncias particulares que eles estavam tentando avaliar (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003). Existem literaturas bastante independentes para quantificar interações entre plantas em ecologia, agricultura e silvicultura, o que contribuiu para a grande variedade de índices ecológicos atualmente disponíveis.

Para facilitar a explicação de alguns desses índices, serão considerados o consórcio de duas espécies apenas, aqui estas serão denominadas de cultura "1" e "2", e para todos os cálculos serão usadas as variáveis: Y_{12} é a produtividade da cultura "1" em consórcio com a cultura "2"; Y_{21} é a produtividade da cultura "2" em consórcio com a cultura "1". Y_{11} é a produtividade da cultura "1" em monocultura; Y_{22} é a produtividade da cultura "2" em monocultura. Alguns índices podem ter outras variáveis para os cálculos, que serão explicados junto com o índice.

A Produtividade Relativa (PR) é um índice desenvolvido por de Wit (1960) e de Wit e Van Den Bergh (1965) (RY, Relative Yield, no original). Conforme definido por estes autores, mede a produtividade da cultura consorciada (Y_{12}) dividindo pela produtividade da mesma na monocultura (Y_{11}) ($PR = Y_{12} / Y_{11}$), levando em consideração as proporções nas quais as espécies são cultivadas. Se a planta em consórcio cresce tão bem como quando em monocultura, o valor da produtividade relativa é 1,0 para a espécie. Um valor de PR de 1,0 significa que, para as espécies "1", a competição intra e interespecífica é igual, isto é, as espécies "1" apenas competem contra as plantas de sua própria espécie. Um valor de $PR > 1,0$ significa que as espécies "1" competem melhor contra as outras espécies do que com suas próprias espécies; isto é, competição intraespecífica é maior que a competição interespecífica. Um valor $PR < 1,0$ significa que, para as espécies "1", a competição

interespecífica é maior do que a competição intraespecífica, ou seja, a biomassa da espécie “1” é reduzida na presença das espécies “2”. Foi desenvolvido inicialmente para consórcios substitutivos (DE WIT; VAN DEN BERGH, 1965), mas o uso em consórcios aditivos também ocorre (SNAYDON, 1991). É um dos índices mais utilizados (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

A Eficiência de Uso da Área (EUA) (LER, Land Equivalent Ratio, no original) foi proposta por Willey e Osiru (1972), sendo a soma das PR das culturas envolvidas no consórcio ($EUA = (Y_{12} / Y_{11}) + (Y_{21} / Y_{22})$). Valores de $EUA = 1,0$ indicam que a produtividade na área do consórcio foi similar à produtividade das monoculturas. Quando $> 1,0$ indica ganho de produtividade por área, ou seja, seria necessária mais área da monocultura para ter produtividade similar ao consórcio. Se $< 1,0$ indica que não há viabilidade no consórcio. A EUA também pode ser chamada de Produtividade Relativa Total (no original, Relative Yield Total, RYT), sendo apresentada inicialmente por de Wit (1960) e de Wit e Van Den Bergh (1965), mas não havia um consenso para o uso adequado, visto que foi desenvolvida para consórcios substitutivos. A primeira proposta de alteração na fórmula ocorreu por McGilchrist e Trenbath (1971), que sugeriram dividir o resultado por 2 assim, teria a mesma interpretação que PR. Outra tentativa foi de Fowler (1982), que sugeriu multiplicar a PR pela proporção do estande da cultura no consórcio ($RYT = (Y_{12} / Y_{11}) \times p_{12} + (Y_{21} / Y_{22}) \times p_{21}$). Ambas as tentativas eram específicas para consórcios substitutivos, alegando que a RYT ‘original’ não refletia a competição intra e interespecífica (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001). A EUA, proposta por Willey e Osiru (1972), é matematicamente igual a RYT (HIEBSCH; MCCOLLUM, 1987), e indicada para consórcios aditivos e substitutivos, e quando $EUA > 1,0$ indica, de forma parcimoniosa, a quantidade de área a mais necessária para que a monocultura produza semelhante ao consórcio, mesmo quando as PR’s das culturas são menores que 1,0.

A Eficiência de Uso da Área no Tempo (EUAT) (ATER, Area x Time Equivalency Ratio, no original) proposta por Hiebsch (1978) e Hiebsch e McCollum (1987), é calculada pela soma das PR’s, mas levando em consideração o tempo que estas permanecem no consórcio ($EUAT = \{[(Y_{12}/Y_{11}) \times T_1] + [(Y_{21}/Y_{22}) \times T_2]\} / T_{12}$). Na equação, T_1 representa o número de dias do plantio até a colheita da espécie ‘1’ e T_2

representa o número de dias do plantio até a colheita da espécie '2'. O T_{12} representa a duração do sistema de consorciação. Se $EUAT > 1$ então ocorre vantagem produtiva, se $EUAT = 1$ não ocorre vantagem produtiva, se $EUAT < 1$ então ocorre desvantagem produtiva. EUAT é mais indicada para consórcios com culturas componentes de ciclos contrastantes. Quando os componentes são de durações de crescimento semelhantes, os valores de EUAT são semelhantes ao EUA (HIEBSCH; McCOLLUM, 1987). Quando a diferença dos ciclos das culturas componentes é substancial, o tempo se torna um elemento importante e EUAT é considerado um índice mais apropriado da eficiência do sistema (OFORI; STERN, 1987; HAMBURDĂ; MUNTEANU; TELIBAN, 2015), e nesse caso os valores de EUAT tendem a ser menores que EUA (HIEBSCH e McCOLLUM, 1987; THIAW; HALL; PARKER, 1993; JOHN; MINI, 2005; DOUBI et al., 2016).

O Coeficiente da Eficiência de Uso da Área (CEUA) (LEC, Land Equivalent Coefficient, no original) é obtido através da equação proposta por Adetiloye, Ezedinma e Okigbo (1983), sendo $CEUA = (Y_{12} / Y_{11}) \times (Y_{21} / Y_{22})$. Há ganho no cultivo consorciado quando $CEUA > 0,25$. Esses autores afirmaram que a EUA avalia de forma pouco clara a competição interespecífica, principalmente em consórcios substitutivos, visto que se uma cultura tiver sua proporção muito baixa, a PR deste tenderá a zero. O CEUA é mais indicado para consórcios substitutivos com proporção 0,5:0,5 ou consórcios aditivos (OLOWE; AJAYI; OGUNBAYO, 2006).

O Coeficiente Relativo de Adensamento (K) foi desenvolvido por de Wit (1960) (K, Relative Crowding Coefficient, no original), sendo $K = K_1 \times K_2$, onde: $K_1 = Y_{12} Z_{21} / (Y_{11} - Y_{12}) \times Z_{12}$ e $K_2 = Y_{21} Z_{12} / (Y_{22} - Y_{21}) \times Z_{21}$ ('Z', refere-se a proporção da cultura no consórcio, sendo Z_{12} e Z_{21} referente a proporção da cultura "1" e da cultura "2" no consórcio, respectivamente). Se K for igual, menor ou maior que 1 significa que o consórcio foi indiferente, não teve vantagem ou foi vantajoso, respectivamente, em relação aos monocultivos (BHATTI et al., 2006; CHAICHI et al., 2007). Este índice funciona para calcular o valor de K da espécie com um ou mais concorrentes. No entanto, existem alguns problemas com este índice que não devem ser ignorados. Segundo Williams e McCarthy (2001), se a produtividade em consórcio for exatamente igual à produtividade em monocultura, este índice não pode ser calculado (essa situação dará zero no denominador). Além disso, se a

produtividade em consórcio exceder a produtividade em monocultura, o número torna-se negativo. O índice depende da comparação de dois índices. Um número negativo no denominador inverte a curva de função desse índice (a proporção de plantio deve, por definição, ser sempre um número positivo). Assim, a função de K em valores PR é descontínua. Jolliffe, Minjas e Runecles (1984) afirmam que este índice só será válido para consórcios substitutivos, com duas espécies em proporções iguais (0,5:0,5). Roush et al. (1989), no entanto, afirmam que esse índice não depende dos efeitos de densidades iguais, porque é um cálculo direto e não interativo.

O índice de Competitividade Relativa (CR) (CR, Competitive Ratio, no original) foi obtido por Willey e Rao (1980), sendo $CR = CR_1 + CR_2$, onde: $CR_1 = [(Y_{12} / Y_{11}) / (Y_{21} / Y_{22}) \times Z_{21} / Z_{12}]$ e $CR_2 = [(Y_{21} / Y_{22}) / (Y_{12} / Y_{11}) \times Z_{12} / Z_{21}]$. CR_1 e CR_2 são os índices CR das culturas “1” e “2”, respectivamente, no cultivo consorciado. No consórcio, a cultura com maior CR caracteriza-se com maior capacidade de utilização dos recursos do meio. A CR foi proposta no contexto de consórcios agrícolas como um índice de agressividade relativa das espécies (WILLEY; RAO, 1980; CONNOLLY, 1986; COUSENS; O'NEILL, 1993; CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001). No entanto, exibe um viés de tamanho a favor de plantas maiores em consórcios de substituição (CONNOLLY, 1986; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

A Agressividade (AGR) (A ou AG, Aggressivity, no original) é um índice que indica o grau de competitividade entre as culturas. O índice pode ser calculado pela equação proposta por McGilchrist e Trenbath (1971), adaptado por Snaydon (1991), com o cálculo para as duas culturas envolvidas, $AGR_1 = (Y_{12} / Y_{11}) - (Y_{21} / Y_{22})$ e $AGR_2 = (Y_{21} / Y_{22}) - (Y_{12} / Y_{11})$. Para ambas as equações, se AGR for igual a zero, as culturas são igualmente competitivas. Se AGR for positivo, então essa cultura será a dominante e a outra cultura a dominada, que apresentará índice negativo. Inicialmente, foi proposto para consórcios substitutivos, entretanto, o uso em consórcios aditivos e análises individuais também são possíveis (GIBSON et al., 1999; CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001).

O Coeficiente Relativo de Aglomeração (CRA) (RCC, Relative Crowding Coefficient, no original) foi usado pela primeira vez por de Wit (1960). No entanto,

devido à definição do índice não ser muito clara, existem duas formas de utilização (SNAYDON, 1991), sendo a interpretação mais aceita e utilizada feita por Harper (1977), que é uma medida para comparar a agressividade relativa de uma espécie à outra. Foi calculado separadamente para cada espécie: $CRA_1 = (Y_{12} / Y_{11}) / (Y_{21} / Y_{22})$ e $CRA_2 = (Y_{21} / Y_{22}) / (Y_{12} / Y_{11})$. Valores de $CRA = 1$ indicam habilidade competitiva aproximadamente igual, enquanto valores > 1 ou < 1 indicam que uma espécie é mais ou menos competitiva, respectivamente, do que a outra espécie. É uma medida que pode ser usada tanto em consórcios substitutivos quanto em aditivos (SNAYDON, 1991; HOLT; YOUNG, 2014).

A Intensidade Absoluta de Competição (IAC) (ACI, Absolute Competition Intensity, no original) foi desenvolvida por Campbell e Grime (1992) e calcula diretamente a diferença entre as produtividades em monocultura e consórcio pela equação ($IAC_1 = Y_{11} - Y_{12}$ e $IAC_2 = Y_{22} - Y_{21}$). Valores positivos, nulos ou negativos indicam que há desvantagem, indiferença e vantagem na interferência no consórcio, respectivamente. A IAC foi criticada como um índice da intensidade da concorrência porque não reflete os impactos proporcionais nas populações de plantas (WILSON; TILMAN, 1993; GOLDBERG e SCHEINER, 2001), mas pode ser útil para indicar os mecanismos que controlam a interferência (GOLDBERG; SCHEINER, 2001).

A Intensidade Relativa de Competição (IRC) (RCI, Relative Competition Intensity, no original) foi utilizada pela primeira vez por Wilson e Keddy (1986), que inicialmente era chamada de competição difusa (DC, Diffuse Competition, no original) e foi ajustada por Grace (1995) para pesquisas de consórcio a fim de calcular a proporção da diferença entre as produtividades em monocultura e em consórcio. Grace (1995) sugeriu as seguintes equações: $IRC_1 = (Y_{11} - Y_{12}) / Y_{11}$ e $IRC_2 = (Y_{22} - Y_{21}) / Y_{22}$, sendo que valores positivos, nulos ou negativos indicam que há desvantagem, indiferença e vantagem na competição no consórcio, respectivamente. A IRC tem sido usada de várias maneiras (WEIGELT; JOLLIFFE, 2003). Com base em monoculturas, a IRC foi calculada como uma relação direta de monocultura e desempenho de consórcio (GRACE, 1995; SAMMUL et al., 2000; GREINER LA PEYRE et al., 2001) e como porcentagem do desempenho de monoculturas versus consórcio (CAMPBELL; GRIME, 1992; TURKINGTON; KLEIN, 1993), onde foi chamado de efeito competitivo proximal (GIBSON; FOIN; HILL,

1999). Mais comumente, no entanto, a IRC foi calculada em relação ao desempenho de plantas com diferentes densidades e de seu controle (que crescem sozinhas) (WILSON; KEDDY, 1986; WILSON; TILMAN, 1991). Também é utilizado em pesquisas que estudam competição de populações florestais (GOLDBERG; SCHEINER, 2001).

A Perda de Produtividade Real (PPR) (AYL, Actual Yield Loss, no original) é a perda de produtividade em cultivo consorciado em relação ao seu cultivo solteiro (BANIK, 1996; BANIK et al., 2000). Positivo ou negativo, o valor de PPR indica que há vantagem ou desvantagem do consórcio, respectivamente. É calculado por: $PPR = PPR_1 + PPR_2$, sendo: $PPR_1 = \{[(Y_{12} / Y_{11}) \times (100 / Z_{12})] - 1\}$ e $PPR_2 = \{[(Y_{21} / Y_{22}) \times (100 / Z_{21})] - 1\}$. Segundo Banik et al. (2000), a PPR fornece informações mais precisas sobre a concorrência inter e intraespecífica das culturas componentes e o comportamento de cada espécie no sistema de consórcio, pois é baseado na produção por planta. A PPR é a produtividade proporcional ou o ganho de culturas consorciadas em comparação com a respectiva monocultura, isto é, leva em consideração a proporção real semeada das culturas componentes com seu estande solteiro. Além disso, a PPR parcial (de cada cultura) representa a produção ou o ganho proporcional de cada espécie quando cultivados consorciados, em relação à sua produção na monocultura (DHIMA et al., 2007).

O Índice de Produtividade do Sistema (IPS) (SPI, System Productivity Index, no original) foi obtido conforme metodologia proposta por Odo (1991), sendo: $IPS = ((Y_{11} / Y_{22}) \times Y_{21}) + Y_{12}$. A principal vantagem do IPS é que esse índice uniformiza a produtividade da cultura secundária em termos da cultura principal (ODO, 1991). Esse índice também identifica a combinação que utiliza os recursos de crescimento de forma mais efetiva e caracteriza a performance de estabilidade produtiva (PINTO; PINTO; PITOMBEIRA, 2012).

2.3 – Fator luz em cultivos consorciados

A "interferência entre plantas" pode ser definida como a captura de recursos essenciais de um local comum por indivíduos vizinhos (GRIME, 2001). Esta definição inclui o uso direto de recursos comuns pelos vizinhos e também o efeito

indireto de uma planta sobre a disponibilidade de um recurso para o indivíduo vizinho (GOLDBERG; NOVOPLANSKY, 1997; GOLDBERG et al., 1999).

Willey (1979a) coloca a luz, no consórcio, como o fator mais importante e notou que esta era diferente de outros recursos para o crescimento vegetal, na medida em que é instantaneamente disponível e, portanto, deve ser interceptada instantaneamente para ser benéfica, enquanto outros recursos são disponibilizados e ficam aguardando a utilização pela planta. A passagem de luz através da copa é afetada pela orientação da linha de semeadura, além da densidade populacional da cultura, arquitetura e espaçamento destas.

A competição por luz é muitas vezes considerada como o processo decisivo em comunidades de plantas densas, incluindo florestas fechadas. As medidas diretas da concorrência leve são imediatamente relevantes para a compreensão dos mecanismos de interação dos vizinhos nessas comunidades (TRINDER; BROOKER; ROBINSON, 2013). E, nesse aspecto, os consórcios precisam de um bom planejamento para o máximo de exploração possível dos recursos disponíveis, inclusive luz, visto que as plantas vizinhas competem por radiação solar por interceptação direta (KEATING; CARBERRY, 1993).

O espaçamento das fileiras é uma prática determinante para a distribuição espacial das plantas, que afeta a estrutura do dossel, a interceptação de luz e a eficiência do uso da radiação e, consequentemente, a produção de biomassa (HEUVELINK, 1995; MATTERA et al., 2013). A eficiência do uso da luz pode ser significativamente aumentada pelo aumento da densidade da planta (WORKU; DEMISIE, 2012; MAO et al., 2014), embora também tenham sido relatados resultados opostos (HEUVELINK, 1995).

O aprimoramento da interceptação de luz através de uma melhor disposição espacial das copas dos componentes está claramente associado à distribuição temporal da área foliar (KEATING; CARBERRY, 1993; PAPADOPOULOS; PARARAJASINGHAM, 1997). No entanto, culturas com ciclos de crescimento semelhantes e taxa de desenvolvimento da área foliar diferentes ainda podem diferir na interceptação de luz devido às diferenças na disposição vertical da folhagem, por causa da arquitetura do dossel ou na disposição horizontal do padrão de plantio

(BARILLOT et al., 2011). Ao discutir este aspecto, é útil separar os sistemas de consórcio em sistemas "aditivos" e "substitutivos".

Em um consórcio aditivo, um componente de cultura é plantado em arranjo semelhante ao seu monocultivo e um segundo componente é adicionado, de modo que aumenta a densidade total de plantas na área. Nos sistemas em que a estrutura do dossel pode ser considerada horizontalmente homogênea, a interceptação de luz é essencialmente unidimensional (HARRIS; NATARAJAN; WILLEY, 1987). Em um consórcio de substituição, várias linhas de um componente são substituídas por um segundo componente com densidade total da planta que não está necessariamente em mudança. A consequência da interceptação de luz é que a estrutura do dossel horizontal se torna mais heterogênea, e as diferenças de acordo com a posição horizontal, na atenuação da luz na dimensão vertical, precisam ser consideradas (HARRIS; NATARAJAN; WILLEY, 1987; BARILLOT et al., 2011).

Se uma espécie em um consórcio é mais alta, desenvolve mais área foliar na parte superior do dossel ou mantém folhas numa orientação mais horizontal, então irá obter alguma vantagem em situações em que esses traços não são exibidos (GAO et al., 2013). Cenpukdee e Fukai (1992), por exemplo, observaram que, no cultivo de mandioca consorciada com soja, a quantidade de luz transmitida para a soja estava correlacionada negativamente com a altura e a largura do dossel das 18 cultivares de mandioca estudadas.

A captura de radiação aumentada por consórcios pode ser esperada espacialmente quando a produção de um componente é maximizado a uma densidade de plantação inferior à necessária para interceptação completa de luz (KEATING; CARBERRY, 1993). Este critério é cumprido em muitas situações de restrição de água ou nutrientes, mas nessas circunstâncias, a luz adicional capturada pelo consórcio só será vantajosa se os componentes não competem fortemente pelo recurso considerado restrito (BEDOUSSAC; JUSTES, 2010; GAO et al., 2013). Willey (1979a) concluiu que um melhor uso espacial da radiação solar por consórcios não resultaria de maior interceptação de luz, mas sim de um uso mais eficiente da luz interceptada.

Alterar o arranjo espacial de uma ou das culturas envolvidas no consórcio, verticalmente ou horizontalmente, modifica o equilíbrio de interceptação entre os

dosséis das copas dos componentes (DORAIS; GOSSELIN; TRUDEL, 1991). A sugestão mais comum para vários autores é para copas verticais de folhas estreitas, com as folhas superiores cada vez mais anguladas para permitir que a radiação penetre no dossel e evite a saturação de luz das folhas do dossel superiores (WILLEY, 1979a; KEATING; CARBERRY, 1993; BEDOUSSAC; JUSTES, 2010). Tais saturações geralmente não ocorrem em comunidades naturais (GAO et al., 2013) e, portanto, o cultivo consorciado fornece um meio para alcançar essa estrutura do dossel através do planejamento adequado.

Cultivos consorciados alteram o ambiente das culturas componentes, especialmente no grau de sombreamento por plantas que crescem rente ao solo. Os efeitos do sombreamento na fisiologia e morfologia da planta são comprovados (WILSON; THOMPSON; HODGSON, 1999; GONDIM et al., 2007; OLIVEIRA; ARAÚJO; GUERRA, 2011). Wilson, Thompson e Hodgson (1999) resumiram os efeitos da sombra sobre a fisiologia e as estruturas das folhas. Geralmente, as folhas que se desenvolvem na sombra são mais finas, aumentadas na área e exibem mais orientação horizontal. A taxa fotossintética por unidade de área em tais folhas é menor sob luz alta, mas equivalente ou maior sob luz baixa. Enquanto o sombreamento reduz a interceptação de luz, causando reduções na produção de biomassa e partição para as folhas, os pesos secos em folhas menores são geralmente compensados por um aumento na área foliar específica (LOPES; LIMA, 2015).

2.4 – Estresses de plantas em cultivos consorciados

O estresse das plantas foi definido por Lichtenthaler (1996) como "qualquer condição ou substância desfavorável que afeta ou bloqueie o metabolismo, o crescimento ou o desenvolvimento de uma planta"; por Strasser como "uma condição causada por fatores que tendem a alterar um equilíbrio" e por Larcher como "mudanças na fisiologia que ocorrem quando as espécies estão expostas a condições desfavoráveis extraordinárias que não precisam representar uma ameaça para a vida, mas irão induzir uma resposta de alarme".

Equivalente ao "estresse" e à "tensão" na mecânica, os cientistas de plantas costumam usar "fator de estresse" e "estresse". Independentemente da terminologia, os fatores de estresse (ou tensões) que vêm de fora precisam ser distinguidos dos estresses (ou tensões) dentro de um organismo (KRANNER et al., 2010).

Os fatores que induzem o estresse podem ser "bióticos", resultantes de organismos vivos, como fungos e insetos, ou "abióticos", resultantes de fatores não vivos, como a seca, temperaturas extremas, salinidade e poluentes como metais pesados (DAS; BHATTACHARYA, 2017). O equilíbrio entre tolerância e sensibilidade pode determinar se um fator de estresse tem um efeito positivo (eustress) ou negativo (distress) (KRANNER et al., 2010). Por exemplo, a deficiência hídrica provoca danos nos tecidos vegetativos das plantas vasculares e é letal abaixo do ponto de murcha permanente, enquanto a deficiência de água acima do ponto de murcha permanente ou por curtos períodos de tempo pode induzir endurecimento (LICHTENTHALER, 1996; KRANNER et al., 2010). Além disso, os estresses a curto e longo prazo (persistentes) precisam ser distinguidos, bem como "eventos de baixa tensão" que podem ser parcialmente compensados pela aclimação, adaptação e reparo e eventos de estresse fortes ou crônicos que causam danos consideráveis e podem levar à morte de células e plantas (LICHTENTHALER, 1996). Assim, a resposta da planta ao estresse variará com o aumento da duração e a gravidade do estresse.

O cultivo consorciado, abordado anteriormente, pode causar uma competição entre as plantas por recursos, como luz, nutrientes e/ou água (WILLEY, 1979b; VANDERMEER, 1989). Quanto à luz, as plantas podem adaptar sua morfologia foliar, bem como a estrutura e função de seu aparelho fotossintético à intensidade da luz incidente (LOPES; LIMA, 2015). Esta resposta de adaptação é melhor visualizada em folhas de árvores que permanecem ao sol e também à sombra, possuindo não só uma morfologia e composição química diferentes, mas também taxas diferentes de fotossíntese (LICHTENTHALER, 1996). As plantas com folhas mais altas e expostas diretamente à radiação solar exibem área foliar menor (para reduzir a taxa de transpiração) e são mais espessas (por exemplo, células de parênquima paliádico mais longas) do que folhas de sombra ou folhas de plantas que recebem pouca radiação, e possuem cloroplastos com taxas mais elevadas de

conversão quântica fotossintética e assimilação líquida de CO₂ e também um maior ponto de compensação de luz e um maior ponto de saturação de luz do processo fotossintético geral (LICHTENTHALER, 1996; LOPES; LIMA, 2015). Folhas de plantas que recebem mais luz possuem cloroplastos com quantidades muito inferiores das clorofilas *a* e *b*, um menor grau de empilhamento de tilacóides, menos tilacóides por cloroplasto, mas a cadeia de transporte de elétrons fotossintéticos e centros de reações fotossintéticos mais eficientes por clorofila total, em comparação com os cloroplastos de baixa luminosidade ou de sombra (KRANNER et al., 2010; FU; LI; WU, 2012). O último, por sua vez, exibe pilhas de grana muito maiores e mais largas e investiu em uma grande capacidade de captação de luz para superar a escassez de luz em sua sombra ou local de pouca luz (LICHTENTHALER, 1996; KRANNER et al., 2010).

A modificação da folha ao sol e/ou à sombra só pode ser expressa durante o crescimento da folha, mas a adaptação da ultraestrutura do cloroplasto e função fotossintética a condições de crescimento com alta intensidade luminosa ou de baixa intensidade (sombra), é possível durante todo o período de vegetação e leva cerca de uma semana, a fim de converter completamente o cloroplasto de sombra em cloroplasto de sol ou vice-versa (LICHTENTHALER, 1996; KRANNER et al., 2010; LOPES; LIMA, 2015). Isso indica que uma adaptação de folhas e cloroplastos a altas e baixas luminosidades também está associada à maior tolerância ao estresse. Em plantas com baixa tolerância ao estresse, a capacidade dos diferentes mecanismos de redução do estresse é muito baixa, e alguns dos mecanismos podem não existir. Assim, tais plantas atingem um estágio de dano agudo muito rápido, já que seu mínimo de resistência ao estresse já ficou baixo em um baixo nível de estresse. O estado nutricional da planta e a capacidade de adaptação da clorofila estão correlacionados, da mesma forma que a quantidade de radiação que chega às plantas e seu efeito direto no estado nutricional (HENRIQUES; MARCELIS, 2000; FU et al., 2012; FU; LI; WU, 2012).

Um número cada vez maior de evidências sugere que muitos estresses bióticos e abióticos causam danos direta e indiretamente nas plantas por meio do estresse oxidativo, que é provocado pelo incremento na produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), geradas a partir do sistema de transporte de elétrons

(HUAMAN; CONTIN, 2016). A produção de ERO em condições normais de crescimento em células vegetais é baixa ($240 \mu\text{M s}^{-1} \text{O}_2^-$ em um estado de nível normal de $0,5 \mu\text{M}$ de H_2O_2 em cloroplastos) (POLLE, 2001; SHARMA; JHA; DUBEY, 2011). No entanto, as várias condições estressantes do ambiente que perturbam a homeostase celular aumentam a produção de ERO (até $720 \mu\text{M s}^{-1} \text{O}_2^-$ e um estado estacionário de $5-15 \mu\text{M}$ H_2O_2) (POLLE, 2001). Quando o nível de ERO excede os mecanismos de defesa, diz-se que uma célula está em estado de "estresse oxidativo". O estresse oxidativo é definido como uma mudança do equilíbrio entre reações prooxidativas e antioxidantes a favor do primeiro (HUAMAN; CONTIN, 2016; LIMA; GRATÃO, 2016). O nível aumentado destas ERO causam danos oxidativos a biomoléculas tais como lipídios de membrana, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, pigmentos de cloroplasto, etc. (POLLE, 2001; MITTLER, 2002; SHARMA; JHA; DUBEY, 2011; HUAMAN; CONTIN, 2016; LIMA; GRATÃO, 2016).

Pelo fato das plantas viverem em ambientes altamente oxidativos, as ERO são formadas com facilidade dentro de suas células e podem provocar uma diversidade ampla de danos (HUAMAN; CONTIN, 2016). Nesse sentido, as plantas desenvolveram mecanismos enzimáticos e não enzimáticos antioxidantes que são muito rápidos e eficientes para proteger suas células dos efeitos tóxicos das ERO, evitando dano oxidativo (DAS; BHATTACHARYA, 2017). Os antioxidantes não enzimáticos normalmente são moléculas pequenas, tais como glutaniona, cisteína, hidroquinonas, manitol, vitamina C, vitamina E, flavonóides e alguns alcalóides e carotenoides (GRATÃO et al., 2005; ALVES; REIS; GRATÃO, 2016; HUAMAN; CONTIN, 2016). As defesas enzimáticas incluem a catalase (CAT, EC 1.11.1.6), ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11), superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), glutathione redutase (GR, EC 1.6.4.2), que é responsável pela regeneração da glutathione (GSH), dentre outras.

As enzimas SOD compreendem uma família de metaloenzimas que catalisam com grande eficiência a transformação do radical superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio (O_2), e são consideradas a primeira linha de defesa contra O_2^- (HUAMAN; CONTIN, 2016). Existem três grupos de SOD, sendo um de ferro (Fe SOD), outro manganês (Mn SOD) e o terceiro cobre-zinco (Cu-Zn SOD) (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002; ALVES; REIS; GRATÃO, 2016). A atividade

da SOD tem sido reportada em várias situações de estresse, tais como deficiência hídrica, encharcamento, temperaturas altas ou de resfriamento, excesso de luz, toxicidade de metais pesados, etc (SHARMA; JHA; DUBEY, 2011).

A CAT foi a primeira enzima antioxidante a ser descoberta (LIMA; GRATÃO, 2016), sendo uma das mais eficientes enzimas catalíticas conhecidas (HUAMAN e CONTIN, 2016). Ela reage diretamente com H_2O_2 para formar água (H_2O) e oxigênio (O_2) (SHARMA; JHA; DUBEY, 2011). É dividida em três classes, uma presente em tecidos fotossintéticos e regulada por luz, outra em tecidos vasculares e a terceira em sementes (WILLEKENS et al., 1994).

A APX é uma enzima que degrada H_2O_2 , sendo encontrada em plantas superiores, algas e algumas cianobactérias em diferentes compartimentos celulares, como o citosol, cloroplasto e mitocôndria (APEL; HIRT, 2004). A atividade da APX é aumentada junto com as atividades de outras enzimas, como a SOD, GR e CAT, em resposta a vários fatores de estresse ambiental, sugerindo que os componentes de sistemas dissipadores de ERO são corregulados (HUAMAN; CONTIN, 2016).

A GR é uma flavoproteína e seu mecanismo catalítico envolve duas etapas: primeiro, a fração de flavina é reduzida por NADPH, a flavina é oxidada e uma ponte dissulfureto redox-ativa é reduzida para produzir um anion tiolato e uma cisteína, e o segundo passo envolve a redução da glutathiona oxidada (GSSG) através de reações de troca de tiol-dissulfeto (SHARMA; JHA; DUBEY, 2011). A proteína enzimática, embora sintetizada no citoplasma, pode ser direcionada ao cloroplasto e às mitocôndrias (GRATÃO et al., 2005). Em plantas superiores, o GR está envolvido na defesa contra o estresse oxidativo, enquanto a glutathiona reduzida (GSH) desempenha um papel importante dentro do sistema celular, que inclui a participação no ciclo ascorbato-glutathiona, manutenção dos grupos sulfidrilo de cisteína em forma reduzida, armazenamento de enxofre reduzido e um substrato para glutathion-S-transferases (GRATÃO et al., 2005; SHARMA; JHA; DUBEY, 2011).

Numa situação normal há um balanço equilibrado entre as quantidades de radicais livres e enzimas antioxidantes (XIA et al., 2015; DEL RÍO; LÓPEZ-HUERTAS, 2016), e não necessariamente estes radicais são ruins às plantas (MITTLER, 2017), e nesse sentido, é preciso entender quais as quantidades e situações que realmente causam estresse oxidativo às plantas (FU et al., 2012).

2.5 – Alface e pepino em cultivo consorciado

No setor agrícola, a atividade de olericultura demonstra cada vez mais que os agricultores estão se especializando nesta atividade (FONTES, 2005), e dentre as hortaliças folhosas produzidas no Brasil, a alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família Asteraceae, é a de maior importância econômica. A alface é a hortaliça folhosa mais consumida na dieta brasileira por ter sabor agradável, baixo preço e ainda ser uma fonte de vitaminas e minerais (RESENDE et al., 2005; ROSA et al., 2014), sendo a área produzida de alface no Brasil correspondente a pouco mais de 91.000 ha (CNA, 2017). O consumo da alface é feito praticamente todo in natura, apresentando a seguinte composição média, segundo Ohse et al. (2001), por 100 g de porção: 94% de água; 18 Kcal de calorias; 1,3 g de proteína; 3,5 g carboidratos totais; 0,7 g de fibra; 68 mg de Ca; 27 mg de P; 1,4 mg de Fe; 264 mg de K; 0,05 mg de tiamina; 0,08 mg de riboflavina; 0,4 mg de niacina; 18,0 mg vitamina C, para alface produzida no solo. Segundo Filgueira (2008) as cultivares de alface são classificadas como tipo repolhuda-manteiga, repolhuda-crespa (americana), solta-lisa, solta-crespa, mimosa e romana.

O pepino (*Cucumis sativus* L.), pertencente à família Cucurbitaceae, é muito apreciado e consumido em todo Brasil, na forma de fruto imaturo em saladas, curtido em salmoura ou vinagre e cozido (CARDOSO; SILVA, 2003; FONSECA et al., 2003). No período de 2011 a 2014, o volume total médio comercializado de pepino, no Entrepasto Terminal São Paulo da CEAGESP, foi 54,85 mil toneladas (AGRIANUAL, 2017). Segundo Carvalho et al. (2013), os valores nutricionais de 100g de pepino com casca são: 96 % de água, 17,86 Kcal de calorias; 3,57 µg de vitamina A; 3,57 g carboidratos totais; 17,86 mg de P; 0,36 mg de Fe; 150 mg de K; 3,57 mg de Na; 14,29 mg de Ca; 0,04 mg de tiamina; 0,04 mg de riboflavina; 0,36 mg de niacina; 3,58 mg de vitamina C. Possui várias cultivares e híbridos no mercado, com diferentes tamanhos, formas, coloração dos frutos, sabor e características vegetativas (porte, hábito, ciclo, biologia reprodutiva) sendo classificados em cinco grupos distintos: aodai ou salada, caipira, japonês, holandês e industrial, também chamado de conserva (SEDIYAMA et al., 2014). Nesse sentido, permite que o cultivo do pepino possa ser manejado de forma rasteira ou tutorado, em ambiente

aberto ou em cultivo protegido, abrangendo tanto o modelo de produção convencional como orgânico. Esta grande versatilidade oferecida pela cultura permite sua exploração em diferentes condições edafoclimáticas, estruturas fundiárias e níveis tecnológicos, assim garantindo sua importância econômica e social dentro do agronegócio de hortaliças no Brasil (MICHEREFF FILHO et al., 2012; SEDIYAMA et al., 2014).

Existem alguns estudos sobre cultivo consorciado de alface e pepino (SILVA et al., 2008; BARROS et al., 2009; REZENDE et al., 2010, 2011; CECÍLIO FILHO et al., 2015). A viabilidade econômica deste consórcio já é comprovada (SILVA et al., 2008; BARROS et al., 2009; REZENDE et al., 2011), assim como a viabilidade produtiva do consórcio na área (REZENDE et al., 2010; CECÍLIO FILHO et al., 2015), e a melhor época de instalação do consórcio (REZENDE et al., 2010). Todavia, os fenômenos fisiológicos e bioquímicos ainda não estão claros, da mesma forma a quantificação da luz, que é colocada como principal fator determinante do consórcio alface e pepino (REZENDE et al., 2010; CECÍLIO FILHO et al., 2015). Entender o máximo possível de fenômenos que estão envolvidos no consórcio é fundamental para elevar o nível de qualidade e produtividade, que retornará em maior rentabilidade aos agricultores que trabalham nesse segmento.

3 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETILOYE, P. O.; EZEDINMA, F. O. C.; OKIGBO, B. N. A land equivalent coefficient (LEC) concept for the evaluation of competitive and productive interactions in simple to complex crop mixtures. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 27–39, 1983.

AGRIANUAL 2017: Anuário da agricultura brasileira. 22 ed. São Paulo, FNP Consultoria & Comércio, 2016. 432 p.

ALMEIDA, A. E. S.; BEZERRA NETO, F.; COSTA, L. R.; SILVA, M. L.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P. Eficiência agronômica do consórcio alface-rúcula fertilizado com flor-de-seda. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 79–85, 2015.

ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1331–1341, 2002.

ALVES, L. R.; REIS, A. R.; GRATÃO, P. L. Heavy metals in agricultural soils: From plants to our daily life. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n. 3, p. 346–361, 2016.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373–379, 2004.

BANIK, P. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 176, n. 5, p. 289–294, 1996.

BANIK, P.; SASMAL, T.; GHOSAL, P. K.; BAGCHI, D. K. Evaluation of mustard (*Brassica campestris* Var. Toria) and legume Intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 185, n. 1, p. 9–14, 2000.

BARILLOT, R.; LOUARN, G.; ESCOBAR-GUTIÉRREZ, A. J.; HUYNH, P.; COMBES, D. How good is the turbid medium-based approach for accounting for light partitioning in contrasted grasslegume intercropping systems? **Annals of Botany**, Oxford, v. 108, n. 6, p. 1013–1024, 2011.

BARROS, A. P.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; SILVA, G. S.; MARTINS, M. I. E. G. Análise econômica da alface americana em monocultura e consorciada com pepino japonês em ambiente protegido. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 82–89, 2009.

BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, M. J. T. Desempenho agronômico do bicultivo da alface em sistemas consorciados com cenoura em faixa sob diferentes densidades populacionais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 712–717, 2005.

BARROS JÚNIOR, A. P.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MARTINS, M. I. E. G.; PÔRTO, D. R. Q. Custo de produção e rentabilidade de alface crespa e americana em monocultura e quando consorciada com rúcula. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 181–192, 2008.

BARROS JÚNIOR, A. P.; CECÍLIO FILHO A. B.; REZENDE B. L. A.; PÔRTO D. R. Q.; PRADO R. M. Nitrogen fertilization on intercropping of lettuce and rocket. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 398–403, 2011.

BATISTA, T. M. V.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, I. N.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, E. Q.; BARROS JÚNIOR, A. P. Agronomic efficiency of the intercropping of arugula with carrot under different population combinations. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 76–84, 2016a.

BATISTA, T. M. V.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, I. N.; SILVA, M. L.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, E. Q. Bio-agro-economic returns from carrot and salad rocket as intercrops using hairy woodrose as green manure in a semi-arid region of Brazil. **Ecological Indicators**, New York, v. 67, p. 458–465, 2016b.

BAUMANN, D. T.; BASTIAANS, L.; KROPFF, M. J. Competition and crop performance in a leek-celery intercropping system. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 3, p. 764–774, 2001.

BEDOUSSAC, L.; JUSTES, E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat – winter pea intercrop. **Plant and Soil**, Haia, v. 330, n. 1–2, p. 37–54, 2010.

BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Aggressivity: cucumber vs. amaranth. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 4, p. 986–991, 2006a.

BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Smooth pigweed (*Amaranthus hybridus* L.) and livid amaranth (*Amaranthus lividus*) interference with cucumber (*Cucumis sativus*). **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 227–231, 2006b.

BEZERRA NETO, F.; ANDRADE, F. V.; NEGREIROS, M. Z.; SANTOS JÚNIOR, J. S. Desempenho agroecológico do consórcio cenoura x alface lisa em dois sistemas de cultivo em faixa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 635–641, 2003.

BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; NUNES, G. H. S.; OLIVEIRA, E. Q. Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 514–520, 2007.

BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; AROUCHA, E. M. M.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVA, E. O. Conteúdo de nutrientes na folha de alface em sistema consorciado com cenoura sob diferentes densidades populacionais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 116–123, 2008.

BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; ARAÚJO, R. R.; OLIVEIRA, E. Q.; NUNES, G. H. S.; GRANGEIRO, L. C.; AZEVEDO, C. M. S. B. Evaluation of yield advantage indexes in carrot-lettuce intercropping systems. **Interciencia**, Caracas, v. 35, n. 1, p. 59–64, 2010.

BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; OLIVEIRA, A. M. DE. Produtividade biológica em sistemas consorciados de cenoura e alface avaliada através de indicadores agroeconômicos e métodos multicritério. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 193–198, 2007.

BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; GOMES, E. G.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MOREIRA, J. N. Assessment of agroeconomic indices in polycultures of lettuce, rocket and carrot through uni- and multivariate approaches in semi-arid Brazil. **Ecological Indicators**, New York, v. 14, n. 1, p. 11–17, 2012.

BHATTI, I. H.; AHMAD, R.; JABBAR, A.; NAZIR, M. S.; MAHMOOD, T. Competitive behaviour of component crops in different sesame-legume intercropping systems. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 8, p. 165–167, 2006.

BRENNAN, E. B. Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. **Biological Control**, San Diego, v. 65, n. 3, p. 302–311, 2013.

BRENNAN, E. B. Agronomy of strip intercropping broccoli with alyssum for biological control of aphids. **Biological Control**, San Diego, v. 97, p. 109–119, 2016.

CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M.; ARAÚJO, M. L. Produtividade de cenoura e alface em sistema de consorciação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 143–146, 1999.

CAMPBELL, B. D.; GRIME, J. P. An experimental test of plant strategy theory. **Ecology**, Washington, v. 73, n. 1, p. 15–29, 1992.

CARDOSO, A. I. I.; SILVA, N. Avaliação de híbridos de pepino do tipo japonês sob ambiente protegido em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 170–175, 2003.

CARVALHO, A. D. F.; AMARO, G. A.; LOPES, J. F.; VILELA, N. J.; MICHEREFF FILHO, M.; ANDRADE, R. **A cultura do pepino**. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 2013. 18 p. (Circular Técnica nº 113).

CARVALHO, L. M.; NUNES, M. U. C.; OLIVEIRA, I. R.; LEAL, M. L. S. Produtividade do tomateiro em cultivo solteiro e consorciado com espécies aromáticas e medicinais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 458–464, 2009.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L.; SILVA, G. S.; GRANGEIRO, L. C. Interação entre alface e tomateiro consorciados em ambiente protegido, em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 158–164, 2008.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BARBOSA, J. C.; GRANGEIRO, L. C. Agronomic efficiency of intercropping tomato and lettuce. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 3, p. 1109–1119, 2011.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; LIMA, J. S. S. Indices of bio-agroeconomic efficiency in intercropping systems of cucumber and lettuce in greenhouse. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 12, p. 1154–1164, 2015.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; GRANGEIRO, L. C.; LIMA, J. S. S. Indices of competition and bio-agroeconomic efficiency of lettuce and tomato intercrops in greenhouses. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 7, n. 6, p. 809–819, 2013.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BIANCO, M. S.; TARDIVO, C. F.; PUGINA, G. C. M. Agronomic viability of New Zealand spinach and kale intercropping. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 4, p. 2975–2986, 2017.

CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A. Produtividade das culturas de alface e rabanete em função da época de estabelecimento do consórcio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 501–504, 2002.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; CANATO, G. H. D. Produtividade de alface e rabanete em cultivo consorciado estabelecido em diferentes épocas e espaçamentos entre linhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 15–19, 2007.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; COSTA, C. C. Economic analysis of the intercropping of lettuce and tomato in different seasons under protected cultivation. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 326–336, 2010.

CENPUKDEE, U.; FUKAI, S. Cassava/legume intercropping with contrasting cassava cultivars. 2. Selection criteria for cassava genotypes in intercropping with two contrasting legume crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 135–149, 1992.

CHAICHI, M. R.; DARYAEI, F.; AQAALIKHANI, M. Forage production of sorghum and alfalfa in soil and intercropping system. **Asian Journal Plant Science**, Bholapur, v. 6, p. 833–838, 2007.

CONNOLLY, J. On Difficulties with replacement-series methodology in mixture experiments. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 125–137, 1986.

CONNOLLY, J. What is wrong with replacement series? **Trends in Ecology and Evolution**, Barking, v. 3, n. 1, p. 24–26, 1988.

CONNOLLY, J.; GOMA, H. C.; RAHIM, K. The information content of indicators in intercropping research. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 191–207, 2001.

COSTA, C. C.; REZENDE, B. L. A.; BARBOSA, J. C.; GRANGEIRO, L. C. Viabilidade agrônômica do consórcio de alface e rúcula, em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 34–40, 2007.

COSTA, C. C.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MARTINS, M. I. E. G. Viabilidade econômica dos consórcios de grupos de alface com rúcula, em duas épocas de cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 27–42, 2008.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1038–1047, 2012.

COUSENS, R.; O'NEILL, M. Density dependence of replacement series experiments. **Oikos**, Copenhagen, v. 66, n. 2, p. 347–352, 1993.

DAS, S.; BHATTACHARYA, S. S. Environmental stress and stress biology in plants. In: SIDDIQUI, M. W.; BANSAL, V. (Eds.). **Plant Secondary Metabolites. Vol. 3 – Their Roles in Stress Ecophysiology**. New Jersey: Apple Academic Press. 2017. p. 1–37.

DE WIT, C. T. On competition. **Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen**, Wageningen, v. 66, p. 1–82, 1960.

DE WIT, C. T.; VAN DEN BERGH, J. P. Competition between herbage plants. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 13, n. 2, p. 212–221, 1965.

DEL RÍO, L. A.; LÓPEZ-HUERTAS, E. ROS Generation in peroxisomes and its role in cell signaling. **Plant & Cell Physiology**, Tokyo, v. 57, n. 7, p. 1364–1376, 2016.

DHIMA, K. V.; LITHOURGIDIS, A. S.; VASILAKOGLU, I. B.; DORDAS, C. A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 100, n. 2–3, p. 249–256, 2007.

DORAIS, M.; GOSSELIN, A.; TRUDEL, M. J. Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 45, n. 3–4, p. 225–234, 1991.

DOUBI, B. T. S.; KOUASSI, K. I.; KOUAKOU, K. L.; KOFFI, K. K.; BAUDOIN, J.; ZORO, B. I. A. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta* Crantz and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley. **Journal of Plant Interactions**, Oxford, v. 11, n. 1, p. 178–185, 2016.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157 p.

FAGERIA, N. K. Sistemas de cultivo consorciado. In: _____ (Ed.). **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa-DPU, 1989. p.185-196.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008. 412 p.

FLESCHE, R. D. Efeitos temporais e espaciais no consórcio intercalar de milho e feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 51–56, 2002.

FONSECA, I. C. B.; KLAR, A. E.; GOTO, R.; NEVES, C. S. V. J. Colored polyethylene soil covers and grafting effects on cucumber flowering and yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 643-649, 2003.

FONTES, P. C. R. A Produção de hortaliças - Olericultura. In: _____ (Ed.). **Olericultura: Teoria e Prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 3-13.

FOWLER, N. Competition and coexistence in a North Carolina grassland: III. Mixtures of componentspecies. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 77–92, 1982.

FU, W.; LI, P.; WU, Y.; TANG, J. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. **Horticultural Science**, Prague, v. 39, n. 3, p. 129–134, 2012.

FU, W.; LI, P.; WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 135, p. 45–51, 2012.

GAO, L.; XU, H.; BI, H.; XI, W.; BAO, B.; WANG, X.; BI, C.; CHANG, Y. Intercropping competition between apple trees and crops in agroforestry systems on the loess plateau of China. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 7, p. e70739, 2013.

GIBSON, D. J.; FOIN, T. C.; HILL, J. E. Designs for greenhouse studies of interactions between plants. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 87, n. 1, p. 1–16, 1999.

GIBSON, K. D.; FOIN, T. C.; HILL, J. E. The relative importance of root and shoot competition between water-seeded rice and *Echinochloa phyllopogon*. **Weed Research**, v. 39, n. 3, p. 181–190, 1999.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 639 p.

GOLDBERG, D. E.; RAJANIEMI, T.; GUREVITCH, J.; STEWART-OATEN, A. Empirical approaches to quantifying interactions intensity: competition and facilitation along productivity gradient. **Ecology**, Washington, v. 80, n. 4, p. 1118–1131, 1999.

GOLDBERG, D.; NOVOPLANSKY, A. On the relative importance of competition in unproductive environments. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 85, n. 4, p. 409–418, 1997.

GOLDBERG, D. E.; SCHEINER, S. M. ANOVA and ANCOVA: Field competition experiments. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J. (Eds.). **Design and Analysis of Ecological Experiments**. New York: Chapman & Hall, 1993. p. 77–98.

GONDIM, A. R. O.; PUIATTI, M.; CECON, P. R.; FINGER, F. L. Crescimento, partição de fotoassimilados e produção de rizomas em taro cultivado sob sombreamento artificial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 418–428, 2007.

GRACE, J. B. The influence of the strategic planning process on strategic. **Ecology**, Washington, v. 76, n. 1, p. 305–308, 1995.

GRACIANO, J. D.; HEREDIA ZARATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GIULIANI, A. R.; SOUZA, T. M.; QUAST, A. Produção e renda bruta de rabanete e alface em cultivo solteiro e consorciado. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 397–401, 2007.

GRANGEIRO, L. C.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CALDAS, A. V. C.; COSTA, N. L. Produtividade da beterraba e rúcula em função da época de plantio em monocultivo e consórcio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 577–581, 2007.

GRANGEIRO, L. C.; SANTOS, A. P.; FREITAS, F. C. L.; SIMÃO, L. M. C.; BEZERRA NETO, F. Avaliação agroeconômica das culturas da beterraba e coentro em função da época de estabelecimento do consórcio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 242–248, 2011.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 32, n. 6, p. 481–494, 2005.

GREINER LA PEYRE, M. K.; GRACE, J. B.; HAHN, E.; MENDELSSOHN, I. A. The Importance of competition in regulating plant species abundance along a salinity gradient. **Ecology**, Washington, v. 82, n. 1, p. 62–69, 2001.

GRIME, J. P. **Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties**. 2nd ed. Chichester: Wiley-Blackwell. 2001. 456 p.

HAMBURDĂ, S. B.; MUNTEANU, N.; TELIBAN, G. C. Intercropping – a successful system for runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) crop. **Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Horticulture**, Cluj-Napoca, v. 72, n. 1, p. 81–86, 2015.

HARPER, J. L. **Population Biology of Plants**. London: Academic Press. 1977. 892 p.

HARRIS, D.; NATARAJAN, M.; WILLEY, R. W. Physiological basis for yield advantage in a sorghum/groundnut intercrop exposed to drought. 1. Dry-matter production, yield, and light interception. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 17, n. 3–4, p. 259–272, 1987.

HENRIQUES, A. R. P.; MARCELIS, L. F. M. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): interactive effects of nitrogen and irradiance. **Annals of Botany**, Oxford, v. 86, n. 6, p. 1073–1080, 2000.

HEREDIA Z., N. A.; VIEIRA, M. C.; WEISMANN, M.; LOURENÇÃO, A. L. F. Produção e renda bruta de cebolinha e de salsa em cultivo solteiro e consorciado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 574–577, 2003.

HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GIULIANI, A. R.; HELMICH, M.; CHIQUITO, E. G.; AMADORI, A. H. Taro “Chinês” em cultivo solteiro e consorciado com cenoura “Brasília” e alface “Quatro Estações”. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 324–328, 2006a.

HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GRACIANO, J. D.; PEZZONI FILHO, J. C. Produção de almeirão em cultivo solteiro e consorciado com cenoura. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 55–61, 2006b.

HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C. Produção e renda bruta da cebolinha solteira e consorciada com espinafre. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 811–814, 2004.

HEUVELINK, E. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 64, n. 3, p. 193–201, 1995.

HIEBSCH, C. K. Comparing intercrops with monoculture. In: **Agronomic economic research on soils of the tropics, Annual Report 1976-1977**. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 187-200, 1978.

HIEBSCH, C. K.; McCOLLUM, R. E. Area x Time Equivalency Ratio. A method of evaluating the productivity of intercrops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 1, p. 15-22, 1987.

HOLT, N. M.; YOUNG, L. J. Testing the assumption of constant relative yield total in replacement series experiments. **Sri Lankan Journal of Applied Statistics**, Kandy, v. 5, n. 4, p. 33–56, 2014.

HUAMAN, C. A. M.; CONTIN, D. R. Interface estresse fisiológico e a nutrição de plantas. In.: PRADO, R. M. P.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2016. p. 151-178.

JOHN, S. A.; MINI, C. Biological efficiency of intercropping in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Journal of Tropical Agriculture**, Thrissur, v. 43, n. 1–2, p. 33–36, 2005.

JOLLIFFE, P. A.; MINJAS, A. N.; RUNECLES, V. C. A Reinterpretation of yield relationships in replacement series experiments. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 227–243, 1984.

KEATING, B. A.; CARBERRY, P. S. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 34, n. 3–4, p. 273–301, 1993.

KRANNER, I.; MINIBAYEVA, F. V.; BECKETT, R. P.; SEAL, C. E. Tansley review What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, Oxford, v. 188, n. 3, p. 655–673, 2010.

LICHTENTHALER, H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 148, n. 1–2, p. 4–14, 1996.

LIMA, J. S. S.; BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; NEGREIROS, M. Z.; PONTES, F. S. T.; MEDEIROS, M. A.; BARROS JÚNIOR, A. P. Agroecologic evaluation of intercropping rocket and carrot by uni- and multivariate analyses in a semi-arid region of Brazil. **Ecological Indicators**, New York, v. 41, p. 109–114, 2014.

LIMA, L. W.; GRATÃO, P. L. Resposta das plantas sob estresse por toxicidade. In.: PRADO, R. M. P.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2016. p. 179-195.

LITHOURGIDIS, A. S.; DORDAS, C. A.; DAMALAS, C. A.; VLACHOSTERGIOS, D. N. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 5, n. 4, p. 396–410, 2011.

LIU, T.; CHENG, Z.; MENG, H.; AHMAD, I.; ZHAO, H. Growth, yield and quality of spring tomato and physicochemical properties of medium in a tomato/garlic intercropping system under plastic tunnel organic medium cultivation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 170, p. 159–168, 2014.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Interceptação e distribuição da energia radiante em comunidades terrestres. In: _____. (Eds.). **Fisiologia da Produção**. Viçosa: UFV, 2015. p. 117-145.

MAIA, J. T. L. S.; MARTINS, E. R.; COSTA, C. A.; FERRAZ, E. O. F.; ALVARENGA, I. C. A.; SOUZA JÚNIOR, I. T.; VALADARES, S. V. Influência do cultivo em consórcio na produção de fitomassa e óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e hortelã (*Mentha x villosa* Huds.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 137–140, 2009.

MAO, L.; ZHANG, L.; ZHAO, X.; LIU, S.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, S.; SPIERTZ, H.; LI, Z. Crop growth, light utilization and yield of relay intercropped cotton as affected by plant density and a plant growth regulator. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 155, p. 67–76, 2014.

MASSAD, M. D.; OLIVEIRA, F. L. DE; DUTRA, T. R. Desempenho do consórcio cebolinha-rabanete, sob manejo orgânico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 539–543, 2010.

MATTERA, J.; ROMERO, L. A.; CUATRÍN, A. L.; CORNAGLIA, P. S.; GRIMOLDI, A. A. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. **European Journal of Agronomy**, Paris, v. 45, p. 87–95, 2013.

MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A Revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, Princeton, v. 27, n. 3, p. 659–671, 1971.

MICHEREFF FILHO, M.; MOURA, A. P.; GUIMARÃES, J. A.; REYES, C. P.; CARVALHO, A. D. F.; AMARO, G. B.; LOPES, J. F.; LIZ, R. S. **Recomendações técnicas para o controle de pragas do pepino**. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 2012. 15 p. (Circular Técnica nº 109).

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, n. 9, p. 405–410, 2002.

MITTLER, R. ROS Are Good. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 11–19, 2017.

MOTA, J. H.; VIEIRA, M. C.; CARDOSO, C. A. L. Alface e jateikaá em cultivo solteiro e consorciado: produção e atividade antioxidante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 551–557, 2010.

MOTA, J. H.; VIEIRA, M. C.; ARAÚJO, C. Crescimento e produção de alface e marcela em cultivo solteiro e consorciado. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 269–273, 2011.

MOTA, W. F.; PEREIRA, R. D.; SANTOS, G. S.; VIEIRA, J. C. B. Agronomic and economic viability of intercropping onion and lettuce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 349–354, 2012.

MUELLER, S.; DURIGAN, J. C.; KREUZ, C. L.; BANZATTO, D. A. Épocas de consórcio de alho com cenoura em três sistemas de manejo de plantas daninhas em Jaboticabal-SP. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 39–50, 2001.

MUELLER, S.; DURIGAN, J. C.; KREUZ, C. L.; BANZATTO, D. A. Épocas de consórcio de alho com cenoura em três sistemas de manejo de plantas daninhas, em Caçador-SC. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 507–516, 2004.

NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; SANTOS, R. H. S. Cultivares de alface em sistemas solteiro e consorciado com cenoura em Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 162–166, 2002.

ODO, P. E. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 27, n. 4, p. 435–441, 1991.

OFORI, F.; STERN, W. R. The combined effects of nitrogen fertilizer and density of the legume component on production efficiency in a maize/cowpea intercrop system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 16, p. 43–52, 1987.

OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 181–185, 2001.

OHSE, S.; REZENDE, B. L. A.; SILVEIRA, L. S.; OTTO, R. F.; CORTEZ, M. G. Viabilidade agrônômica de consórcios de brócolis e alface estabelecidos em diferentes épocas. **Idesia**, Arica, v. 30, n. 2, p. 29–38, 2012.

OLIVEIRA, E. Q.; SOUZA, R. J.; CRUZ, M. C. M.; MARQUES, V. B.; FRANÇA, A.C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 36–40, 2010.

OLIVEIRA, E. Q.; BEZERRA NETO, F. B.; NEGREIROS, M. Z.; BARROS JÚNIOR, A. P.; FREITAS, K. K. C.; SILVEIRA, L. M.; LIMA, J. S. S. Produção e valor agroeconômico no consórcio entre cultivares de coentro e de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 285–289, 2005 (a).

OLIVEIRA, F. L.; RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; PADOVAN, M. P.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Desempenho do consórcio entre repolho e rabanete com pré-cultivo de crotalária, sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 184–188, 2005 (b).

OLIVEIRA, F. L.; ARAÚJO, A. P.; GUERRA, J. G. M. Crescimento e acumulação de nutrientes em plantas de taro sob níveis de sombreamento artificial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 291–298, 2011.

OLWE, V. I. O.; AJAYI, J. A.; OGUNBAYO, A. S. Potential of intercropping soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) with sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the transition zone of south west Nigeria. **Tropical Agricultural Research and Extension**, Matara, v. 9, p. 91–102, 2006.

OROKA, F. O. Biological efficiency of okra and celosia intercrop as influenced by inter-row spacing. **Journal of Agriculture and Food Environment**, Abraka, v. 3, n. 2, p. 52–63, 2016.

PAPADOPOULOS, A. P.; PARARAJASINGHAM, S. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 69, n. 1–2, p. 1–29, 1997.

PEREIRA, M. F. S.; BEZERRA NETO, F.; PONTES, F. S. T.; LINHARES, P. C. F.; SILVA, M. L.; SILVA, Í. N. Productive performance of cowpea-radish intercropping under different amounts of rooster tree biomass incorporated into the soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 11, p. 965–971, 2016.

PIMENTEL, M. S.; LANA, A. M. Q.; DE-POLLI, H. Rendimentos agronômicos em consórcio de alface e cenoura adubadas com doses crescentes de composto orgânico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 106–112, 2009.

PINTO, C. DE M.; PINTO, O. R. DE O.; PITOMBEIRA, J. B. Mamona e girassol no sistema de consorciação em arranjo de fileiras: eficiência biológica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 41–52, 2012.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate- glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. computer simulations as a step towards flux analysis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 126, n. 1, p. 445–462, 2001.

PORTO, V. C. N.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P.; MOREIRA, J. N. Combination of lettuce and rocket cultivars in two cultures intercropped with carrots. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 404–411, 2011.

PUIATTI, M.; FÁVERO, C.; FINGER, F. L.; GOMES, J. M. Crescimento e produtividade de inhame e de milho doce em cultivo associado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 24–30, 2000.

RESENDE, A. L. S.; VIANA, A. J. S.; OLIVEIRA, R. J.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; RIBEIRO, R. L. D.; RICCI, M. S. F.; GUERRA, J. G. M. Consórcio couve-coentro em cultivo orgânico e sua influência nas populações de joaninhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 41–46., 2010.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Resposta da alface tipo americana a doses e épocas de aplicação foliar de zinco. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 66-72, 2005.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CATELAN, F.; MARTINS, M. I. E. Análise econômica de cultivos consorciados de alface americana x rabanete: um estudo de caso. **Horticultutura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 853–858, 2005.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; FELTRIM, A. L.; COSTA, C. C.; BARBOSA, J. C. Viabilidade da consorciação de pimentão com repolho, rúcula, alface e rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 36–41, 2006.

REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; MARTINS, M. I. E. G. Custo de produção e rentabilidade das culturas de alface, rabanete, rúcula e repolho em cultivo solteiro e consorciadas com pimentão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 305–312, 2009.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVA, G. S.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L. Consórcios de alface crespa e pepino em função da população do pepino e época de cultivo. **Interciência**, Caracas, v. 35, n. 5, p. 374–379, 2010.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BARROS JUNIOR, A. P.; PÔRTO, D. R. Q.; MARTINS, M. I. E. G. Economic analysis of cucumber and lettuce intercropping under greenhouse in the winter-spring. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 2, p. 705–717, 2011.

REZENDE, B. L. A.; CANATO, G. H. D.; CECÍLIO FILHO, A. B. Influência das épocas de cultivo e do estabelecimento do consórcio na produção de tomate e alface consorciados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, 2005.

ROSA, A. M.; SÉO, H. L. S.; VOLPATO, M. B.; FOZ, N. V.; SILVA, T. C.; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R.; OGLIARI, J. B. Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 4, p. 494-501, 2014.

ROUSH, M. L.; RADOSEVICH, S. R.; WAGNER, R. G.; MAXWELL, B. D.; PETERSEN, T. D. A Comparison of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments. **Weed Science**, Champaign, v. 37, n. 2, p. 268–275, 1989.

SALGADO, A. S.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; ESPINDOLA, J. A. A.; SALGADO, J. A. A. Consórcios alface-cenoura e alface-rabanete sob manejo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1141–1147, 2006.

SAMMUL, M.; KULL, K.; OKSANEN, L.; VEROMANN, P. Competition intensity and its importance: results of field experiments with *Anthoxanthum odoratum*. **Oecologia**, Berlin, v. 125, n. 1, p. 18–25, 2000.

SANTOS, B. M.; ESMEL, C. E.; SLAMOVA, S.; GOLDEN, E. A. Optimum planting dates for intercropping cucumber, squash, and muskmelon with strawberry. **HortTechnology**, Alexandria, v. 18, n. 4, p. 656–659, 2008.

SANTOS, R. H. S.; GLIESSMAN, S. R.; CECON, P. R. Crop interactions in broccoli intercropping. **Biological Agriculture & Horticulture**, Berkhamsted, v. 20, n. 1, p. 51–75, 2002.

SANTOS, R. H. S. **Interações interespecíficas em consórcios de olerícolas**. Viçosa. 1998. 129 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

SCHUERGER, A. C.; LAIBLE, P. D. Biocompatibility of wheat and tomato in a dual culture hydroponic system. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 10, p. 1164–1165, 1994.

SCHULTZ, B.; PHILLIPS, C.; ROSSET, P.; VANDERMEER, J. An experiment in intercropping cucumbers and tomatoes in Southern Michigan, U.S.A. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 1–8, 1982.

SEDIYAMA, M. A. N.; NASCIMENTO, J. L. M.; LOPES, I. P. C.; LIMA, P. C.; VIDIGAL, S. M. Tipos de poda em pepino dos grupos aodai, japonês e caipira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 491-496, 2014.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S. Oxidative stress and antioxidative defense systems in plants growing under abiotic stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of Plant and Crop Stress**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press. 2011. p. 89-138.

SILVA, G. S.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; A. P.; BARROS JÚNIOR, A. P.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTO, D. R. Q. Viabilidade econômica do cultivo da alface crespa em monocultura e em consórcio com pepino. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1516–1523, 2008.

SNAYDON, R. W. Replacement or additive designs for competition studies? **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 930, 1991.

SUGASTI, J. B.; JUNQUEIRA, A. M. R.; SABOYA, P. A. Consórcio de rabanete, alface e quiabo e seu efeito sobre as características agrônômicas das culturas, produção e índice de equivalência de área. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 214–225, 2013.

TAVELLA, L. B.; LEITE, H. M. F.; BRAVIN, M. P.; ALMEIDA, F. A.; FERNANDES, Y. T. D. Consórcio agroecológico entre alface, cenoura e rabanete cultivado nas condições de Rolim de Moura-RO. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 2, p. 143–148, 2011.

THIAW, S.; HALL, A. E.; PARKER, D. R. Varietal intercropping and the yields and stability of cowpea production in semiarid Senegal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 33, p. 217–233, 1993.

TOGNI, P. H. B.; FRIZZAS, M. R.; MEDEIROS, M. A.; NAKASU, E. Y. T.; PIRES, C. S. S.; SUJII, E. R. Dinâmica populacional de *Bemisia tabaci* biótipo B em tomate monocultivo e consorciado com coentro sob cultivo orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 183–188, 2009.

TREZZI, M. M.; SILVA, P. R. F. Consórcio de substituição de culturas: alternativa para a pequena propriedade rural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 399–404, 1993.

TRINDER, C. J.; BROOKER, R. W.; ROBINSON, D. Plant ecology's guilty little secret: understanding the dynamics of plant competition. **Functional Ecology**, Oxford, v. 27, n. 4, p. 918–929, 2013.

TURKINGTON, R.; KLEIN, E. Interactive effects of nutrients and disturbance: an experimental test of plant strategy theory. **Ecology**, Washington, v. 74, n. 3, p. 863–878, 1993.

VANDERMEER, J. H. **The Ecology of Intercropping**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

VIEIRA, M. C.; CARLESSO, A.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; GONÇALVES, W. L. F.; TABALDI, L. A.; MELGAREJO, E. Consórcio de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e alface sob dois arranjos de plantas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Botucatu, v. 14, n. n. esp., p. 169–174, 2012.

WEIGELT, A.; JOLLIFFE, P. Indices of plant competition. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 91, n. 5, p. 707–720, 2003.

WILLEKENS, H.; LANGEBARTELS, C.; TIRE, C.; VAN MONTAGU, M.; INZE, D.; VAN CAMP, W. Differential expression of catalase genes in *Nicotiana plumbaginifolia* (L.). **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 22, p. 10450–10454, 1994.

WILLEY, R. W. Intercropping – its importance and research needs. Part 1 – Competition and yield advantage. **Field Crops Abstracts**, Wallingford, v. 32, n. 2, p. 1-10, 1979 (a).

WILLEY, R. W. Intercropping – its importance and research needs. Part 2 – Agronomy and research needs. **Field Crops Abstracts**, Wallingford, v. 32, n. 2, p. 73-85, 1979 (b).

WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 2, p. 117–125, 1980.

WILLEY, W.; OSIRU, D. S. O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 79, p. 517–529, 1972.

WILLIAMS, A. C.; MCCARTHY, B. C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs. **Ecological Research**, Ibaraki, v. 16, n. 1, p. 29–40, 2001.

WILSON, P. J.; THOMPSON, K.; HODGSON, J. G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. **New Phytologist**, Oxford, v. 143, n. 1, p. 155–162, 1999.

WILSON, S. D.; KEDDY, P. A. Measuring diffuse competition along an environmental gradient: results from a shoreline plant community. **The American Naturalist**, Chicago, v. 127, n. 6, p. 862–869, 1986.

WILSON, S. D.; TILMAN, D. Component of plant competition along an experimental gradient of nitrogen availability. **Ecology**, Washington, v. 72, n. 3, p. 1050–1065, 1991.

WILSON, S. D.; TILMAN, D. Plant competition and resource availability in response to disturbance and fertilization. **Ecology**, Washington, v. 74, n. 2, p. 599–611, 1993.

WORKU, W.; DEMISIE, W. Growth, light interception and radiation use efficiency responde of pigeonpea (*Cajanus cajan*) to planting density in Southern Ethiopia. **Journal of Agronomy**, Faisalabad, v. 11, n. 4, p. 85–93, 2012.

XIA, X.-J.; ZHOU, Y.-H.; SHI, K.; ZHOU, J.; FOYER, C. H.; YU, J.-Q. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 10, p. 2839–2856, 2015.

XIAO, X.; CHENG, Z.; MENG, H.; LIU, L.; LI, H.; DONG, Y. Intercropping of green garlic (*Allium sativum* L.) induces nutrient concentration changes in the soil and plants in continuously cropped cucumber (*Cucumis sativus* L.) in a plastic tunnel. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 4, p. e62173, 2013.

YILDIRIM, E.; TURAN, M. Growth, yield and mineral content of broccoli intercropped with lettuce. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, Lahore, v. 23, n. 3, p. 919–922, 2013.

ZHOU, X.; YU, G.; WU, F. Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, n. 5, p. 279–287, 2011.

CAPÍTULO 2 – Eficiência do uso de área dos consórcios de duas cultivares de alface com pepino em função da densidade populacional do pepino

RESUMO – O cultivo consorciado é uma alternativa viável, pois tem vantagens potenciais, como maior produtividade geral, melhor controle de pragas e doenças e menor incidência de plantas infestantes, mas existe necessidade de arranjos populacionais adequados para que isso ocorra. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de uso de área de consórcios de duas cultivares de alface em função de densidades de pepino. O experimento foi instalado em casa de vegetação em Jaboticabal, SP, em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial 4 x 2 + 6, com quatro repetições. Os fatores foram populações de pepino consorciado (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m⁻²) e cultivares de alface ('Lucy Brown' e 'Vanda'), e os tratamentos adicionais corresponderam aos cultivos solteiros de pepino nas quatro densidades populacionais e as duas cultivares de alface cultivadas solteiras. A quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega às alfaces foi influenciada pelas densidades populacionais do pepino. Houve diferença significativa entre as alfaces para os teores de K, Mg e Mn, mas os teores foliares não foram influenciados pelas densidades de pepino. À medida que maior foi a densidade populacional do pepino, menor foi a massa fresca total e produtividade das duas alfaces. O estado nutricional do pepino não foi afetado pelos fatores sistema de cultivo e densidade populacional. Com o aumento da densidade populacional do pepino, o número de frutos por planta e por área diminuiu e aumentou, respectivamente. O consórcio de pepino com 'Vanda' foi o que apresentou maior eficiência de uso de área (EUA). A EUA do consórcio com 'Vanda' aumentou com a densidade populacional do pepino, enquanto para 'Lucy Brown' diminuiu. A alface 'Lucy Brown' produz comercialmente (cabeça) apenas na menor densidade (55%). A produção por planta e a produtividade do pepino 'Soldier' não foram influenciadas pela presença da alface, não diferindo entre os sistemas de cultivo, consórcio e solteiro. O consórcio possibilitou uso mais eficiente da área que os cultivos solteiros de alface e pepino, com intensidade maior para 'Vanda' que para 'Lucy Brown'.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., radiação fotossintética ativa (PAR)

Efficiency of the area use of the intercropping of two lettuce cultivars with cucumber according to the population density of the cucumber

ABSTRACT – The intercropping cultivation is a viable alternative, as it has potential advantages, such as greater general productivity, better control of pests and diseases, and lower incidence of weed plants, but there is a need for adequate population arrangements for this to occur. The objective of this work was to evaluate the efficiency of use of intercropping area of two lettuce cultivars as a function of cucumber densities. The experiment was installed in a greenhouse in Jaboticabal, SP, in a randomized block design, factorial scheme $4 \times 2 + 6$, with four replications. The factors were intercropped cucumber populations (100, 85, 70 and 55% of 2.35 plants m^{-2}) and lettuce cultivars ('Lucy Brown' and 'Vanda'), and additional treatments corresponded to monoculture cucumber in the four population densities and the two monocultures cultivated lettuce cultivars. The amount of photosynthetically active radiation that reaches the lettuce was influenced by the population densities of the cucumber. There was a significant difference between the lettuces for the contents of K, Mg and Mn, but the leaf contents were not influenced by the cucumber densities. The higher was the population density of the cucumber, the lower was the total fresh mass and the yield of the two lettuces. The nutritional status of the cucumber was not affected by the system factors of cultivation and population density. With the increase in population density of the cucumber, the number of fruits per plant and per area decreased and increased, respectively. The intercrop of cucumber with 'Vanda' was the one that presented greater efficiency of use of area (LER). The LER of the consortium with 'Vanda' has increased with the population density of the cucumber, while for 'Lucy Brown' it decreases. Lettuce 'Lucy Brown' commercially produces (head) only at the lowest density (55%). The yield per plant and the yield for area of the 'Soldier' cucumber was not influenced by the presence of lettuce, not differing between the cultivation, consortium and monoculture systems. The intercropping allows more efficient use of the area than monoculture crops of lettuce and cucumber, with greater intensity for 'Vanda' than for 'Lucy Brown'.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., Photosynthetically Active Radiation (PAR)

1 – INTRODUÇÃO

A maioria das áreas consideradas adequadas para agricultura no planeta já estão ocupadas (TILMAN et al., 2002), o que faz a busca por novas áreas ser substituída por práticas mais sustentáveis nestas áreas já exploradas. Nesse contexto, o cultivo consorciado, que é o cultivo de duas ou mais espécies de culturas simultaneamente na mesma área (VANDERMEER, 1989), torna-se uma alternativa viável, pois tem vantagens potenciais, como maior produtividade geral, melhor controle de pragas e doenças e menor incidência de plantas infestantes.

Diante deste cenário, olericultores necessitam ter um empreendimento bem planejado e definido para atender o mercado no qual estão inseridos, principalmente porque a maioria dos olericultores brasileiros possui áreas comumente menores que 20 ha (FONTES, 2005), fazendo com que o consórcio seja uma alternativa, inclusive financeira, a este grupo de agricultores (CECÍLIO FILHO et al., 2013, 2015).

Dentre as hortaliças folhosas produzidas no Brasil, a alface (*Lactuca sativa* L.) é a de maior importância econômica, sendo a mais consumida na dieta brasileira por ter sabor agradável, baixo preço e ainda ser uma fonte de vitaminas e sais minerais (ROSA et al., 2014). A área produzida de alface no Brasil correspondente a mais de 91.000 ha (CNA, 2017), e o período de verão apresenta maior retorno econômico ao agricultor (ARAÚJO NETO et al., 2012).

O pepino (*Cucumis sativus* L.) é uma hortaliça fruto muito apreciada e consumida em todo Brasil, na forma de fruto imaturo em saladas, curtido em salmoura ou vinagre e cozido (FONSECA et al., 2003). Possui várias cultivares e híbridos no mercado, com diferentes tamanhos, formas, coloração dos frutos, sabor e características vegetativas (porte, hábito, ciclo, biologia reprodutiva) (SEDIYAMA et al., 2014). Nesse sentido, permite que o cultivo do pepino possa ser manejado de forma rasteira ou tutorado, em ambiente aberto ou em cultivo protegido.

A alface e o pepino são espécies divergentes quanto ao ciclo (FILGUEIRA, 2008), porte e arquitetura (CECÍLIO FILHO et al. 2015), exigência em luz (BERRY et al., 2006b; FU; LI; WU, 2012), nutrientes, entre outras características importantes em sistemas consorciados. Tal condição permite explorar a complementaridade das espécies, tanto no contexto temporal quanto no espacial, com melhor

aproveitamento dos recursos disponíveis, minimizando a possível competição interespecífica (VANDERMEER, 2003; CECÍLIO FILHO et al. 2015).

Willey (1979b) coloca a luz como o fator mais limitante para o sucesso de um consórcio. Notou que esta era diferente de outros recursos para o crescimento vegetal, na medida em que é instantaneamente disponível e, portanto, deve ser interceptada instantaneamente para ser benéfica, enquanto outros recursos são disponibilizados e ficam aguardando a exploração pela planta. A passagem de luz através da copa é afetada pela orientação da linha, espaçamento, além da densidade populacional da planta.

As espécies normalmente envolvidas no consórcio diferem em altura e em distribuição das folhas no espaço, entre outras características morfológicas (VANDERMEER, 2003). O sombreamento causado pela cultura mais alta reduz a quantidade de radiação solar à cultura mais baixa (BAUMANN et al., 2002; CECÍLIO FILHO et al., 2008) e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento, afetando diretamente as concentrações de pigmentos fotossintetizantes, nutrientes e enzimas (LEFSRUD et al., 2006; COLONNA et al., 2016). Portanto, a escolha do melhor arranjo e da densidade de plantio é fundamental no desempenho do consórcio, ou seja, na maximização da produção (SCHULTHEIS; WEHNER; WALTERS, 1998).

Face ao exposto, o objetivo foi avaliar a eficiência de uso de área de consórcios de duas cultivares de alface em função da densidade de plantio do pepino.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em 30 de janeiro de 2015, em casa de vegetação com disposição Leste a Oeste, de 460,8 m², de modelo teto em arco, com pé-direito de 3 m, coberta com filme de polietileno de baixa densidade, transparente, de 150 µm de espessura, aditivado contra raios ultravioleta, paredes com sombrite de cor vermelha, localizada na UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, no Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, em Jaboticabal, SP, situada à altitude de 575 m, latitude 21°14'39,60" S e longitude 48°17'10,84" W.

O clima de Jaboticabal é classificado como subtropical com chuvas de verão, e inverno relativamente seco. Apresenta médias anuais de 1.423,9 mm, 22,3 °C, 29,1 °C e 16,9 °C de precipitação pluvial e temperaturas média, máxima e mínima, respectivamente (ROLIM, 2017).

Uma miniestação meteorológica da marca Spectrum, modelo WatchDog 2475, foi colocada no centro da casa de vegetação, a 2,0 m de altura e registrou a cada cinco minutos a temperatura, umidade relativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), para cálculos diários destes (Figuras 1, 2 e 3).

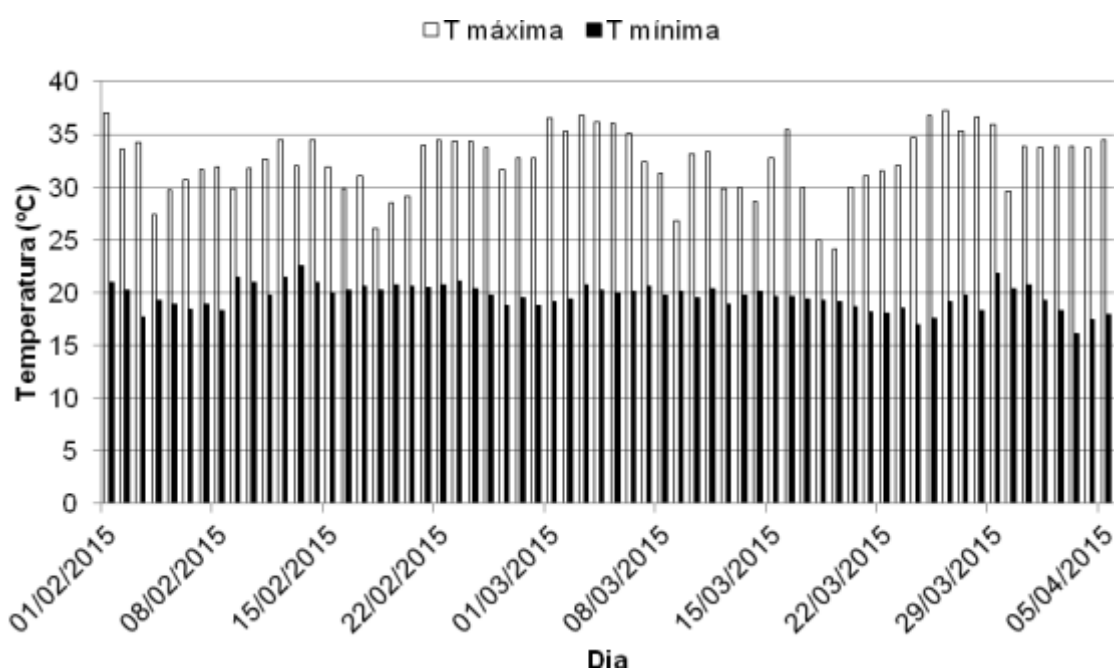


Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

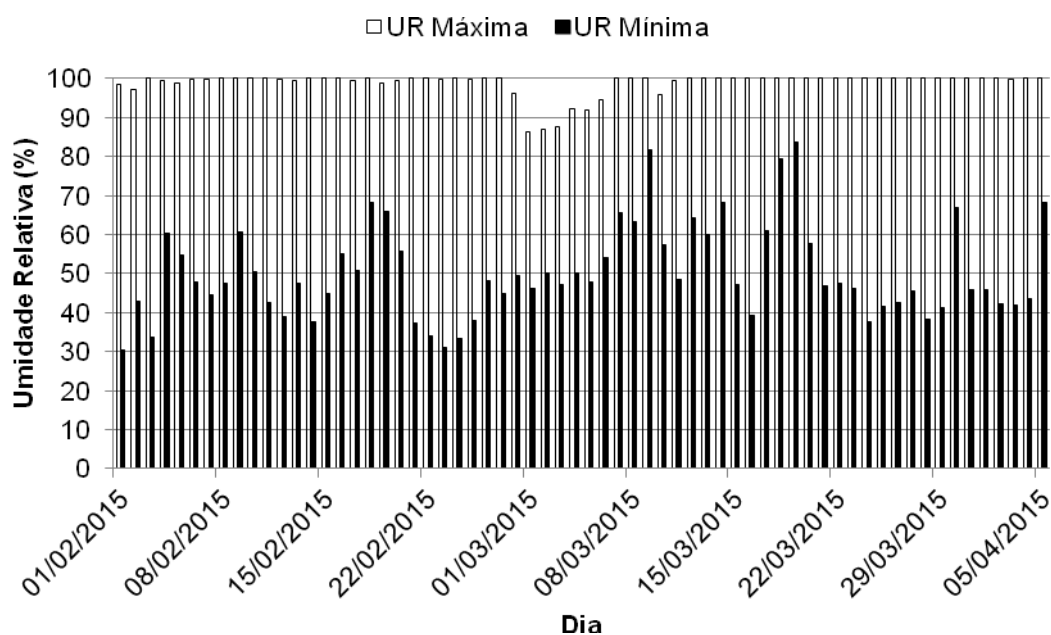


Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

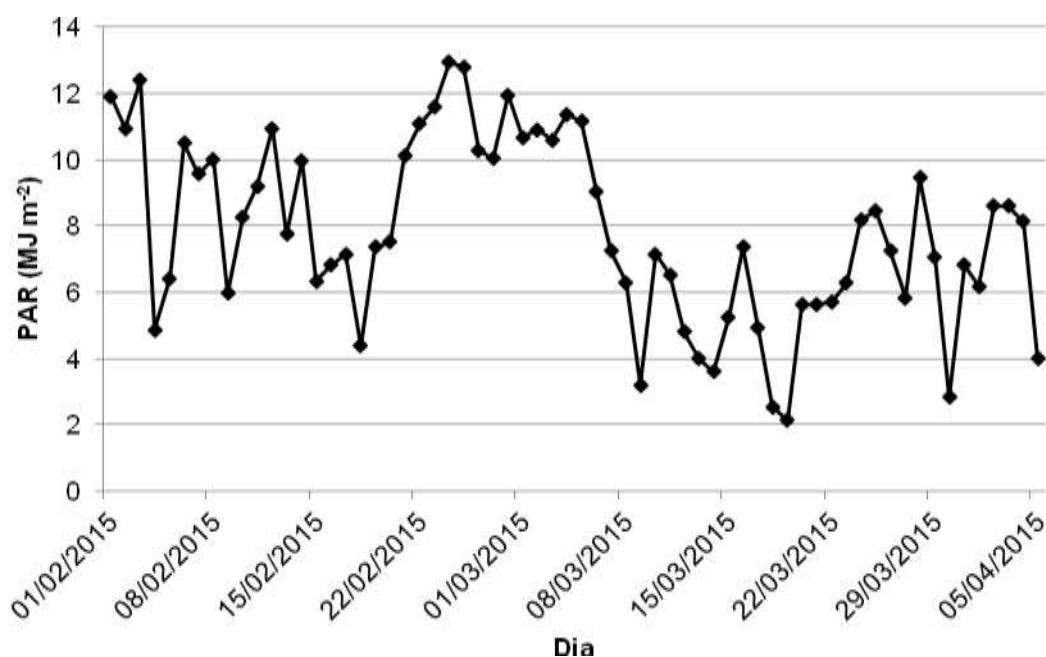


Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.

2.2 – Instalação e condução do experimento

O solo da área, segundo classificação da EMBRAPA (2013), corresponde ao LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico de textura muito argilosa. O preparo do

solo da área experimental foi feito com aração e posterior preparo de canteiros (1,20 m de largura) com rotoencanteirador.

Previamente à instalação do experimento, o solo da casa de vegetação foi amostrado para análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi feita coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm. As 20 amostras simples foram homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta. Da amostra composta, foi retirada uma subamostra de 250 cm³ de terra, que foi enviada ao Laboratório de Análise de Solo e Planta, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para fazer a análise química e física, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.

pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%
5,4	9	11	1,2	21	6	17	28,2	45,2	62
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	Argila	Silte	Areia	
-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----	
0,23	1,0	5	2,4	0,3	0,00	590	160	250	

A calagem e adubações de transplântio e cobertura para as culturas da alface e pepino, em solteiro, foram realizadas de acordo com Trani et al. (1997a, b). Nos consórcios, foram aplicadas as quantidades de nutrientes recomendadas para a cultura do pepino, que tem maior demanda por nutrientes, correspondendo a 40 kg ha⁻¹ de N, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, com as fontes ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas adubações de cobertura, tanto para consórcios quanto para culturas solteiras, as quantidades dos nutrientes, assim como as épocas de aplicação, foram as recomendadas para cada cultura. Foram aplicados em cobertura para a cultura do pepino 150 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, divididos em três aplicações, aos 20, 40 e 60 dias após transplante (DAT). Para alface, a adubação de cobertura foi com 90 kg ha⁻¹ de N, dividido em três aplicações, aos 10, 20 e 30 DAT. Nas adubações de cobertura utilizou-se ureia e cloreto de potássio, respectivamente como fontes de N e K.

A cultivar de alface do grupo comercial de folhas crespas e com formação de cabeça foi a 'Lucy Brown' (Seminis®), caracteriza-se por apresentar folhas grossas, dando ótima proteção à cabeça. Apresenta, também, cabeça de tamanho grande,

coração muito pequeno, coloração verde clara, boa compactidade e massa; alta tolerância ao florescimento, ciclo de 48 a 55 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SEMINIS, 2014). Para a alface do grupo de folhas crespas e sem formação de cabeça, foi utilizada a cultivar Vanda (Sakata®). Apresenta caule grosso, sistema radicular vigoroso, resistência a 'tip burn' e precocidade, com ciclo de 40 a 45 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SAKATA SEED SUDAMERICA, 2014).

O pepino 'Soldier' é um híbrido que pertence ao grupo japonês. Os frutos são tipicamente afilados e alongados, com 20 a 30 cm, de coloração verde-escura e triloculares, com acúleos brancos (FILGUEIRA, 2008). Pode ser cultivado o ano todo, devido à sua rusticidade. Apresenta alta tolerância ao calor e média ao frio, e às doenças vírus do mosaico amarelo das cucurbitáceas (ZYMV), oídio, corynespora, fusarium e míldio (IPÊ AGROCOMERCIAL, 2012).

As mudas de alface foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células piramidais, preenchidas com substrato Bioplant®, colocando-se uma semente por célula. Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas em ambiente protegido e irrigadas diariamente até as mudas terem quatro folhas, quando foram transplantadas no canteiro.

As mudas de pepino 'Soldier', enxertado sobre abóbora 'Keeper', e de alfaces foram transplantadas, no mesmo dia, em canteiros. O espaçamento entre fileiras duplas do pepino foi de 1,20 m e entre fileiras da dupla de 0,50 m. Para obter 100, 85, 70 e 55% da população de 2,35 plantas m⁻², os espaçamentos entre plantas na fileira foram 0,50, 0,59, 0,72 e 0,91 m, respectivamente. Para a alface 'Lucy Brown', o espaçamento foi de 0,35 x 0,35 m e de 0,25 x 0,25 m para 'Vanda'.

As plantas de pepino foram conduzidas em haste única, tutoradas com fita plástica na vertical, com desbrota das ramificações axilares até 0,4 m de altura. A partir de então, foram deixados os brotos desenvolverem-se, sendo fixados em fios de arames dispostos paralelamente ao terreno e espaçados entre si em 0,40 m. Quando as hastes laterais apresentaram dois frutos e três folhas eliminou-se o meristema apical. A haste principal foi despontada quando a planta atingiu, aproximadamente, a altura de 2 metros, com 19 nós. A irrigação do experimento foi realizada por tubogotejadores.

2.3 – Delineamento experimental e tratamentos

No experimento foram avaliados 14 tratamentos, em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial $4 \times 2 + 6$, com quatro repetições, os quais resultaram da combinação de dois fatores, mais seis tratamentos adicionais. Os fatores foram populações de pepino consorciado (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}) e cultivares de alface ('Lucy Brown', do grupo de folhas crespas e formação de cabeça, e 'Vanda', do grupo de folhas crespas e sem formação de cabeça). Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 corresponderam aos consórcios do pepino com a alface 'Lucy Brown', e os tratamentos 5, 6, 7 e 8 (adicionais) corresponderam a monocultura do pepino, nas mesmas populações citadas anteriormente, a fim de isolar possível efeito da densidade de plantio, enquanto o tratamento 9 (adicional) representou a monocultura da alface 'Lucy Brown'. Os tratamentos 10, 11, 12 e 13 corresponderam aos consórcios do pepino com a alface 'Vanda', enquanto o tratamento 14 (adicional) representou a monocultura dessa alface (Tabela 2).

A alface foi considerada como cultura principal e o pepino a cultura secundária.

Tabela 2. Caracterização dos tratamentos de monoculturas e dos consórcios de duas cultivares de alface e quatro populações de pepino.

Tratamento	Legenda	Alface 'Lucy Brown'	Alface 'Vanda'	Pepino ¹
1 – Consórcio	LBC100	Presente	Ausente	Presente (100%)
2 – Consórcio	LBC85	Presente	Ausente	Presente (85%)
3 – Consórcio	LBC70	Presente	Ausente	Presente (70%)
4 – Consórcio	LBC55	Presente	Ausente	Presente (55%)
5 – Monocultura	SS100	Ausente	Ausente	Presente (100%)
6 – Monocultura	SS85	Ausente	Ausente	Presente (85%)
7 – Monocultura	SS70	Ausente	Ausente	Presente (70%)
8 – Monocultura	SS55	Ausente	Ausente	Presente (55%)
9 – Monocultura	LBS	Presente	Ausente	Ausente
10 – Consórcio	VC100	Ausente	Presente	Presente (100%)
11 – Consórcio	VC85	Ausente	Presente	Presente (85%)
12 – Consórcio	VC70	Ausente	Presente	Presente (70%)
13 – Consórcio	VC55	Ausente	Presente	Presente (55%)
14 – Monocultura	VS	Ausente	Presente	Ausente

¹ – O valor entre parênteses refere-se ao percentual da população de pepino em relação a 2,35 plantas m^{-2} .

O tamanho das parcelas foi variado, devido ao espaçamento do pepino, sendo todos os canteiros com 1,20 m de largura, e com 3; 3,6; 4,3 e 5,4 m de

comprimento nas parcelas que tinham o pepino, respectivamente a 100, 85, 70 e 55% da população total (2,35 plantas m⁻²). Nas parcelas com alface cultivadas solteiras o comprimento foi 2 e 2,8 m, respectivamente para 'Vanda' e 'Lucy Brown'.

A área útil para avaliação das características relativas à alface e ao pepino compreendeu todas as plantas excetuando as primeiras e últimas plantas de cada linha de cultivo.

2.4 – Características avaliadas:

2.4.1 – % PAR B/A: durante o período de consórcio das alfaces com pepino, foi avaliada a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em duas alturas, sendo a 2,0 m de altura (PAR A), acima do dossel do pepino, e a 0,15 m de altura (PAR B), nas quatro densidades de pepino, para quantificar a PAR que chegava para a alface em consórcio, durante o ciclo da cultura. A PAR B e A registradas para cada densidade foram aferidas sempre às 12 horas. Foram realizadas duas medições para cada densidade, uma no centro de quatro plantas de pepino e a outra entre duas plantas. Obteve-se a média dos valores dos dois pontos que estavam a 0,15 m e calculou-se a porcentagem que este correspondia em relação ao PAR A (acima do pepino). A fórmula usada foi:

$$\%PAR\ B/A = \frac{(\bar{X}\ PAR\ B) \times 100\%}{PAR\ A}$$

Com os valores de % de PAR B/A, de cada densidade em função do tempo, obteve-se a equação com melhor ajuste. O valor foi expresso em porcentagem.

2.4.2 – Teor foliar de nutrientes: aos 30 dias após o transplante, conforme recomendação de Trani e Raij (1997), foram amostradas folhas de pepino e de alface para avaliação do estado nutricional. Foram determinados os teores de N, P, K, Mg, Zn, Mn e Fe, conforme métodos descritos por Miyazawa et al. (2009).

2.4.3 – Massa da alface fresca total: a colheita das plantas foi realizada pela manhã, aos 41 e 56 DAT, respectivamente para 'Vanda' e 'Lucy Brown'. O caule das

plantas foi cortado rente ao substrato e quantificada a massa das plantas com o auxílio de uma balança analítica. O valor foi expresso em g planta⁻¹.

2.4.4 – Massa da alface fresca comercial: Foram consideradas comerciais as plantas que apresentavam características peculiares de cor, formato de folhas, sem podridões e não estioladas. Para alface 'Vanda', considerou-se como massa comercial toda a parte aérea da planta, enquanto da 'Lucy Brown' somente a cabeça, excluindo-se as folhas externas à cabeça. O valor foi expresso em g planta⁻¹.

2.4.5 – Produtividade total da alface: foi estimada considerando-se a somatória das massas frescas totais das plantas da área útil, e expressa em kg m⁻².

2.4.6 – Produtividade comercial da alface: foi estimada considerando-se a somatória das massas frescas comerciais das plantas da área útil. Foi expressa em kg m⁻².

2.4.7 – Produtividade comercial de pepino: As colheitas foram realizadas três vezes por semana, entre os dias 03 de março a 04 de abril, totalizando 15 colheitas, objetivando colher frutos na classe 20 (comprimento > 20 e < 25 cm), preferencial do mercado consumidor. Foram considerados frutos comerciais dentro dessa classe e com ângulo de inclinação inferior a 30° ao eixo longitudinal do fruto e sem danos físicos que prejudicassem o aspecto visual, de acordo com a classificação do HORTIBRASIL (2014). Foi expressa em g planta⁻¹ e kg m⁻².

2.4.8 – Número de frutos comerciais de pepino: foi obtido pelo somatório de frutos colhidos durante o ciclo, pertencentes à classe 20. Foi expresso em número de frutos planta⁻¹ e frutos m⁻².

2.4.9 – Eficiência de Uso da Área (EUA): O Índice foi calculado utilizando-se a fórmula proposta por Willey e Osiru (1972).

$$EUA = \frac{Y_{12}}{Y_{11}} + \frac{Y_{21}}{Y_{22}}$$

Onde: Y_{12} é a produtividade da cultura "1" em consórcio com a cultura "2"; Y_{21} é a produtividade da cultura "2" em consórcio com a cultura "1"; Y_{11} é a produtividade da cultura "1" em monocultura; Y_{22} é a produtividade da cultura "2" em monocultura.

2.4.10 – Produtividade Relativa (PR): Índice que calcula a produtividade da cultura consorciada em relação à cultura em monocultura (DE WIT; VAN DEN BERGH, 1965), sendo:

$$PR_1 = \frac{Y_{12}}{Y_{11}} \quad \text{e} \quad PR_2 = \frac{Y_{21}}{Y_{22}}$$

Onde: Y_{12} é a produtividade da cultura "1" em consórcio com a cultura "2"; Y_{21} é a produtividade da cultura "2" em consórcio com a cultura "1".

O índice EUA e PR foram obtidos levando em consideração as produtividades total e comercial de alface e produtividade comercial do pepino (kg m^{-2}), em cada densidade populacional. No denominador, cultivo solteiro, para cada densidade populacional utilizou-se o valor correspondente à média dos cultivos solteiros (blocos), conforme propôs Federer (2002).

2.5 – Análises estatísticas

Para análise dos dados de PAR, verificou-se a significância das equações para cada curva, adicionado às curvas intervalo de confiança de 90% para as médias de cada dia, ou seja, 5% de cada lado. Por tratar-se de regressões não lineares, posteriormente foi feita a linearização de cada curva por log X e log Y, para realizar-se o teste t para verificação do paralelismo, e o teste F para verificação de coincidência entre as retas.

Para alface, a análise de variância obedeceu ao delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 4 + 2$, sendo duas cultivares de alface ('Vanda' e 'Lucy Brown') e quatro populações de pepino (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}), e dois tratamentos adicionais (solteiro de alface 'Vanda' e solteiro de alface 'Lucy Brown').

Com os valores das variáveis de %PAR, produtividade total e estado nutricional das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em cada densidade de consórcio, foi realizada exploração de dados por análise multivariada. Como as variáveis são de natureza diferenciada, foi feita padronização dos dados para equacionar as dimensões de cada uma delas. O coeficiente de distância utilizado para os cálculos e construção do dendrograma foi a distância euclidiana, através do método de ligação de Ward, que é um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos somados sobre todas as variáveis, para resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido à sua minimização de variância interna (HAIR et al., 2009). A próxima ligação é feita utilizando o par de grupos que produz o menor aumento nesta soma (SNEATH; SOKAL, 1973).

Para o pepino, foi realizada a análise de variância dos dados utilizando-se blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 4, sendo três sistemas de cultivo (pepino consorciado com 'Vanda', pepino consorciado com 'Lucy Brown' e pepino solteiro) e quatro populações (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m⁻²).

Para o índice EUA, foi realizada a análise de variância dos dados utilizando-se blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas cultivares de alface ('Vanda' e 'Lucy Brown') e quatro populações de pepino no consórcio (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m⁻²). Para cálculo do índice do consórcio com alface 'Vanda', utilizou-se a produtividade total. Para 'Lucy Brown', foram calculados índices usando-se as produtividades total e comercial (só a cabeça).

Após os dados serem submetidos à análise de variância pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os efeitos significativos para densidades populacionais e da interação sistemas de cultivo x densidades populacionais foram avaliados por meio de análise de regressão polinomial. A interação dos tratamentos adicionais e o fatorial, quando significativas, foram desdobrados e analisados por contrastes, sendo a alface solteira contrastada com os cultivos consorciados, conforme cultivar, em cada densidade da população do pepino no consórcio. Em todas as análises utilizou-se o programa estatístico *AgroEstat* (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

3 – RESULTADOS

3.1 – PAR (Radiação Fotossintética Ativa)

As equações para a radiação fotossintética ativa (PAR), aferida ao longo do experimento, foram significativas nas quatro densidades ($p \leq 0,01$) (Figura 4).

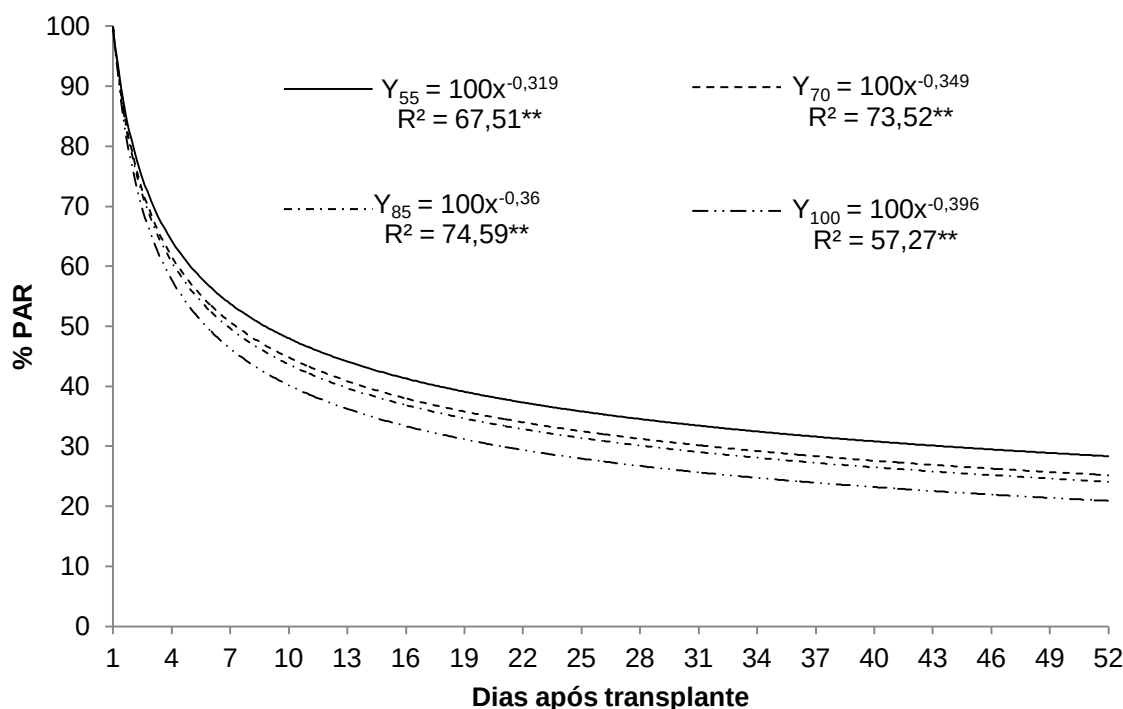


Figura 4. Porcentagem da Radiação Fotossintética Ativa (PAR) que chegou ao dossel das alfaces nas densidades de população do pepino.

A partir da linearização das equações não lineares de PAR, verifica-se que as quatro retas não obtiveram significância no teste de paralelismo, ou seja, as mesmas são paralelas. Entretanto, no teste de coincidência de retas, a reta referente a densidade de 55% foi significativamente diferente da reta da densidade de 100% ($p \leq 0,01$). O teste de coincidência entre as retas 55 e 70%; 55 e 85%; 70 e 85%; 70 e 100%; e 85 e 100% não diferiram significativamente (Tabela 3), mostrando que há diferença apenas entre as retas 55 e 100%.

Tabela 3. Teste t para paralelismo e teste F para coincidência entre as retas, a partir da linearização dos dados de PAR.

Reta	Teste t (Paralelismo)		
	Reta		
	55	70	85
70	0,56829ns ¹	--	--
	0,5718	--	--
85	0,77095ns	0,20922ns	--
	0,4436	0,8349	--
100	1,07949ns	0,66480ns	0,50963ns
	0,2844	0,5086	0,6121
Reta	Teste F (Coincidência)		
	Reta		
	55	70	85
70	1,55579ns ²	--	--
	0,2189	--	--
85	2,68581ns	0,16384ns	--
	0,0758	0,8492	--
100	7,03895**	3,05620ns	2,10088ns
	0,0017	0,0540	0,1307

¹ Teste t, ns: não significativo;

² Teste F, ns: não significativo; **: $p \leq 0,01$.

3.2 – Alfaves

Foi observada diferença significativa ($p \leq 0,01$) entre as alfaves ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ quanto aos teores foliares de K, Mg, Fe e Mn. Os teores foliares de nutrientes não foram influenciados significativamente pelo fator densidade populacional, nem pela interação dos fatores (cultivares de alface e densidade da população de pepino) (Tabela 4).

Nos tratamentos adicionais (‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras), foi observada diferença significativa para teores foliares de Mg e Fe ($p \leq 0,01$), e Zn ($p \leq 0,05$). Houve interação significativa para os tratamentos adicionais e o fatorial para os teores foliares de Mg e Mn ($p \leq 0,05$) (Tabela 4).

Os teores foliares de K, Mg, Fe e Mn foram maiores na alface ‘Vanda’ que na ‘Lucy Brown’, quando estas foram cultivadas em consórcio com pepino (Tabela 5).

Nos tratamentos adicionais, ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras, os teores foliares de Mg e Fe da ‘Vanda’ foram maiores que na ‘Lucy Brown’, mas o teor foliar de Zn foi maior na ‘Lucy Brown’ que na ‘Vanda’ (Tabela 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causas de variação	N	P	K	Mg	Fe	Mn	Zn
Alface (A)	1,06ns ²	1,48ns	11,38**	108,40**	54,45**	22,26**	0,02ns
Densidade (DP)	0,11ns	0,12ns	1,22ns	2,34ns	2,76ns	1,06ns	0,36ns
A x DP	0,23ns	2,75ns	1,69ns	2,54ns	0,84ns	0,21ns	2,08ns
TA ¹	0,86ns	3,59ns	0,98ns	22,62**	13,02**	1,16ns	5,56*
(A x DP) x TA	0,81ns	0,09ns	0,01ns	5,55*	2,28ns	5,84*	3,05ns
CV (%)	7,84	10,05	23,30	9,89	28,32	18,16	31,16

¹ TA = Tratamento Adicional: ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras;

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Tabela 5. Médias de teores foliares de nutrientes de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ nos dois sistemas de cultivo.

Alface	N	P	K	Mg	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹		
em cultivo consorciado com pepino							
Vanda	33,6 A*	1,3 A	60,7 A	3,2 A	102 A	135 A	15 A
Lucy Brown	32,7 A	1,3 A	45,9 B	2,2 B	48 B	100 B	16 A
em cultivo solteiro							
Vanda	33,1 A	1,2 A	57,2 A	3,5 A	90 A	90 A	9 B
Lucy Brown	31,4 A	1,4 A	48,5 A	2,5 B	37 B	106 A	17 A

* Para cada sistema de cultivo, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

No desdobramento da interação entre tratamentos adicionais e fatorial, foi observado que ‘Vanda’ solteira obteve o teor de Mg maior apenas quando comparada com ‘Vanda’ consorciada com 55% da população de pepino. O teor de Mg de ‘Lucy Brown’ solteira não diferiu estatisticamente da ‘Lucy Brown’ em consórcio, independente da população de pepino. O teor de Mn da ‘Vanda’ solteira foi menor que ‘Vanda’ consorciada, independente da população de pepino utilizada no consórcio. De acordo com os contrastes realizados, o teor de Mn da alface ‘Lucy Brown’ solteira não diferiu de ‘Lucy Brown’ consorciada (Tabela 6).

O fator densidade afetou isoladamente ($p \leq 0,01$) e em interação ($p \leq 0,01$) a massa fresca total de cultivares de alface (Tabela 7). Nos tratamentos adicionais (alfaces solteiras), foi observada diferença significativa para massa fresca total ($p \leq 0,01$). Houve interação dos tratamentos adicionais com os fatores (alface e densidade) (Tabela 7).

Tabela 6. Grupos de contrastes dos teores foliares de Mg e Mn das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ entre tratamentos adicionais (cultivos solteiros de ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’) e o fatorial (2 alfaces x 4 densidades de pepino no consórcio).

Contrastes	Mg (g kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
VS x VC100	0,28 ¹ ns ²	-56,00**
VS x VC85	-0,03ns	-51,75**
VS x VC70	0,00ns	-38,00*
VS x VC55	0,60**	-33,75*
LBS x LBC100	0,18ns	-0,50ns
LBS x LBC85	0,35ns	4,75ns
LBS x LBC70	0,33ns	6,75ns
LBS x LBC55	0,35ns	10,50ns

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos.

² ns: não significativo; *: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para massa fresca total e produtividade total nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causa da Variação	Massa fresca total	Produtividade total
Alface (A)	1,24ns ²	74,92**
Densidade (DP)	23,35**	11,84**
A x DP	5,92**	0,40ns
TA ¹	136,34**	0,17ns
(A x DP) x TA	399,00**	25,52**
CV (%)	14,46	16,14

¹ TA = Tratamento Adicional: ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras;

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

As alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ não tiveram diferença significativa para produção de massa fresca total em consórcio com pepino, mas diferiram-se em cultivo solteiro. No cultivo solteiro, a massa fresca total da alface ‘Lucy Brown’ foi 91% maior que da alface ‘Vanda’ (Tabela 8).

Em consórcio, à medida que se aumentou a densidade populacional do pepino, menor foi a massa fresca total das duas cultivares de alface. Entretanto, nota-se que ‘Lucy Brown’ foi mais sensível ao aumento do sombreamento causado pelo aumento no número de plantas de pepino por unidade de área. A partir da densidade de 74%, equivalente a 1,74 planta m⁻², a massa fresca total da ‘Lucy Brown’ foi menor que da ‘Vanda’ (Figura 5).

Tabela 8. Médias de massa fresca total (MFT) e produtividade total (PT) de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro.

Alface	Consórcio		Solteiro	
	MFT g planta ⁻¹	PT kg m ⁻²	MFT g planta ⁻¹	PT kg m ⁻²
‘Vanda’	133,96 A ¹	2,14 A	237,29 B	3,80 A
‘Lucy Brown’	144,21 A	1,12 B	452,50 A	3,70 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

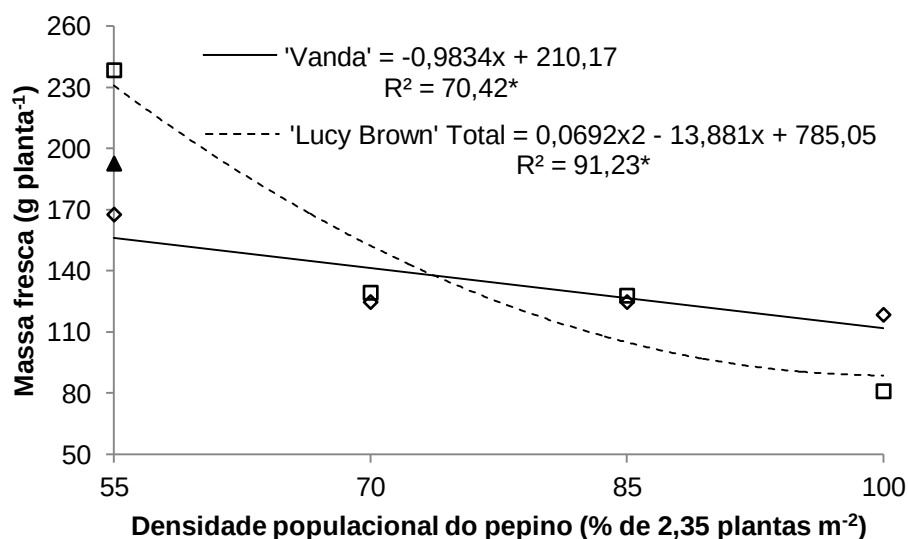


Figura 5. Massa fresca total (=comercial) da alface ‘Vanda’ e massa fresca total e comercial da ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.

◇ ‘Vanda’; □ ‘Lucy Brown’ Total; ▲ ‘Lucy Brown’ Comercial.

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

De acordo com os contrastes realizados para cultivos solteiros e consorciados, as massas frescas totais das plantas de alface, tanto de ‘Vanda’ quanto de ‘Lucy Brown’, foram afetadas negativamente pelo consórcio, pois produziram menos massa que em cultivo solteiro (Tabela 9).

Quanto à massa fresca comercial, ainda que com prejuízo no tamanho, que reduziu com aumento na densidade populacional (Figura 5), todas as plantas de ‘Vanda’ tiveram qualidade comercial, independentemente da densidade populacional do pepino. Quando em cultivo solteiro, a massa fresca comercial da ‘Vanda’ foi 237,29 g. Por outro lado, somente foi obtida alface ‘Lucy Brown’ com característica comercial na menor densidade populacional do pepino, 55% de 2,35 plantas m⁻²,

que correspondeu a 1,3 planta m⁻². Somente nesta condição houve formação de cabeça, 192,71 g (Figura 5). Em cultivo solteiro, a massa fresca comercial da ‘Lucy Brown’ foi 405,21 g.

Tabela 9. Grupos de contrastes para massa fresca total (g planta⁻¹) e produtividade total (kg m⁻²) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’.

Contrastes	Massa fresca total	Produtividade total
VS x VC100	118,75 ^{1**2}	1,90**
VS x VC85	112,50**	1,80**
VS x VC70	112,50**	1,80**
VS x VC55	69,58**	1,11**
LBS x LBC100	371,46**	3,04**
LBS x LBC85	324,58**	2,65**
LBS x LBC70	323,13**	2,64**
LBS x LBC55	214,00**	1,95**

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.

² **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Os fatores densidade populacional e cultivar de alface afetaram isoladamente a produtividade total ($p \leq 0,01$) e não foi observada interação significativa dos fatores (Tabela 7).

Entre as alfaces consorciadas, independentemente da densidade populacional do pepino, a alface ‘Vanda’ teve maior produtividade total que a alface ‘Lucy Brown’ (Figura 6), sendo 91% mais produtiva (Tabela 8). Embora não tenham diferido quanto à massa fresca total, a diferença estabelecida para produtividade total se deveu à diferença no espaçamento das alfaces, que confere menor número de plantas por unidade de área à ‘Lucy Brown’. Porém, ambas as alfaces tiveram a produtividade total afetada pelo aumento na densidade populacional de pepino. Assim, maiores produtividades totais foram obtidas na menor densidade populacional (55% de 2,35 plantas m⁻²), sendo de 1,58 e 2,50 kg m⁻² para ‘Lucy Brown’ e ‘Vanda’, respectivamente (Figura 6). A produtividade total de alface, em cultivo solteiro, não teve diferença significativa entre as cultivares ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, que produziram 3,8 e 3,7 kg m⁻², respectivamente (Tabela 8). Entretanto, as produtividades totais das cultivares em cultivo solteiro foram maiores que em cultivos consorciados (Tabela 9).

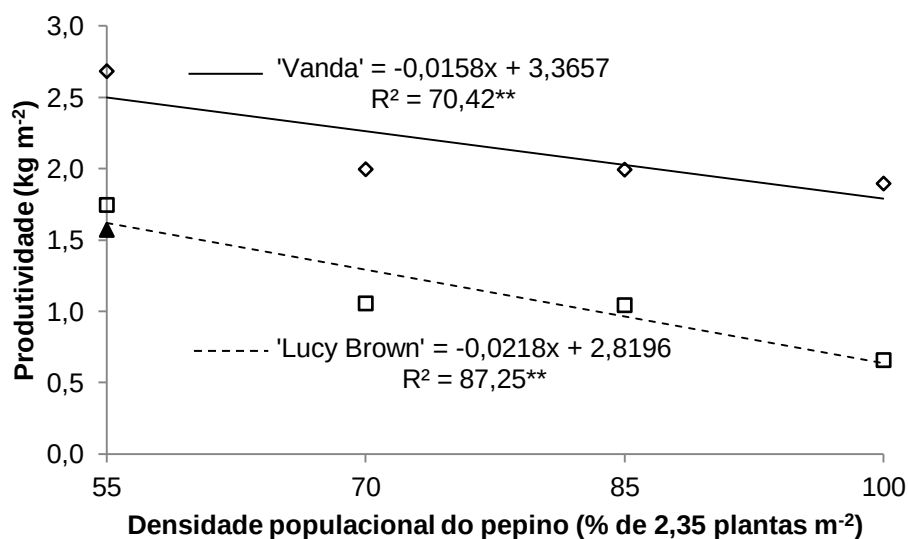


Figura 6. Produtividade total (= comercial) da alface 'Vanda' e produtividades total e comercial de 'Lucy Brown' em função de densidades populacionais do pepino.

◇ 'Vanda'; □ 'Lucy Brown' Total; ▲ 'Lucy Brown' Comercial.

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Quanto à produtividade comercial, as cultivares seguiram o desempenho reportado para massa fresca comercial. Assim, só foi observada produtividade comercial de 'Lucy Brown' na menor população de pepino, o que correspondeu a $1,57 \text{ kg m}^{-2}$. Para 'Vanda', como todas as plantas mostraram-se com qualidade comercial, a produtividade comercial desta cultivar foi igual à produtividade total.

De acordo com a análise de agrupamento realizada, os padrões de semelhança entre as variáveis PAR, estado nutricional e produtividade total das alfaces mostraram a existência de três grupos, sendo um grupo formado pelas densidades populacionais de 70 e 85%, outro com a densidade de 100% e o terceiro com a densidade de 55% de 2,35 plantas m^{-2} (Figura 7), indicando semelhança aos efeitos causados pelas densidades 70 e 85%.

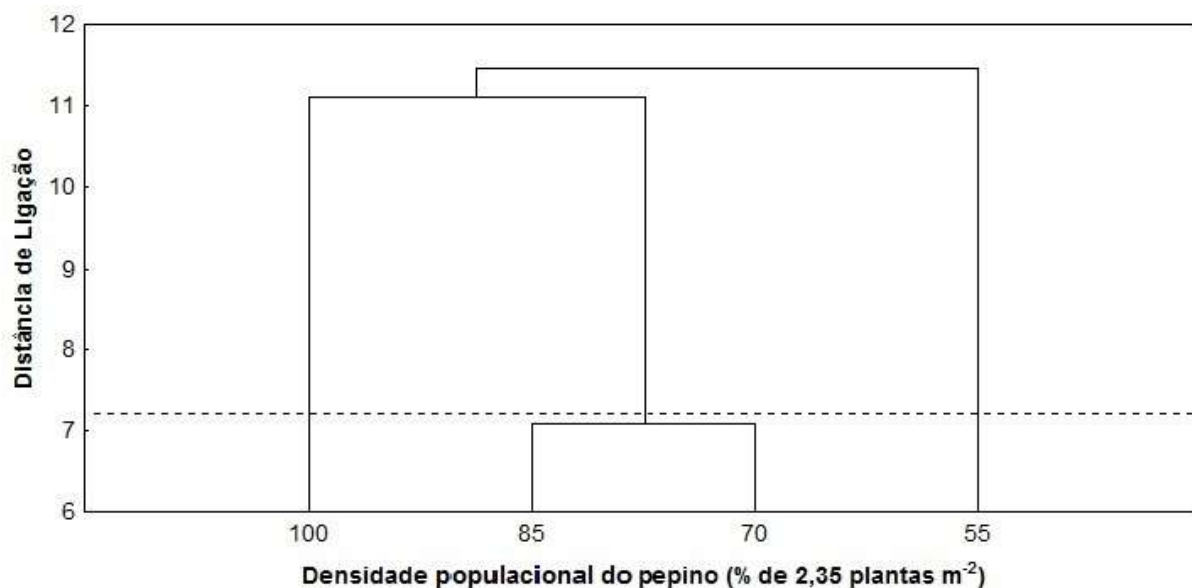


Figura 7. Dendrograma de análise de agrupamento hierárquico abordando as densidades populacionais do pepino entre as variáveis %PAR, produtividade e estado nutricional das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ consorciadas, obtido a partir da distância euclidiana pelo método de Ward.

3.3 – Pepino

O estado nutricional do pepino não foi afetado pelos fatores sistema de cultivo e densidade populacional (Tabela 10), sendo os valores médios 44,7; 1,3; 22,9 e 3,1 g kg⁻¹, respectivamente para N, P, K e Mg, e 59, 33 e 13 mg kg⁻¹, respectivamente para Fe, Mn e Zn.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes do pepino ‘Soldier’ em função de sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP).

Causa da Variação	Estado Nutricional						
	N	P	K	Mg	Fe	Mn	Zn
Sistema Cultivo (SC)	2,90ns ¹	2,74ns	3,04ns	1,42ns	2,62ns	0,71ns	2,60ns
Densidade (DP)	2,19ns	2,54ns	1,01ns	0,35ns	1,54ns	0,83ns	2,13ns
SC x DP	1,38ns	1,22ns	2,06ns	1,94ns	2,33ns	1,28ns	1,19ns
CV (%)	7,23	15,21	2,38	32,67	30,46	30,11	51,38

¹ Teste F, ns: não significativo.

Observou-se que o sistema de cultivo (cultivado solteiro, cultivo consorciado com ‘Vanda’ e cultivo consorciado com ‘Lucy Brown’) não afetou ($p > 0,05$) a

produção e número de frutos por planta e por área. O fator densidade populacional do pepino afetou ($p \leq 0,01$) todas as características (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para número de frutos comerciais por planta (NFP) e por área (NFA), produção de frutos comerciais por planta (PFP) e por área (PFA) do pepino 'Soldier' em função de sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP).

Causa da Variação	NFP	NFA	PFP	PFA
Sistema Cultivo (SC)	1,11ns ¹	1,17ns	0,78ns	0,82ns
Densidade populacional (DP)	6,42**	25,78**	6,57**	14,10**
SC x DP	1,46ns	1,39ns	1,22ns	1,48ns
CV (%)	11,64	11,83	12,54	13,38

¹ Teste F, ns: não significativo; **: $p \leq 0,01$.

Com o aumento da densidade populacional do pepino, o número de frutos por planta e por área diminuiu e aumentou, respectivamente (Figura 8). Como o número de frutos foi o único componente de produtividade do pepino, haja vista os frutos terem sido colhidos com o mesmo tamanho, observou-se o mesmo efeito sobre a produção de frutos por planta e por área (Figura 9).

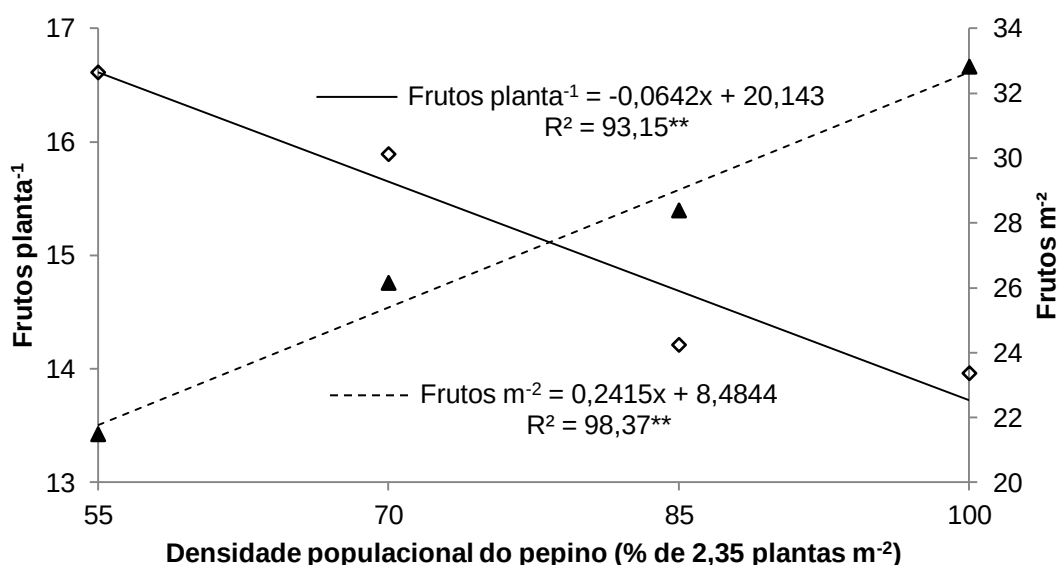


Figura 8. Número de frutos por planta e por área (m²) do pepino em função de densidades populacionais.

◇ Fruto planta⁻¹; ▲ Fruto m⁻².

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

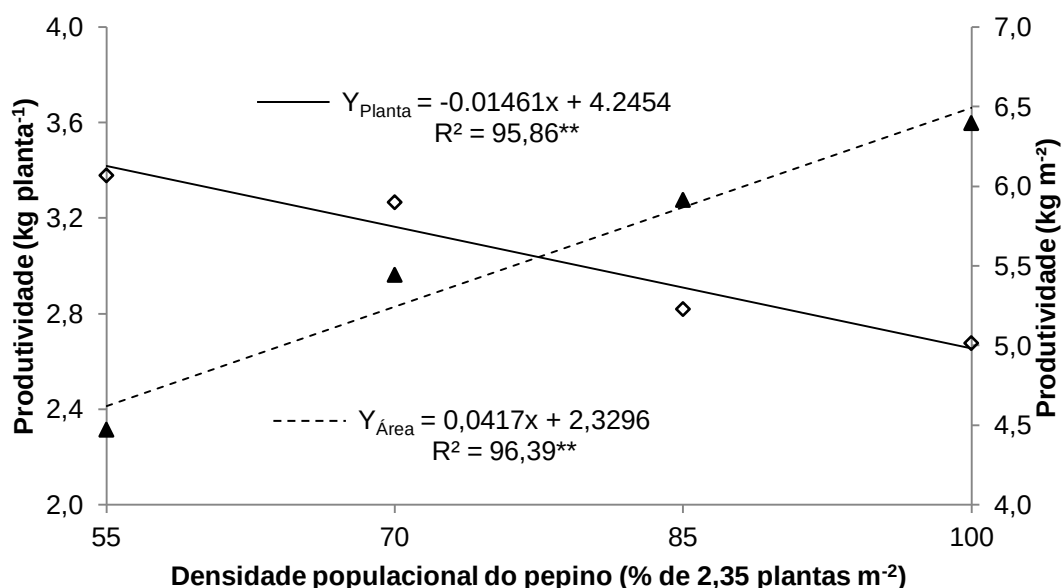


Figura 9. Produtividade do pepino em função de densidades populacionais.

◇ kg planta⁻¹; ▲ kg m⁻².

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

3.4 – Eficiência de Uso de Área (EUA) e Produtividade Relativa (PR)

Com relação ao índice de eficiência de uso da área (EUA), verificou-se que houve interação significativa ($p \leq 0,05$) dos fatores avaliados (sistema de cultivo: ‘Lucy Brown’ e pepino; ‘Vanda’ e pepino; densidade populacional), assim como do sistema de cultivo ($p \leq 0,01$) (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância para eficiência do uso de área (EUA) do consórcio e produtividade relativa das culturas (PR_{alf} e PR_{pep}) no consórcio em função de cultivar de alface no consórcio (CA) e densidade populacional (DP).

Causa da Variação	EUA	PR_{alf}	PR_{pep}
Cultivar Alface (CA)	30,82** ¹	117,98**	0,36ns
Densidade populacional (DP)	1,18ns	25,25**	10,59**
CA x DP	3,51*	1,34ns	2,38ns
CV (%)	7,98	15,01	9,23

¹ Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Todos os valores de EUA dos consórcios foram superiores a 1, indicando superioridade em relação ao cultivo solteiro. Entretanto, o consórcio de pepino com alface ‘Vanda’ foi o que apresentou as maiores EUA.

Ambos os índices EUA ajustaram-se à equação linear, sendo o consórcio de 'Vanda' e pepino crescente e 'Lucy Brown' e pepino decrescente, a medida que aumentou a densidade da populacional do pepino (Figura 10).

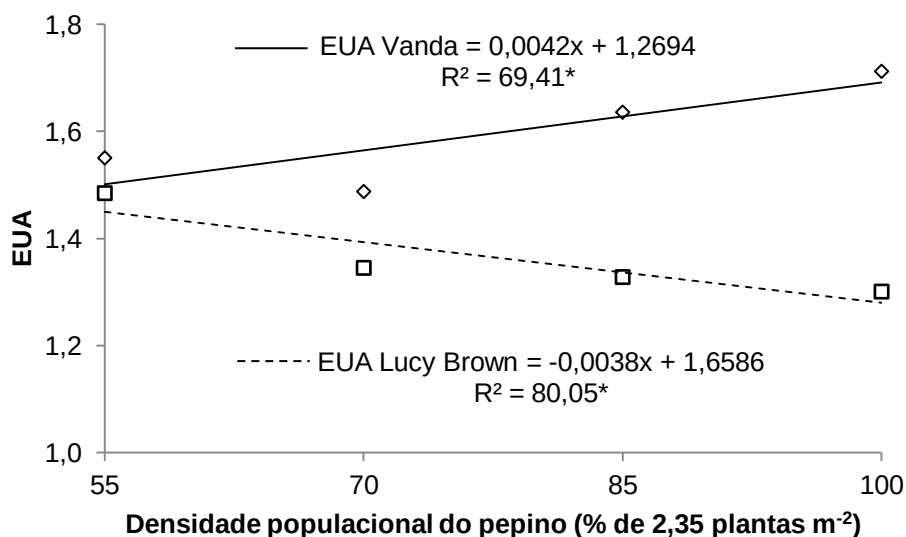


Figura 10. Índice de eficiência de uso da área (EUA) dos consórcios de 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino.

$\diamond$ EUA Vanda; $\square$ EUA Lucy Brown.

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

A produtividade relativa da alface (PR_{alf}) sofreu influência significativa dos fatores sistema de cultivo e densidade populacional ($p \leq 0,01$). A produtividade relativa do pepino sofreu influência significativa apenas para o fator densidade populacional ($p \leq 0,01$) (Tabela 12). A PR de ambas as alfaces foram decrescentes com o aumento da densidade populacional do pepino, mas a PR do pepino foi ascendente com o aumento das densidades populacionais (Figura 11).

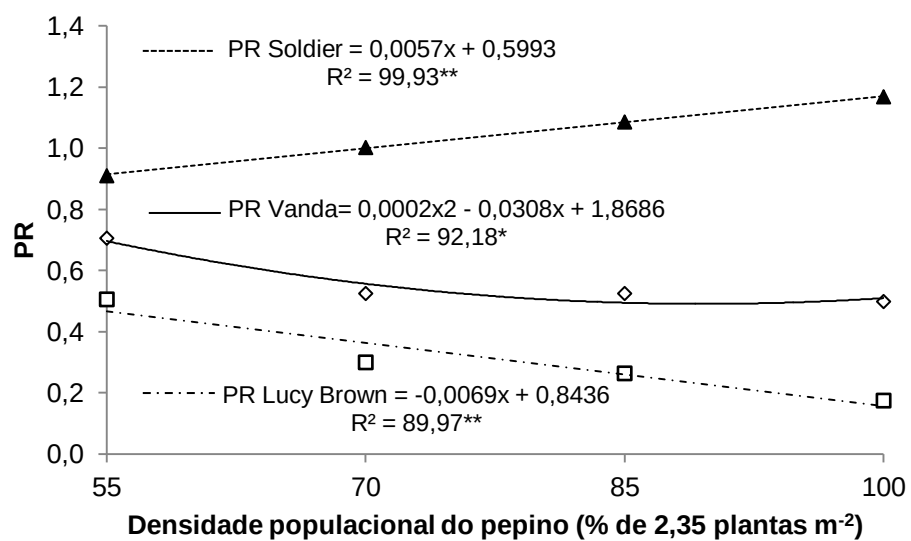


Figura 11. Produtividade Relativa (PR) dos componentes dos consórcios de 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino.

◇ PR Vanda; □ PR Lucy Brown; ▲ PR Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4 – DISCUSSÃO

De acordo com a faixa de teores adequados de macro e micronutrientes (macronutrientes em g kg^{-1} , N: 30 a 50, P: 4 a 7, K: 50 a 80 e Mg: 4 a 6; micronutrientes em mg kg^{-1} , Fe: 50 a 150, Mn: 30 a 150 e Zn: 30 a 100), proposta por Trani e Raij (1997), para avaliação do estado nutricional de alface, os teores de N, K, Fe e Mn ficaram dentro da faixa considerada adequada para 'Vanda', tanto solteira quanto consorciada. Para 'Lucy Brown', apenas os valores de N e Mn ficaram dentro da faixa adequada, tanto solteira quanto consorciada. Os teores de P, Mg e Zn ficaram abaixo do considerado adequado para 'Vanda' e 'Lucy Brown', K e Fe para 'Lucy Brown' ficaram abaixo do considerado ideal (Tabela 4). Porém, não foram visualizados sintomas de deficiência nutricional.

O crescimento do pepino causou forte interferência negativa às alfaces. A sobreposição do dossel do pepino à alface reduziu significativamente a passagem de radiação solar. Somente cerca de 20 a 35% da PAR atingiu as alfaces, ao final do ciclo, sendo o sombreamento mais intenso na maior população de pepino ($2,35 \text{ pl m}^{-2}$) e menos intenso conforme diminuía a população (Figura 4). Provavelmente, mesmo na menor população de pepino, a baixa disponibilidade de PAR fez com que não houvesse efeito significativo ($p > 0,05$) de cultivares e sistemas de cultivo nos teores de N, P, K, Fe e Zn. Apesar dos teores de Mg estarem abaixo da faixa ideal (TRANI; RAIJ, 1997), os teores de Mg da alface 'Vanda' consorciada com pepino em densidade de 55% da máxima, foi menor que na 'Vanda' solteira. Provavelmente, isso ocorreu porque a intensidade da luz pode afetar a expressão de sintomas de deficiência de Mg, visto que o sombreamento parcial de folhas com deficiência de Mg causa aumento das concentrações (CAKMAK; MARSCHNER, 1992). Os efeitos da alta e baixa intensidade luminosa sobre a toxicidade e diminuição da concentração de Mn são conflitantes. A diversidade de sintomas de toxicidade Mn pode ser uma das principais razões para estes resultados contraditórios, além da alface ser considerada altamente sensível ao Mn (WISSEMEIER; HORST, 1987, 1992; JONES JUNIOR, 2012; MARSCHNER, 2012; BARKER; PILBEAM, 2015).

Baixa PAR tem sido correlacionada a aumentos médios de 12,6%, 23,7% e 14,1%, respectivamente nos teores de K, Ca e Mg (COLONNA et al., 2016). As

concentrações de P, K, Ca, Mg, Fe e Mn também aumentaram em baixas PAR (STAGNARI; GALIENI; PISANTE, 2015). Outros autores não detectaram diferença nos teores de P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Mo e Zn em diferentes intensidades de radiação, enquanto Ca e Fe tiveram os teores maiores onde a PAR foi maior (LEFSRUD et al., 2006). Todavia, vale salientar que os mecanismos exatos envolvidos ainda estão sob investigação (COLONNA et al., 2016).

As quantidades de PAR que chegavam às alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' foram maiores quando a população de pepino 'Soldier' foi menor (55% de 2,35 pl m⁻²), influenciando diretamente na produção das alfaces. Conforme se aumentou a densidade populacional, menor foi a penetração de PAR para as alfaces (Figura 4), e menor foi a produção de massa fresca, por planta e por área, de ambas as cultivares de alface (Figuras 5 e 6). A quantidade de PAR que chegou não foi suficiente para que as plantas produzissem biomassa satisfatoriamente, devido à biomassa do pepino 'Soldier' conduzido por tutoramento, que tinha suas folhas em um plano superior à das alfaces, causou sombra e competiu por luz, o que indica que menor quantidade de luz diminuiu a produtividade (NEGRINI et al., 2010; REZENDE et al., 2010; FU; LI; WU, 2012; YASEEN et al., 2013). A produtividade das plantas é dependente da radiação (PAR) que chega a estas (CARON et al., 2007; YASEEN et al., 2013; STAGNARI; GALIENI; PISANTE, 2015). A luz é o principal fator de competição entre plantas em sistemas de cultivo consorciado (WILLEY, 1979a; BARILLOT et al. 2011), e diferenças de altura, população, inclinação de folhagem são habilidades para interceptação de luz e níveis de competição pela luz (BARILLOT et al., 2011).

Em situações de estresse (nutricional, luz, temperatura, encharcamento e seca) pode haver translocação e/ou locação de nutrientes e compostos orgânicos de uma parte para outra na planta. No presente estudo, não houve diferença na nutrição, temperatura e irrigação no cultivo das plantas em consórcio e cultivo solteiro, sendo apenas a luz (PAR) o fator limitante. A luz é o fator de maior impacto no crescimento das plantas, principalmente quando estão submetidas a convivência (POORTER et al., 2012). Estes autores observaram que mais de 30% das variáveis responsáveis pelo crescimento diminuem quando há diminuição da luz, quando comparado com outros distúrbios (água, temperatura e nutrição).

A produção de massa fresca e produtividade das alfaces consorciadas (Figuras 5 e 6) estão diretamente ligadas às densidades populacionais do pepino, ou seja, menores densidades populacionais causam menores perdas nas produções e produtividades destas, corroborando com Rezende et al. (2010). A alface é sensível à diminuição de luz (KOUDELA; PETŘÍKOVÁ, 2008; REZENDE et al., 2010; FU; LI; WU, 2012; STAGNARI; GALIENI; PISANTE, 2015; COLONNA et al., 2016). Efeito do sombreamento também foi constatado quando a alface foi consorciada com tomateiro, diminuindo ainda mais a produção quando o transplante desta foi realizado semanas após o tomateiro (CECÍLIO FILHO et al., 2008; CECÍLIO FILHO; REZENDE; COSTA, 2008).

A produtividade de qualquer cultura está diretamente correlacionada com seu estado nutricional (MARSCHNER, 2012; BARKER; PILBEAM, 2015), e com fatores climáticos, como a luz (WILLEY, 1979a; FU; LI; WU, 2012; COLONNA et al., 2016), e estes fatores devem estar em equilíbrio (TILMAN et al., 2002). Nesse sentido, torna-se complicado fazer a correlação de apenas uma variável com a produção de determinada cultura. Uma técnica que ajuda a compreender melhor os fenômenos envolvidos entre todas as variáveis são as análises multivariadas e, nesse aspecto, percebe-se que há padrões de semelhança, ao se analisar as características de produtividade da alface, %PAR recebida pela alface e estado nutricional da alface (Figura 7). As densidades 70 e 85% tiveram a menor distância euclidiana, fazendo o primeiro grupo na análise de agrupamento. Percebe-se esse que esses grupos também apareceram na Figura 4, na qual as curvas das equações referentes às densidades 70 e 85% estão muito próximas, assim como os valores das produções por planta e produtividades encontradas para as densidades 70 e 85% para ambas as alfaces (Figuras 5 e 6). Os elementos do estado nutricional, mesmo não tendo efeito significativo para densidades (Tabela 4), também seguiram esses padrões (dados não mostrados), com exceção para K em 'Vanda'.

Na avaliação do estado nutricional do pepino, N, P, K, Mn e Zn ficaram com os valores abaixo da faixa considerada ideal (macronutrientes em g kg^{-1} , N: 45 a 60, P: 3 a 12, K: 35 a 50 e Mg: 3 a 10; micronutrientes em mg kg^{-1} , Fe: 50 a 300, Mn: 50 a 300 e Zn: 25 a 100) (TRANI; RAIJ, 1997). Mg e Fe tiveram seus valores dentro da faixa considerada ideal.

O número de frutos por planta no pepino foi maior na menor densidade de plantio (Figura 8), que pode ser atribuído a maior quantidade de luz (PAR) às partes mais baixas da planta (Figura 4), fazendo a fotossíntese líquida ser maior nessas plantas (NGOUAJIO; WANG; HAUSBECK, 2006). O pepino é uma planta sensível ao sombreamento (HAO; PAPADOPOULOS, 1999), e a maior radiação proporciona maior produtividade (HOVI-PEKKANEN; TAHVONEN, 2008; PETTERSEN; TORRE; GISLERØD, 2010). Todavia, o número de frutos por área foi maior na maior densidade (2,35 plantas m^{-2}), consequentemente aumentando a rentabilidade por área (SCHULTHEIS et al., 1998; NGOUAJIO; WANG; HAUSBECK, 2006).

As produtividades do pepino (por planta e por área) não foram afetadas pela presença da alface, como mostrado também por Cecílio Filho et al. (2015). A indiferença pode ser atribuída às características da cultura como rápido crescimento e formação do dossel em estrato superior ao alface, pois foi uma cultura conduzida tutorada. Em um consórcio, as espécies de maior porte se beneficiam por terem folhas em um estrato superior, onde a intensidade luminosa é mais elevada, diminuindo e/ou anulando a interferência da espécie em convivência (KEATING; CARBERRY, 1993; SINOQUET; CALDWELL, 1995; BAUMANN et al., 2002; LOPES; LIMA, 2015; GOU et al., 2016). Tais características colocam o pepino como a cultura dominadora, mais agressiva, na competição destas duas espécies em consórcio (BERRY et al., 2006a; CECÍLIO FILHO et al., 2015).

Em conformidade com as distintas intensidades do efeito do pepino sobre a 'Vanda' e a 'Lucy Brown', o índice EUA do consórcio foi diferente para ambas. Ainda que com redução no tamanho da alface, mas em razão de ter sido atendida a qualidade comercial, todos os consórcios de 'Vanda' com pepino 'Soldier' mostraram-se viáveis. Os índices do consórcio da alface 'Vanda' com o pepino 'Soldier' situaram-se entre 1,55 a 1,71, sendo o menor valor no consórcio com densidade populacional do pepino a 55% de 2,35 plantas m^{-2} , aumentado conforme aumentou-se a densidade populacional (Figura 10). Nota-se que a participação da alface 'Vanda' no índice aumentou com a menor densidade, justamente pela maior PAR em relação às demais. Por outro lado, caiu a participação do pepino na menor densidade (Figura 11), pois, conforme a Figura 9, a quantidade de pepino produzida foi menor em razão do menor número de plantas por área.

Quanto ao consórcio da alface ‘Lucy Brown’ com o pepino ‘Soldier’ os índices situaram-se entre 1,30 a 1,49, sendo o menor valor no consórcio com densidade populacional do pepino a 100% de 2,35 plantas m⁻², aumentado conforme diminuiu a densidade populacional (Figura 10). Apesar do consórcio entre ‘Lucy Brown’ e ‘Soldier’ terem valores menores de EUA que o consórcio da ‘Vanda’, esses valores foram maiores que 1, alcançando produtividades entre 28 a 49% maiores que a mesma área de cultivos solteiros. Entretanto, se for considerada a necessidade de formação de cabeça para comercialização, então, somente o consórcio na menor densidade mostrou-se viável. Por outro lado, caso a comercialização corresponda a venda de folhas soltas ou processadas (picadas) (AGÜERO et al., 2011; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ et al., 2011; GALATI et al., 2015a, 2015b), as demais densidades populacionais também se mostraram viáveis, sendo maior à medida que menor foi a densidade. Os valores da participação da ‘Lucy Brown’ na composição do índice EUA seguem o mesmo padrão descrito pela ‘Vanda’; porém, com maior intensidade que ‘Vanda’ à medida que diminui a população do pepino. Enquanto ‘Vanda’ aumentou em 40% sua participação EUA, de 100 (0,50) para 55% (0,71) da população de pepino, ‘Lucy Brown’ aumentou 183% (0,51/0,18). A participação do pepino na composição do índice não sofreu efeito significativo para as cultivares de alface (Tabela 12).

As participações de ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ na composição dos índices EUA foram menores que 1 (Figura 11), corroborando os resultados de Cecílio Filho et al. (2013, 2015) em trabalhos que avaliaram consórcios de alfaces com tomateiro e pepino, respectivamente.

As participações do pepino na composição dos índices foram inversamente proporcionais às das alfaces, visto que quando diminuiu a densidade populacional, o pepino aumentou a produção por planta. Entretanto, o aumento na produção de frutos por planta foi insuficiente para compensar o menor número de plantas por área, o que causou queda de produtividade. No cálculo do índice EUA utiliza-se a produção de frutos por área e não por planta.

5 – CONCLUSÕES

A produtividade das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' são afetadas negativamente pelo consórcio, sendo mais prejudicadas com o aumento da densidade populacional do pepino;

A alface 'Lucy Brown' produz comercialmente (cabeça) apenas na menor densidade populacional;

A produtividade por planta e por área do pepino 'Soldier' não são influenciadas pela presença da alface, não diferindo, portanto, entre os sistemas de cultivo, consórcio e solteiro;

A densidade populacional influencia diretamente a quantidade de luz que chega às alfaces e, conseqüentemente, o crescimento destas;

As participações das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' na eficiência de uso da área do consórcio aumenta à medida que menor é a densidade populacional do pepino, enquanto a participação do pepino é o inverso da observada para alface.

O consórcio possibilita uso mais eficiente da área que os cultivos solteiros de alface e pepino, com intensidade maior para 'Vanda' que para 'Lucy Brown'.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÜERO, M. V.; PONCE, A. G.; MOREIRA, M. R.; ROURA, S. I. Lettuce quality loss under conditions that favor the wilting phenomenon. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 124–131, 2011.
- ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, E. M. N. C. P.; FERREIRA, R. L. F.; CECÍLIO FILHO, A. B. Rentabilidade da produção orgânica de alface em função do ambiente, preparo do solo e época de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 783-791, 2012.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agronômica & AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. 2015, 396 p.
- BARILLOT, R.; LOUARN, G.; ESCOBAR-GUTIRREZ, A. J.; HUYNH, P.; COMBES, D. How good is the turbid medium-based approach for accounting for light partitioning in contrasted grasslegume intercropping systems? **Annals of Botany**, Oxford, v. 108, n. 6, p. 1013–1024, 2011.
- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, 2015. 774 p.
- BAUMANN, D. T.; BASTIAANS, L.; GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H. H.; KROPFF, M. J. Analysing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. **Agricultural Systems**, London, v. 73, n. 2, p. 173–203, 2002.
- BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Aggressivity: cucumber vs. amaranth. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 4, p. 986–991, 2006a.
- BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Smooth pigweed (*Amaranthus hybridus* L.) and livid amaranth (*Amaranthus lividus*) interference with cucumber (*Cucumis sativus*). **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 227–231, 2006b.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 98, n. 4, p. 1222–1227, 1992.
- CARON, B. O.; MANFRON, P. A.; LÚCIO, A. D.; SCHMIT, D.; EDIEROS, S. L. P. Equações de estimativa da fitomassa da parte aérea da alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1248–1254, 2007.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; LIMA, J. S. S. Indices of bio-agroeconomic efficiency in intercropping systems of cucumber and lettuce in greenhouse. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 12, p. 1154–1164, 2015.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; GRENGEIRO, L. C.; LIMA, J. S. S. Indices of competition and bio-agroeconomic efficiency of lettuce and tomato intercrops in greenhouses. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 7, n. 6, p. 809–819, 2013.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L.; SILVA, G. S.; GRANGEIRO, L. C. Interação entre alface e tomateiro consorciados em ambiente protegido, em diferentes épocas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 158–164, 2008.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; COSTA, C. C. Efeito da consorciação na rentabilidade da cultura da alface cultivada em ambiente protegido. **Científica**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 130–138, 2008.

COLONNA, E.; ROUPHAEL, Y.; BARBIERI, G.; PASCALE, S. Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities. **Food Chemistry**, London, v. 199, p. 702–710, 2016.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Mapeamento e qualificação da cadeia produtiva das hortaliças do Brasil**. Brasília: CNA, 2017. 79 p.

DE WIT, C. T.; VAN DEN BERGH, J. P. Competition between herbage plants. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 13, n. 2, p. 212–221, 1965.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013, 353 p.

FEDERER, W. T. Statistical issues in intercropping. In: EL-SHAARAWI, A. H., PIEGORSCH, W. W., PIEGORSCH, W. W. (Eds.). **Encyclopedia of Environmetrics**, 1st ed. Wiley, New York, 2002. p. 1064–1069.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008. 412 p.

FONSECA, I. C. B.; KLAR, A. E.; GOTO, R.; NEVES, C. S. V. J. Colored polyethylene soil covers and grafting effects on cucumber flowering and yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 643-649, 2003.

FONTES, P. C. R. A Produção de Hortaliças - Olericultura. In: _____ (Ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 3-13.

FU, W.; LI, P.; WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 135, p. 45–51, 2012.

GALATI, V. C.; GUIMARÃES, J. E. R.; MARQUES, K. M.; FERNANDES, J. D. R., CECÍLIO FILHO, A. B.; MATTIUZ, B.-H. Silicon in the turgidity maintenance of American lettuce. **African Journal of Agricultural Research**, Kenya, v. 10, n. 51, p. 4699–4705, 2015a.

GALATI, V. C.; MARQUES, K. M.; MORGADO, C. M. A.; CORRÊA, A. C.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MATTIUZ, B. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana “Lucy Brown” minimamente processada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1932–1938, 2015b.

GOU, F.; VAN ITTERSUM, M. K.; WANG, G.; VAN DER PUTTEN, P. E. L.; VAN DER WERF, W. Yield and yield components of wheat and maize in wheat-maize intercropping in the Netherlands. **European Journal of Agronomy**, Paris, v. 76, p. 17–27, 2016.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HAO, X.; PAPADOPOULOS, A. P. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 80, n. 1–2, p. 1–18, 1999.

HOVI-PEKKANEN, T.; TAHVONEN, R. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 116, n. 2, p. 152–161, 2008.

HORTIBRASIL. Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura. **Pepino: classe e defeitos variáveis**. 2014. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/jnw/classificacao/pepino/pepino.html>>. Acessado em: 17/11/2014.

IPE AGROCOMERCIAL. **Pepino Soldier**. Disponível em <<http://cyberrv.wixsite.com/ipeagrocomercial/takii?lightbox=i91mp7>> Acessado em 27/07/2016.

JONES Jr., J. B. **Plant nutrition and soil fertility manual**. 2nd Ed. Boca Ratón: CRC Press, 2012. 304 p.

KEATING, B. A.; CARBERRY, P. S. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 34, n. 3–4, p. 273–301, 1993.

KOUDELA, M.; PETŘÍKOVÁ, K. Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var *crispa*). **Horticultural Science**, Prague, v. 35, n. 3, p. 99–106, 2008.

LEFSRUD, M. G.; KOPSELL, D. A.; KOPSELL, D. E.; CURRAN-CELENTANO, J. Irradiance levels affect growth parameters and carotenoid pigments in kale and spinach grown in a controlled environment. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 127, n. 4, p. 624–631, 2006.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Interceptação e distribuição da energia radiante em comunidades terrestres. In: _____; _____ (Eds.). **Fisiologia da produção**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 117-145.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd Ed. London: Elsevier, 2012, 651 p.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; TUDELA, J. A., LUNA, C., ALLENDE, A., GIL, M. I. Postharvest biology and technology low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 59, p. 34–42, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 2009, p. 191-233.

NATARAJAN, M. Spatial arrangements of component crops in developing intercropping system: some concepts and methodologies. In: WADDINGTON, S. R.; PALMER, A. F. E.; EDJE, O. T. (Eds.). **Proceedings of a workshop on research methods for cereal/legume intercropping in Eastern and Southern Africa**. CIMMYT, Mexico. 1990. p. 68-73.

NEGRINI, A. C. A.; Melo, P. C. T.; AMBROSANO, E. J.; SAKAI, R. H.; SCHAMMASS, E. A.; ROSSI, F. Performance of lettuce in sole cropping and intercropping with green manures. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 58–63, 2010.

NGOUAJIO, M.; WANG, G.; HAUSBECK, M. K. Changes in pickling cucumber yield and economic value in response to planting density. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 4, p. 1570–1575, 2006.

PETTERSEN, R. I.; TORRE, S.; GISLERØD, H. R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, n. 2, p. 77–81, 2010.

POORTER, H.; NIKLAS, K. J.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analysis of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, Oxford, v. 193, n. 1, p. 30–50, 2012.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVA, G. S.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L. Consórcios de alface crespa e pepino em função da população do pepino e época de cultivo. **Interciência**, v. 35, n. 5, p. 374–379, 2010.

ROLIM, G. S. **Dados meteorológicos**, 2017. UNESP-Jaboticabal. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/#!/estacao>> Acessado em 28/08/2017.

ROSA, A. M.; SÉO, H. L. S.; VOLPATO, M. B.; FOZ, N. V.; SILVA, T. C.; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R.; OGLIARI, J. B. Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 4, p. 494-501, 2014.

SAKATA SEED SUDAMERICA. **Vanda**. 2014. Disponível em: <<http://www.sakata.com.br/produtos/hortalicas/folhosas/alface>> Acessado em 17/11/2014

SCHULTHEIS, J. R.; WEHNER, T. C.; WALTERS, S. A. Optimum planting density and harvest stage for little-leaf and normal-leaf cucumbers for once-over harvest. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 78, p. 333–340, 1998.

SEDIYAMA, M. A. N.; NASCIMENTO, J. L. M.; LOPES, I. P. C.; LIMA, P. C.; VIDIGAL, S. M. Tipos de poda em pepino dos grupos aodai, japonês e caipira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 491-496, 2014.

SEMINIS. **Lucy Brown**. 2014. Disponível em: <<http://www.seminis.com/global/br/products/Pages/LucyBrown.aspx>> Acessado em 17/11/2014

SINOQUET, H.; CALDWELL, R. M. Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. (Ed.). **Ecophysiology of tropical intercropping**. Paris: INRA. 1995. p. 79-98.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. San Francisco: FREEMAN, W.H., 1973. 573 p.

STAGNARI, F.; GALIENI, A.; PISANTE, M. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 192, p. 70–79, 2015.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, n. 6898, p. 671–677, 2002.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. Van. Hortaliças. In: RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 157-186. (Boletim técnico 100).

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarole, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 168-169. (Boletim técnico 100). (a)

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B.; NAGAI, H. Abobrinha ou abóbora de moita; abóbora rasteira, moranga e híbridos; bucha e pepino. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 165. (Boletim técnico 100). (b)

VANDERMEER, J. H. **The Ecology of Intercropping**. Cambridge: Cambridge University Press, 237 p., 1989.

VANDERMEER, J. H. **Tropical Agroecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2003. 268 p.

WILLEY, R. W. Intercropping – its importance and research needs. Part 1 – Competition and yield advantage. **Field Crops Abstracts**, Wallingford, v. 32, n. 2, p. 1-10, 1979a.

WILLEY, R. W. Intercropping – its importance and research needs. Part 2 – Agronomy and research needs. **Field Crops Abstracts**, Wallingford, v. 32, n. 2, p. 73-85, 1979b.

WILLEY, W.; OSIRU, D. S. O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 79, p. 517–529, 1972.

WISSEMEIER, A. H.; HORST, W. J. Callose deposition in leaves of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) as a sensitive response to high Mn supply. **Plant and Soil**, Haia, v. 102, p. 283–286, 1987.

WISSEMEIER, A. H.; HORST, W. J. Effect of light intensity on manganese toxicity symptoms and callose formation in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Plant and Soil**, Haia, v. 143, n. 2, p. 299–309, 1992.

YASEEN, M.; SINGH, M.; SINGH, U. B.; SINGH, S.; RAM, M. Optimum planting time, method, plant density, size of planting material, and photo synthetically active radiation for safed musli (*Chlorophytum borivillianum*). **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 61–64, 2013.

CAPÍTULO 3 – Índices de competição para avaliação de consórcios de alface e pepino, em casa de vegetação

RESUMO – A interpretação da competição das espécies envolvidas em um consórcio depende da forma como essa é medida, mas existem várias fórmulas que quantificam a competição, seja quanto à importância, seja quanto às interações dentro do consórcio. Face ao exposto, o objetivo foi avaliar o consórcio e a interação de duas variedades de alface e pepino através de diferentes índices, em cultivo protegido. O experimento foi instalado em casa de vegetação, em Jaboticabal, SP, sob delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial 2 x 4, sendo duas cultivares de alface ('Vanda' e 'Lucy Brown') e quatro populações de pepino no consórcio (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m⁻²). Para avaliação do consórcio utilizou-se os índices: Coeficiente relativo de adensamento, Índice de Competitividade Relativa, Agressividade, Coeficiente Relativo de Aglomeração, Intensidade Absoluta de Competição, Intensidade Relativa de Competição, Perda de Produtividade Real, Produtividade Relativa, Eficiência de Uso da Área no Tempo, Eficiência de Uso da Área, Índice de Produtividade do Sistema e Coeficiente da Eficiência de Uso da Área. Todos os índices apresentaram alguma diferença na análise de variância. Os índices de desempenho das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' nos consórcios retratam prejuízo no crescimento e produtividade quando em consórcio com o pepino, independentemente da densidade populacional deste. Índices de desempenho das alfaces caracterizam a 'Vanda' como a cultivar de alface mais adequada para consorciar com o pepino. Quanto maior a densidade populacional do pepino no consórcio, piores foram os índices de desempenho das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown'. Os índices de desempenho do pepino 'Soldier' nos consórcios não caracterizam efeito de competição das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown'. Os índices que retratam desempenhos parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' e do pepino 'Soldier' as caracterizam como espécie dominada e o pepino como espécie dominadora no consórcio. O consórcio 'Vanda' e 'Soldier' mostrou-se mais vantajoso que 'Lucy Brown' e 'Soldier'. Considerando os índices, o melhor consórcio é o de 'Vanda' e 'Soldier' com 100% da população de pepino. Para 'Lucy Brown' e 'Soldier' o melhor consórcio é usando-se a densidade de 55% da população de pepino.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., densidade populacional

Competition indices for evaluation of lettuce and cucumber intercropped in greenhouse conditions

ABSTRACT – The interpretation of the competition of the species involved in a intercropping depends on how it is measured, but there are several formulas that quantify the competition, whether in terms of importance or in relation to the interactions within the intercrop. In view of the above, the objective was to evaluate the intercropping and the interaction of two lettuce and cucumber varieties through different indexes, in protected cultivation. The experiment was carried out in a greenhouse, in Jaboticabal, SP, under a randomized complete block design, 2 x 4 factorial scheme, two lettuce cultivars ('Vanda' and 'Lucy Brown') and four cucumber populations in the intercropping (100, 85, 70 and 55% of 2.35 plants m⁻²). In order to evaluate the intercropping, the following indices were used: Relative Crowding Coefficient (K and RCC), Competitive Ratio, Aggressivity, Absolute Competition Intensity, Relative Competition Intensity, Actual Yield Loss, Relative Yield, Area x Time Equivalency Ratio, Land Equivalent Ratio, System Productivity Index and Land Equivalent Coefficient. All indices showed a difference in analysis of variance. The performance indices of the 'Vanda' and 'Lucy Brown' lettuce in the intercropping portray damage in growth and productivity when in intercropping with the cucumber, regardless of the population density. Lettuce performance indexes characterize 'Vanda' as a more appropriate lettuce cultivar to intercropping with the cucumber. The higher was the population density of the cucumber in the intercropping, the worse was the indices of 'Vanda' and 'Lucy Brown' lettuce. The performance indices of the 'Soldier' cucumber in the intercropping do not characterize the competition effect of lettuces 'Vanda' and 'Lucy Brown'. Indices that depict partial performances of lettuces 'Vanda' and 'Lucy Brown' and 'Soldier' cucumber as they characterize as dominated species and cucumber as dominating species in the intercropping. The intercropping 'Vanda' and 'Soldier' proved to be more advantageous than 'Lucy Brown' and 'Soldier'. Considering the indices, the best intercropping was 'Vanda' and 'Soldier' with 100% of the cucumber population. For 'Lucy Brown' and 'Soldier' the best intercropping with a density of 55% of the cucumber population.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., population density

1 – INTRODUÇÃO

Em muitos lugares do mundo, particularmente nos países em desenvolvimento, os agricultores geralmente fazem seus plantios em combinações (policultivos ou consórcios), preferencialmente ao plantio de culturas isoladas (monoculturas, ou culturas solteiras) (ALTIERI, 2002). É necessário que exista uma complementaridade entre as culturas envolvidas no consórcio (GLIESSMAN, 2005), e para o sucesso deste consórcio cada espécie envolvida deve ter um nicho levemente diferente (SANTOS; GLIESSMAN; CECILIO FILHO, 2013). Entretanto, haverá convivência entre as diferentes espécies que poderá tornar-se competição em sistemas consorciados, tanto intra quanto interespecífica (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

A interpretação da competição das espécies envolvidas em um consórcio depende da forma como essa é medida (CAMPBELL; GRIME, 1992; GRACE, 1995). Há várias fórmulas que quantificam a competição, seja quanto à importância, seja quanto às interações dentro do consórcio, tanto de adição quanto de substituição (DE WIT, 1960; MCGILCHRIST; TRENBATH, 1971; WILLEY; OSIRU, 1972; WILLEY; RAO, 1980; SNAYDON, 1991; GRACE, 1995; BANIK et al., 2000; WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003). A escolha de qual índice utilizar para avaliar o consórcio deve ser criteriosa e planejada, e muitas vezes até usar mais de um índice para avaliar a eficiência do consórcio (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001).

No consórcio de alface (*Lactuca sativa* L.) e pepino (*Cucumis sativus* L.), a avaliação deste a partir dos índices poderá indicar qual cultura está sendo dominadora e dominada (BERRY et al., 2006a, 2006b, CECÍLIO FILHO et al., 2013, 2015) ou ainda estimar qual foi o ganho ou perda na área em questão (BEZERRA NETO et al., 2012).

Face ao exposto, o objetivo foi quantificar e explicar, por meio de índices de competição, a interação da alface e pepino, em consórcios estabelecidos com diferentes espaçamentos do pepino, em cultivo protegido.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em 30 de janeiro de 2015, em casa de vegetação com disposição Leste a Oeste, de 460,8 m², de modelo teto em arco, com pé-direito de 3 m, coberta com filme de polietileno de baixa densidade, transparente, de 150 µm de espessura, aditivado contra raios ultravioleta, paredes com sombrite de cor vermelha, localizada na UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, no Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, em Jaboticabal, SP, situada à altitude de 575 m, latitude 21°14'39,60" S e longitude 48°17'10,84" W.

O clima de Jaboticabal é classificado como subtropical com chuvas de verão, e inverno relativamente seco. Apresenta médias anuais de 1.423,9 mm, 22,3 °C, 29,1 °C e 16,9 °C de precipitação pluvial e temperaturas média, máxima e mínima, respectivamente (ROLIM, 2017).

Uma miniestação meteorológica da marca Spectrum, modelo WatchDog 2475, foi colocada no centro da casa de vegetação, a 2,0 m de altura e registrou a cada cinco minutos a temperatura, umidade relativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), para cálculos diários destes (Figuras 1, 2 e 3).

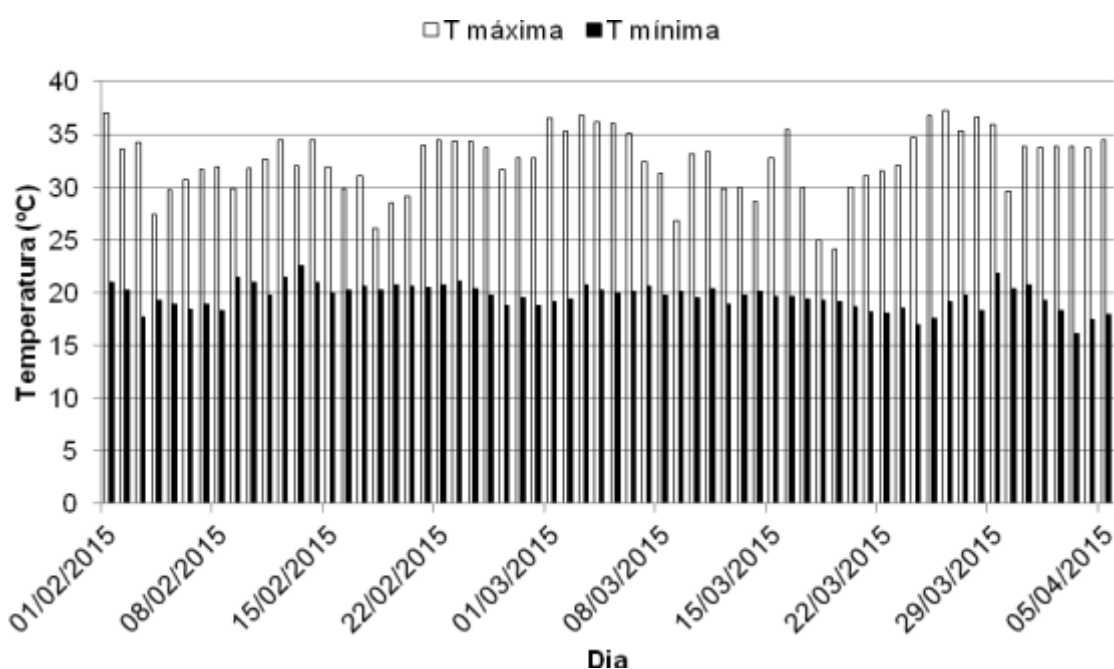


Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

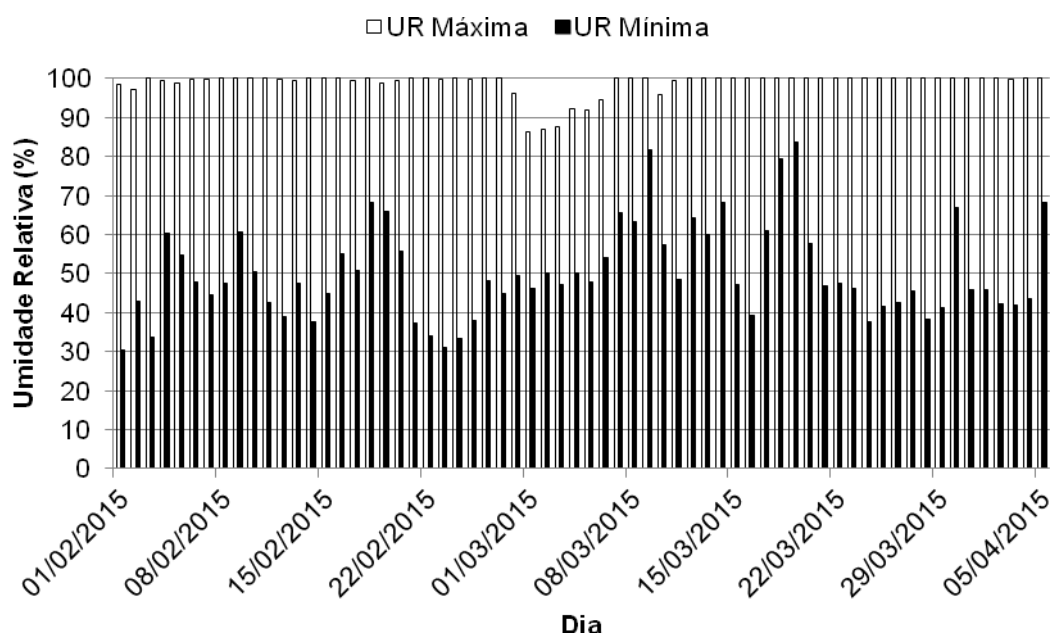


Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

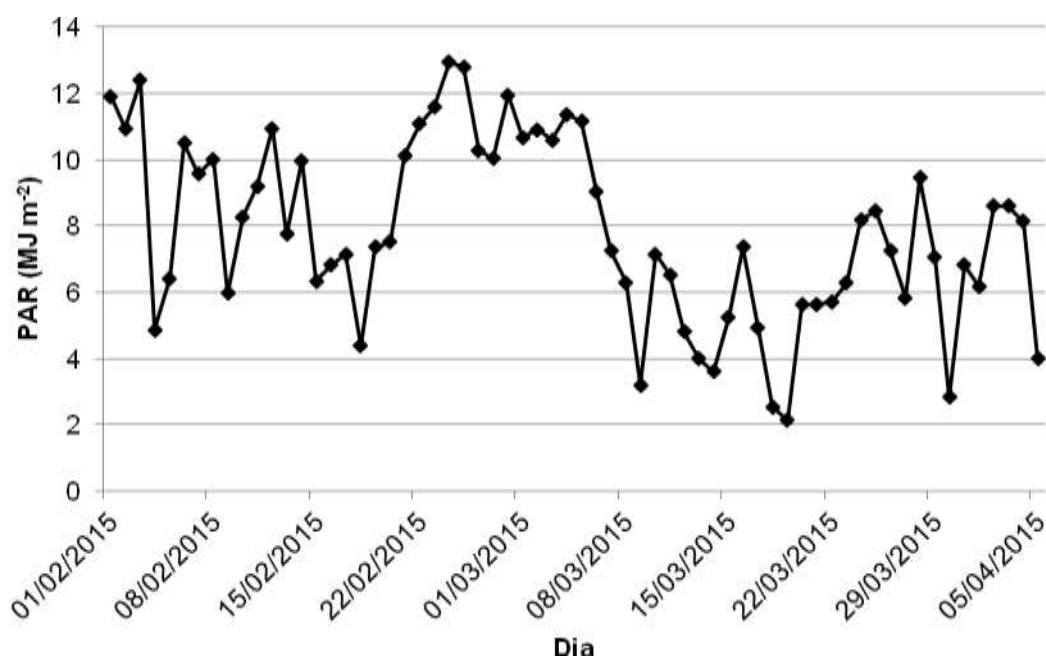


Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.

2.2 – Instalação e condução do experimento

O solo da área, segundo classificação da EMBRAPA (2013), corresponde ao LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico de textura muito argilosa. O preparo do

solo da área experimental foi feito com aração e posterior preparo de canteiros (1,20 m de largura) com rotoencanteirador.

Previamente à instalação do experimento, o solo da casa de vegetação foi amostrado para análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi feita coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm. As 20 amostras simples foram homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta. Da amostra composta, foi retirada uma subamostra de 250 cm³ de terra, que foi enviada ao Laboratório de Análise de Solo e Planta, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para fazer a análise química e física, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.

pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%
5,4	9	11	1,2	21	6	17	28,2	45,2	62
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	Argila	Silte	Areia	
-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----	
0,23	1,0	5	2,4	0,3	0,00	590	160	250	

A calagem e adubações de transplântio e cobertura para as culturas da alface e pepino, em solteiro, foram realizadas de acordo com Trani et al. (1997a, b). Nos consórcios, foram aplicadas as quantidades de nutrientes recomendadas para a cultura do pepino, que tem maior demanda por nutrientes, correspondendo a 40 kg ha⁻¹ de N, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, com as fontes ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas adubações de cobertura, tanto para consórcios quanto para culturas solteiras, as quantidades dos nutrientes, assim como as épocas de aplicação, foram as recomendadas para cada cultura. Foram aplicados em cobertura para a cultura do pepino 150 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, divididos em três aplicações, aos 20, 40 e 60 dias após transplante (DAT). Para alface, a adubação de cobertura foi com 90 kg ha⁻¹ de N, dividido em três aplicações, aos 10, 20 e 30 DAT. Nas adubações de cobertura utilizou-se ureia e cloreto de potássio, respectivamente como fontes de N e K.

A cultivar de alface do grupo comercial de folhas crespas e com formação de cabeça foi a 'Lucy Brown' (Seminis®), caracteriza-se por apresentar folhas grossas, dando ótima proteção à cabeça. Apresenta, também, cabeça de tamanho grande,

coração muito pequeno, coloração verde clara, boa compacidade e massa; alta tolerância ao florescimento, ciclo de 48 a 55 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SEMINIS, 2014). Para a alface do grupo de folhas crespas e sem formação de cabeça, foi utilizada a cultivar Vanda (Sakata®). Apresenta caule grosso, sistema radicular vigoroso, resistência a 'tip burn' e precocidade, com ciclo de 40 a 45 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SAKATA SEED SUDAMERICA, 2014).

O pepino 'Soldier' é um híbrido que pertence ao grupo japonês. Os frutos são tipicamente afilados e alongados, com 20 a 30 cm, de coloração verde-escura e triloculares, com acúleos brancos (FILGUEIRA, 2008). Pode ser cultivado o ano todo, devido à sua rusticidade. Apresenta alta tolerância ao calor e média ao frio, e às doenças vírus do mosaico amarelo das cucurbitáceas (ZYMV), oídio, corynespora, fusarium e míldio (IPÊ AGROCOMERCIAL, 2012).

As mudas de alface foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células piramidais, preenchidas com substrato Bioplant®, colocando-se uma semente por célula. Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas em ambiente protegido e irrigadas diariamente até as mudas terem quatro folhas, quando foram transplantadas no canteiro.

As mudas de pepino 'Soldier', enxertado sobre abóbora 'Keeper', e de alfaces foram transplantadas, no mesmo dia, em canteiros. O espaçamento entre fileiras duplas do pepino foi de 1,20 m e entre fileiras da dupla de 0,50 m. Para obter 100, 85, 70 e 55% da população de 2,35 plantas m⁻², os espaçamentos entre plantas na fileira foram 0,50, 0,59, 0,72 e 0,91 m, respectivamente. Para a alface 'Lucy Brown', o espaçamento foi de 0,35 x 0,35 m e de 0,25 x 0,25 m para 'Vanda'.

As plantas de pepino foram conduzidas em haste única, tutoradas com fita plástica na vertical, com desbrota das ramificações axilares até 0,4 m de altura. A partir de então, foram deixados os brotos desenvolverem-se, sendo fixados em fios de arames dispostos paralelamente ao terreno e espaçados entre si em 0,40 m. Quando as hastes laterais apresentaram dois frutos e três folhas eliminou-se o meristema apical. A haste principal foi despontada quando a planta atingiu, aproximadamente, a altura de 2 metros, com 19 nós. A irrigação do experimento foi realizada por tubogotejadores.

O tamanho das parcelas foi variado, devido ao espaçamento do pepino, sendo todos os canteiros com 1,20 m de largura, e com 3; 3,6; 4,3 e 5,4 m de comprimento nas parcelas que tinham o pepino, respectivamente a 100, 85, 70 e 55% da população total (2,35 plantas m⁻²). Nas parcelas com alface cultivadas solteiras o comprimento foi 2 e 2,8 m, respectivamente para 'Vanda' e 'Lucy Brown'.

A área útil para avaliação das características relativas à alface e ao pepino compreendeu todas as plantas excetuando as primeiras e últimas plantas de cada linha de cultivo.

A alface foi considerada como cultura principal e o pepino a cultura secundária.

2.3 – Características avaliadas:

Para os cálculos dos índices: Y_{12} é a produtividade da cultura "1" em consórcio com a cultura "2"; Y_{21} é a produtividade da cultura "2" em consórcio com a cultura "1". Y_{11} é a produtividade da cultura "1" em monocultura; Y_{22} é a produtividade da cultura "2" em monocultura; T_{11} é o tempo, em dias, que a cultura "1" permaneceu no consórcio; T_{22} é o tempo, em dias, que a cultura "2" permaneceu no consórcio; T_{12} é o tempo total, em dias, de duração do consórcio; Z_{12} é a proporção da cultura "1" no consórcio e Z_{21} é a proporção da cultura "2" no consórcio.

2.3.1 – Coeficiente Relativo de Adensamento (K): foi calculado de acordo com a equação proposta por De Wit (1960):

$$K = K_1 \times K_2, \text{ onde:} \quad [1]$$

$$K_1 = Y_{12}Z_{21} / (Y_{11}-Y_{12}) \times Z_{12} \text{ e} \quad [2]$$

$$K_2 = Y_{21}Z_{12} / (Y_{22}-Y_{21}) \times Z_{21} \quad [3]$$

Se o índice K for igual, menor ou maior do que 1 significa que o consórcio foi indiferente, não teve vantagem ou foi vantajoso, respectivamente, em relação aos monocultivos (BHATTI et al., 2006; CHAICHI et al., 2007).

2.3.2 – Índice de Competitividade Relativa (CR): obtido pela equação proposta por Willey e Rao (1980):

$$CR = CR_1 + CR_2, \text{ onde:} \quad [4]$$

$$CR_1 = [(Y_{12} / Y_{11}) / (Y_{21} / Y_{22}) \times Z_{21} / Z_{12}] \text{ e} \quad [5]$$

$$CR_2 = [(Y_{21} / Y_{22}) / (Y_{12} / Y_{11}) \times Z_{12} / Z_{21}] \quad [6]$$

Sendo que CR_1 e CR_2 são os índices CR das culturas 1 e 2, respectivamente, no cultivo consorciado. No consórcio, a cultura com maior CR caracteriza-se com maior capacidade de utilização dos recursos do meio.

2.3.3 – Agressividade (AGR): é um índice que indica o grau de competitividade entre as culturas. O índice pode ser calculado pela equação proposta por McGilchrist e Trenbath (1971), adaptado por Snaydon (1991), que considera a produtividade (kg m^{-2}):

$$AGR_1 = (Y_{12} / Y_{11}) - (Y_{21} / Y_{22}) \text{ e} \quad [7]$$

$$AGR_2 = (Y_{21} / Y_{22}) - (Y_{12} / Y_{11}) \quad [8]$$

Para ambas as equações, se AGR for igual a zero, as culturas são igualmente competitivas. Se AGR é positivo, então essa cultura é dominante à outra cultura (dominada), que apresentará índice negativo.

2.3.4 – Coeficiente Relativo de Aglomeração (CRA): É uma medida para comparar a agressividade relativa de uma espécie à outra. Foi calculado separadamente para cada espécie. Valores de $CRA = 1$ indicam habilidade competitiva aproximadamente igual, enquanto valores > 1 ou < 1 indicam que uma espécie é mais ou menos competitiva, respectivamente, do que a outra espécie. Calculado conforme equação proposta por Harper (1977):

$$CRA_1 = (Y_{12} / Y_{11}) / (Y_{21} / Y_{22}) \text{ e} \quad [9]$$

$$CRA_2 = (Y_{21} / Y_{22}) / (Y_{12} / Y_{11}) \quad [10]$$

2.3.5 – Intensidade Absoluta de Competição (IAC): Foi desenvolvida por Campbell e Grime (1992) e calcula diretamente a diferença entre as produtividades em monocultura e consórcio através da equação:

$$IAC_1 = Y_{11} - Y_{12} \text{ e} \quad [11]$$

$$IAC_2 = Y_{22} - Y_{21} \quad [12]$$

Valores positivos, nulos ou negativos indicam que há desvantagem, indiferença e vantagem na competição no consórcio, respectivamente.

2.3.6 – Intensidade Relativa de Competição (IRC): Foi desenvolvida por Grace (1995) e calcula a proporção da diferença entre as produtividades em monocultura e em consórcio através da equação:

$$IRC_1 = (Y_{11} - Y_{12}) / Y_{11} \text{ e} \quad [13]$$

$$IRC_2 = (Y_{22} - Y_{21}) / Y_{22} \quad [14]$$

Valores positivos, nulos ou negativos indicam que há desvantagem, indiferença e vantagem na competição no consórcio, respectivamente.

2.3.7 – Perda de Produtividade Real (PPR): é a perda de produtividade em cultivo consorciado em relação ao seu cultivo solteiro (BANIK, 1996; BANIK et al., 2000). Positivo ou negativo valor de PPR indica que há vantagem ou desvantagem do consórcio. É calculado por:

$$PPR = PPR_1 + PPR_2, \text{ sendo:} \quad [15]$$

$$PPR_1 = \{[(Y_{12} / Y_{11}) \times (100 / Z_{12})] - 1\} \text{ e} \quad [16]$$

$$PPR_2 = \{[(Y_{21} / Y_{22}) \times (100 / Z_{21})] - 1\} \quad [17]$$

2.3.8 – Produtividade Relativa (PR): Índice que calcula a produtividade da cultura consorciada em relação à cultura em monocultura (DE WIT; VAN DEN BERGH, 1965), sendo:

$$PR_1 = Y_{12} / Y_{11} \text{ e} \quad [18]$$

$$PR_2 = Y_{21} / Y_{22} \quad [19]$$

2.3.9 – Eficiência de Uso da Área no Tempo (EUAT): O Índice foi calculado utilizando-se a fórmula proposta por Hiebsch (1978) e Hiebsch e McCollum (1987).

$$EUAT = \{[(Y_{12}/Y_{11}) \times T_{11}] + [(Y_{21}/Y_{22}) \times T_{22}]\} / T_{12} \quad [20]$$

Valores de EUAT acima de '1' indicam viabilidade produtiva no consórcio.

2.3.10 – Eficiência de Uso da Área (EUA): O Índice foi calculado utilizando-se a fórmula proposta por (WILLEY; OSIRU, 1972).

$$EUA = (Y_{12} / Y_{11}) + (Y_{21} / Y_{22}) \quad [21]$$

Valores de EUA acima de '1' indicam viabilidade produtiva no consórcio.

2.3.11 – Índice de Produtividade do Sistema (IPS): foi obtida conforme metodologia proposta por Odo (1991):

$$IPS = ((Y_{11} / Y_{22}) \times Y_{21}) + Y_{12} \quad [22]$$

A principal vantagem do IPS é que esse índice uniformiza a produtividade da cultura consorte em termos da cultura principal. O IPS é utilizado para comparação de diferentes consórcios, sendo o consórcio com maior valor de IPS considerado mais vantajoso.

2.3.12 – Coeficiente da Eficiência de Uso da Área (CEUA): é obtido através da equação proposta por Adetiloye, Ezedinma e Okigbo (1983):

$$CEUA = (Y_{12} / Y_{11}) \times (Y_{21} / Y_{22}) \quad [23]$$

Há ganho no cultivo consorciado quando $CEUA > 0,25$.

Todos os índices descritos foram obtidos levando em consideração as produtividades total das alfaces e a comercial do pepino, em cada densidade populacional (Tabela 2). No denominador, cultivo solteiro, para cada densidade populacional, utilizou-se o valor correspondente à média dos cultivos solteiros (blocos), conforme propôs Federer (2002).

Tabela 2. Produtividades (kg m^{-2}) das espécies em cultivo solteiro e em consórcio.

Densidade pepino ¹	Alface em consórcio				Pepino Soldier Solteiro
	Lucy Brown		Vanda		
	Prod. alface	Prod. pepino	Prod. alface	Prod. pepino	
100%	0,65	6,51	1,90	7,02	5,79
85%	0,98	6,00	2,00	6,27	5,65
70%	1,11	5,63	2,00	5,18	5,39
55%	1,87	4,58	2,69	3,95	4,68
	3,70 ²	--	3,80 ²	--	--

¹ – Percentual da população de pepino em relação a 2,35 plantas m^{-2} ;

² – Cultivo solteiro da alface.

2.4 – Análises estatísticas

Foi realizada análise de resíduos anteriormente à análise de variância dos dados, utilizando o teste de não aditividade de Tukey para verificar a aditividade dos

efeitos, os testes de Lilliefors, de Bartlett e de Aleatoriedade para verificar, respectivamente, a normalidade, a homogeneidade e a aleatoriedade dos erros.

Atendendo a esses pressupostos, para as análises de variância dos dados utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas cultivares de alface ('Vanda' e 'Lucy Brown') e quatro populações de pepino no consórcio (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m⁻²).

Os efeitos significativos para o fator densidade populacional do pepino, isolado ou em interação com as cultivares, foram avaliados por meio de análise de regressão polinomial. Mesmo não havendo interação significativa dos fatores, objetivou-se encontrar ajustes de equação para cada cultivar de alface. Em todas as análises utilizou-se o programa estatístico *AgroEstat* (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

3 – RESULTADOS

A primeira análise em trabalhos de consórcios deve ser a avaliação dos índices para a análise estatística (BEZERRA NETO et al., 2012) e, neste trabalho, não houve problemas nos testes estatísticos, mostrando que os mesmos atendem pressupostos adequados para avaliação dos fenômenos biológicos (JASIENSKI; BAZZAZ, 1999). Após análise de resíduo e verificação de normalidade e homocedasticidade dos dados, realizou-se a análise de variância (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os índices de competição das espécies em consórcio em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.

Índice ¹	Valor F ²			CV (%)
	Alface (A)	Densidade (DP)	A x DP	
K_{alf}	141,58**	3,67*	1,66ns	21,96
K_{pep}	13,41**	12,09**	5,83**	1659,08
K	8,54**	13,84**	8,76**	258,68
CR_{alf}	106,59**	4,25*	0,77ns	17,62
CR_{pep}	238,40**	12,52**	7,58**	11,75
CR	249,74**	13,60**	8,89**	9,63
AGR_{alf}	39,55**	6,84**	0,70ns	-13,50
AGR_{pep}	39,26**	6,39**	0,75ns	13,72
CRA_{alf}	82,18**	33,55**	0,45ns	19,11
CRA_{pep}	106,84**	35,56**	11,86**	19,23
IAC_{alf}	101,70**	24,76**	1,18ns	11,83
IAC_{pep}	0,16ns	10,26**	2,12ns	-200,41
IRC_{alf}	117,98**	25,25**	1,34ns	11,71
IRC_{pep}	0,40ns	10,33**	2,32ns	-234,14
PPR_{alf}	117,98**	25,25**	1,34ns	-11,71
PPR_{pep}	1,55ns	23,10**	3,11ns	32,35
PPR	15,56**	41,94**	4,19*	-79,94
PR_{alf}	117,98**	25,25**	1,34ns	15,01
PR_{pep}	0,36ns	10,59**	2,38ns	9,23
$EUAT_{alf}$	31,03**	32,80**	4,21*	14,20
$EUAT_{pep}$	0,36ns	10,59**	2,38ns	9,23
$EUAT$	4,53**	1,77ns	6,88**	6,66
EUA	30,82**	1,18ns	3,51*	7,98
IPS	42,08**	1,18ns	3,49*	8,02
$CEUA$	103,49**	4,06*	12,42**	15,61

¹ Coeficiente relativo de adensamento da alface (K_{alf}), pepino (K_{pep}) e geral (K); Competitividade relativa da alface (CR_{alf}), do pepino (CR_{pep}) e geral (CR); Agressividade da alface (AGR_{alf}) e pepino (AGR_{pep}); Coeficiente relativo de aglomeração da alface (CRA_{alf}) e pepino (CRA_{pep}); Intensidade absoluta de competição da alface (IAC_{alf}) e pepino (IAC_{pep}); Intensidade relativa de competição da alface (IRC_{alf}) e pepino (IRC_{pep}); Perda de produtividade real da alface (PPR_{alf}), do pepino (PPR_{pep}) e geral (PPR); Produção relativa da alface (PR_{alf}) e pepino (PR_{pep}); Eficiência de uso de área no tempo da alface ($EUAT_{alf}$), do pepino ($EUAT_{pep}$) e geral ($EUAT$); Eficiência de uso de área (EUA); Índice de produtividade do sistema (IPS); Coeficiente de eficiência de uso de área ($CEUA$);

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Quanto ao coeficiente relativo de adensamento da alface (K_{alf}) e o índice de competitividade relativa da alface (CR_{alf}), os índices observados para 'Vanda' não ajustaram-se a equação polinomial, e tiveram média de 0,91 e 0,42, respectivamente. Entretanto, verificou-se que os valores dos dois índices foram superiores aos encontrados para 'Lucy Brown', que ajustaram-se à equação linear, diminuindo o K e CR com o aumento da densidade populacional (Figura 4a e 5a). Já os coeficientes relativos de adensamento do pepino (K_{pep}) e índice de competitividade relativa do pepino (CR_{pep}) diferiram quanto à resposta ao aumento da densidade populacional (Figuras 4b e 5b). Com relação aos índices K e CR do consórcio, as respostas ao incremento na densidade populacional desses índices assemelharam-se às respostas de K_{pep} e CR_{pep} , demonstrando que os efeitos do pepino sobre o adensamento e competitividade são preponderantes na composição dos índices. Os índices K e CR dos consórcios (Figuras 4c e 5c) demonstram que 'Vanda' tem menor competição com o pepino (menores valores CR) e, portanto, maior possibilidade de se obter melhor resultado com o consórcio, no maior adensamento. Consórcios de 'Vanda' e 'Soldier' apresentaram valores menores que 1 de K a partir de 88% da densidade populacional de 2,35 plantas m^{-2} , enquanto nos consórcios de 'Lucy Brown' e 'Soldier' isso ocorreu com menor densidade de plantio (71%) (Figura 4c) e caracteriza alta sensibilidade da 'Lucy Brown' ao maior adensamento.

Os índices de agressividade e de coeficiente relativo de aglomeração da alface (AGR_{alf} e CRA_{alf}) (Figuras 6a e 7a) e do pepino (AGR_{pep} e CRA_{pep}) (Figuras 6b e 7b) demonstraram que 'Vanda' apresentou maior agressividade e capacidade de aglomeração que a 'Lucy Brown'. Isso, somado aos demais índices anteriormente analisados, permite compreender que 'Vanda' é mais competitiva que a 'Lucy Brown' e sofre menos com o sombreamento causado pelo pepino. Também, permitiu observar que ambas foram menos competitivas com 'Soldier' à medida que este teve menor espaçamento (maior densidade populacional) (Figura 6a e 7a). Inversamente às alfaces, AGR_{pep} e CRA_{pep} aumentaram com o incremento na densidade populacional (Figura 6b e 7b).

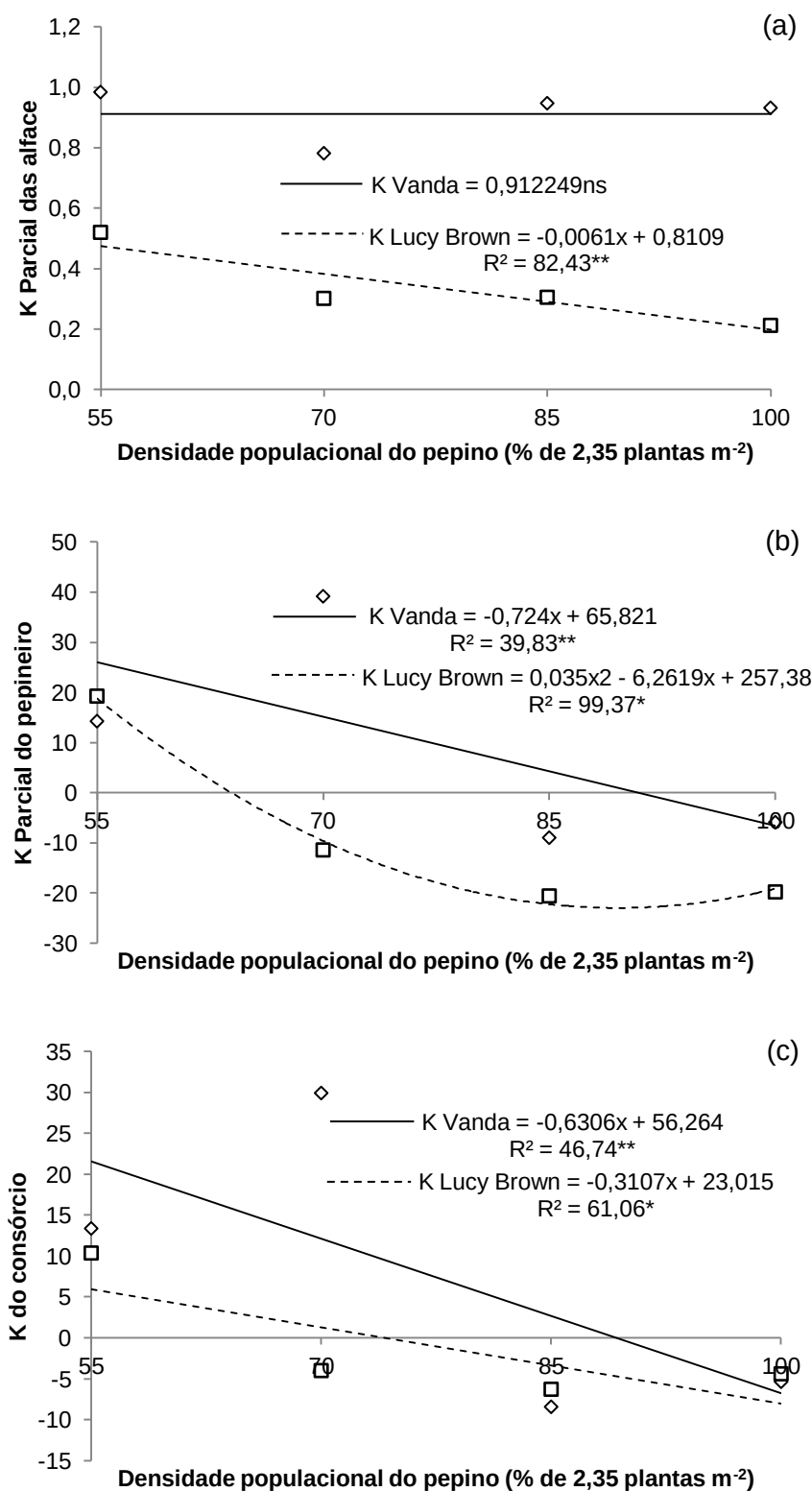


Figura 4. Coeficientes relativos de adensamento (K) parciais das alfaces ‘Vanda’, e ‘Lucy Brown’ (a), do pepino ‘Soldier’ (b) e dos consórcios (c) em função da densidade populacional do pepino.

◇ K Vanda; □ K Lucy Brown;

ns: não significativo; *: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

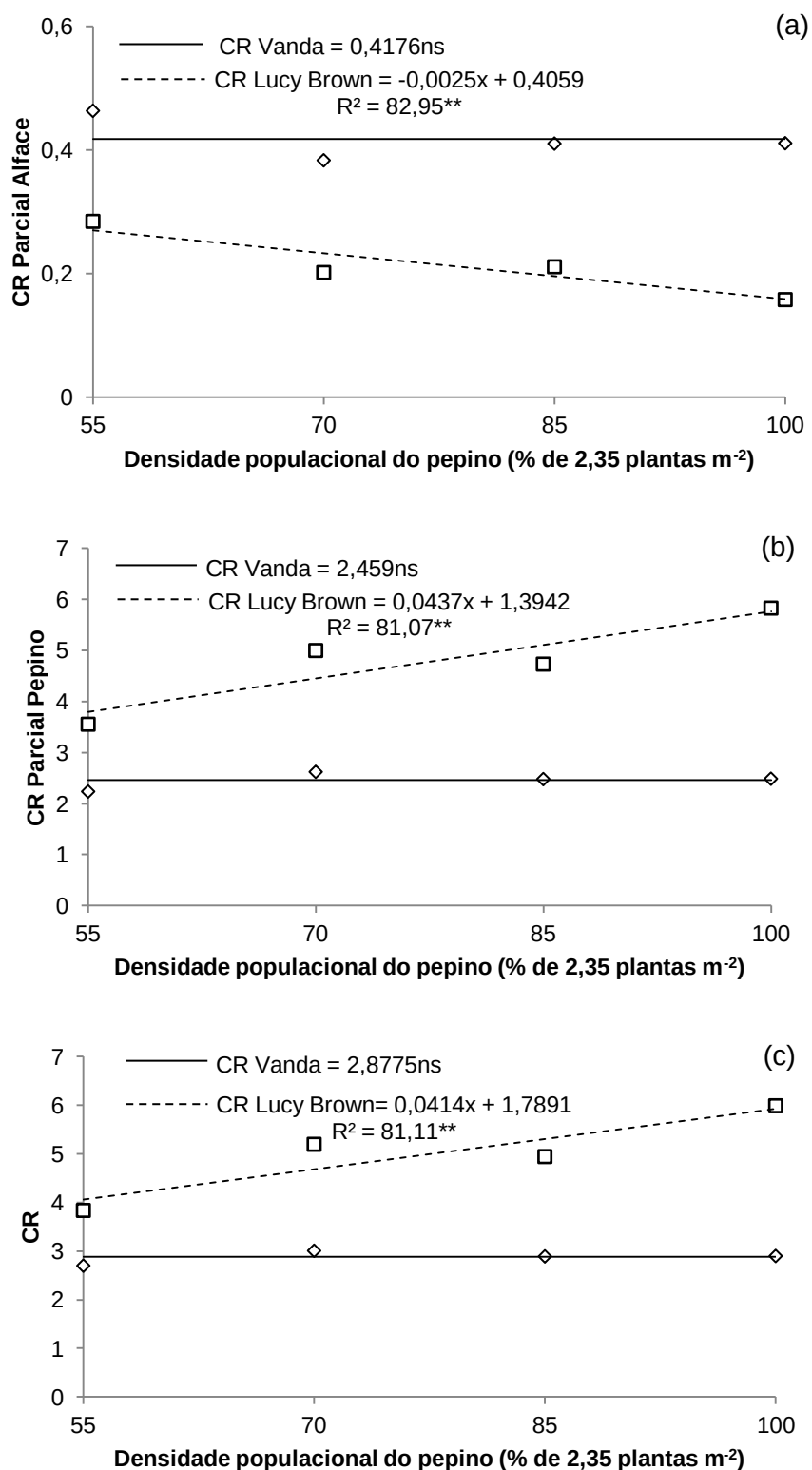


Figura 5. Índice de competitividade relativa (CR) parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a), do pepino 'Soldier' (b) e CR dos consórcios (c) em função da densidade populacional do pepino.

◇ CR Vanda; □ CR Lucy Brown;

ns: não significativo; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

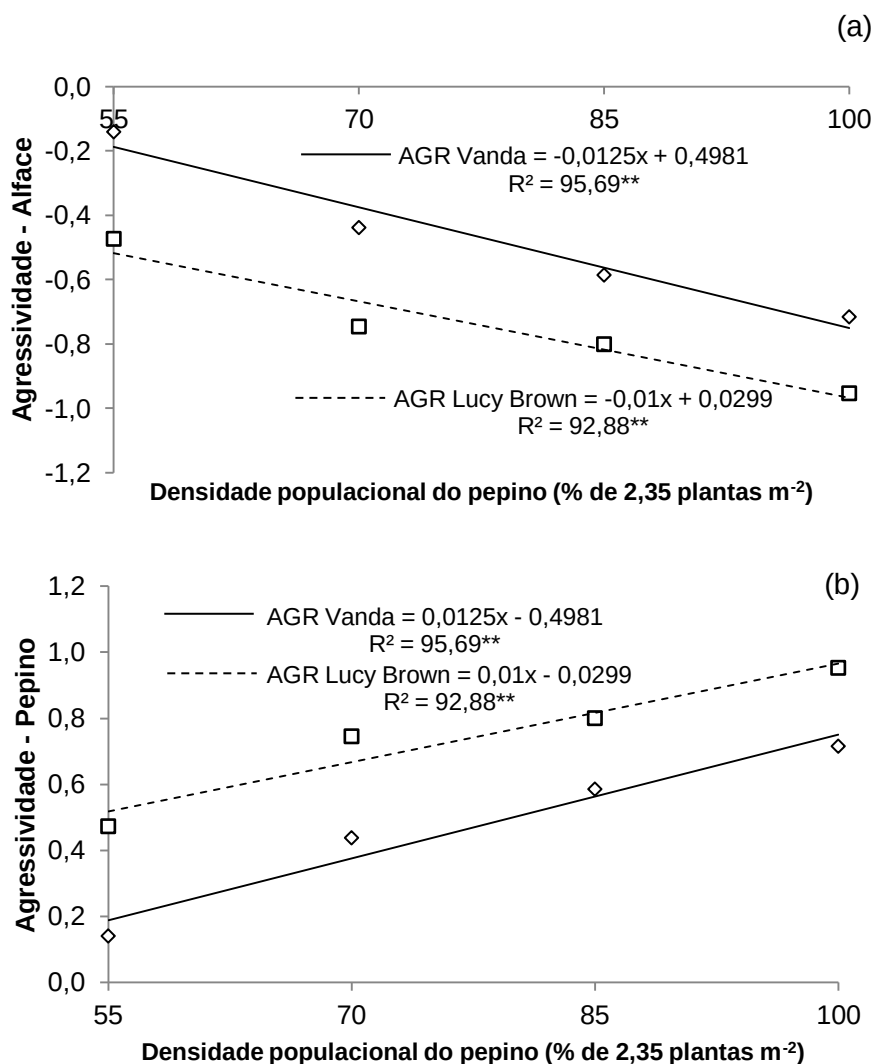


Figura 6. Índices de agressividade das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ (a) e do pepino ‘Soldier’ (b) em consórcios, em função da densidade populacional do pepino.

◇ AGR Vanda; □ AGR Lucy Brown;

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Os resultados observados para intensidade absoluta de competição (IAC) (Figura 8) e relativa de competição (IRC) (Figura 9) corroboraram os de AGR e CRA. Os IAC_{alf} da ‘Lucy Brown’ foram maiores que os de ‘Vanda’ em todas as densidades populacionais, indicando que a competição com o pepino foi sentida mais pela ‘Lucy Brown’. Ambas cultivares de alface tiveram maiores IAC conforme maior foi a densidade populacional (Figuras 8a e 9a). Os valores desses índices observados para o pepino foram decrescentes com o aumento da densidade populacional, passando a apresentar valores negativos a partir da densidade de 70%, em

decorrência de terem sido constatadas, nestas condições, produtividades em consórcio maiores que em cultivo solteiro, retratando diminuição da intensidade de competição das alfaces para com o pepino. O pepino, em todas as densidades, apresentou valores de IAC menores que as alfaces, demonstrando que foi a espécie mais competitiva entre as consorciadas (Figura 8b).

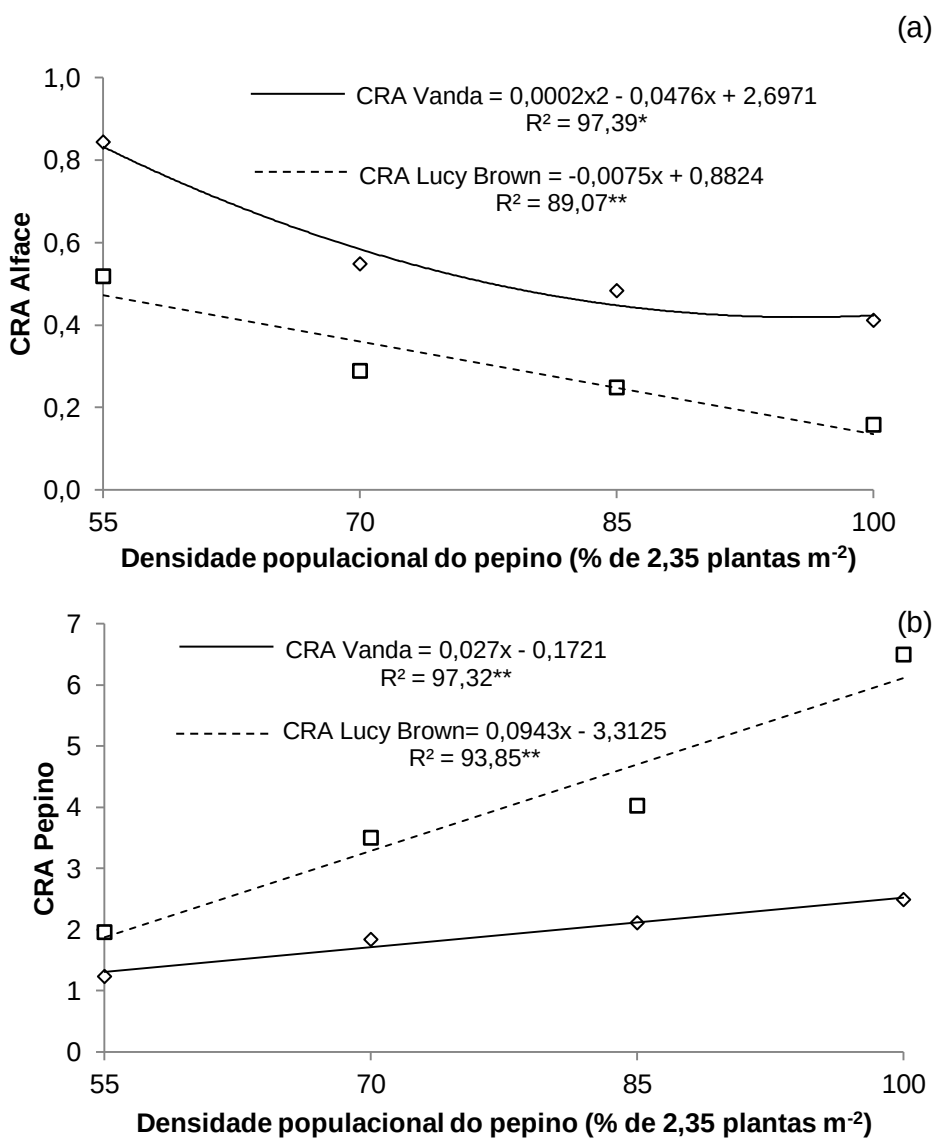


Figura 7. Coeficiente relativo de aglomeração (CRA) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a) e do pepino 'Soldier' (b) em função da densidade populacional do pepino.

◇ CRA Vanda; □ CRA Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

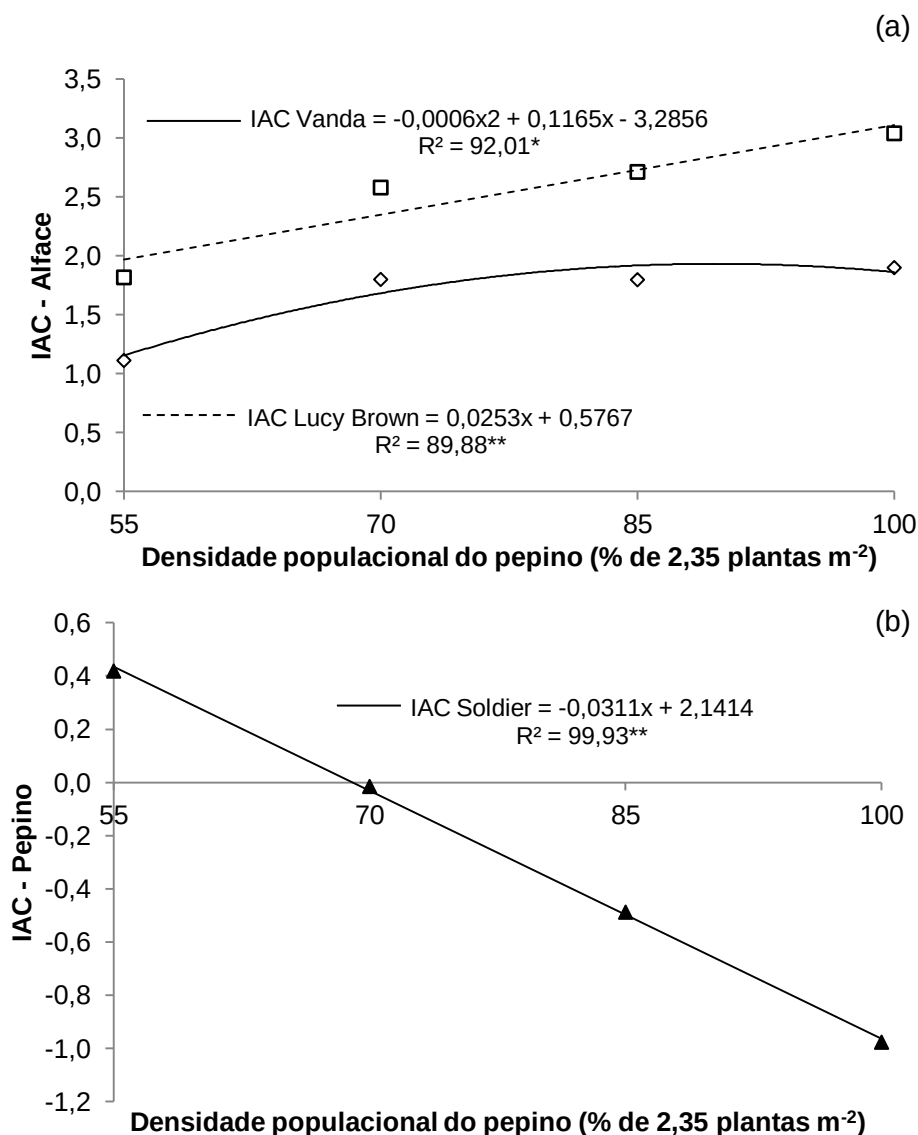


Figura 8. Intensidade absoluta de competição (IAC) da alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ (a) e pepino ‘Soldier’ (b) em função da densidade populacional do pepino.

◇ IAC Vanda; □ IAC Lucy Brown; ▲ IAC Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Os resultados obtidos com os índices K, CR, AGR, CRA, IAC e IRC expressam que no consórcio a alface é a espécie dominada e o pepino é a espécie dominadora. O resultado pode ser compreendido pela diferença no porte das duas espécies. Enquanto a alface tem crescimento lento e porte baixo, o pepino cresce rapidamente e é conduzido tutorado, na vertical, Suas folhas ocupam, então, o extrato superior ao da alface, interceptando a radiação luminosa que chega em menor quantidade à alface. Esse sombreamento vai se intensificando à medida que

maior torna-se a planta de pepino e quanto maior é a sua densidade populacional no sistema consorciado. Por isso, foram constatadas reduções na capacidade competitiva da alface com incremento de plantas de pepino junto à alface. Paralelamente, os índices permitem constatar que há diferença entre as duas cultivares na capacidade competitiva frente ao pepino e que a ‘Lucy Brown’ é a que apresentou os piores índices.

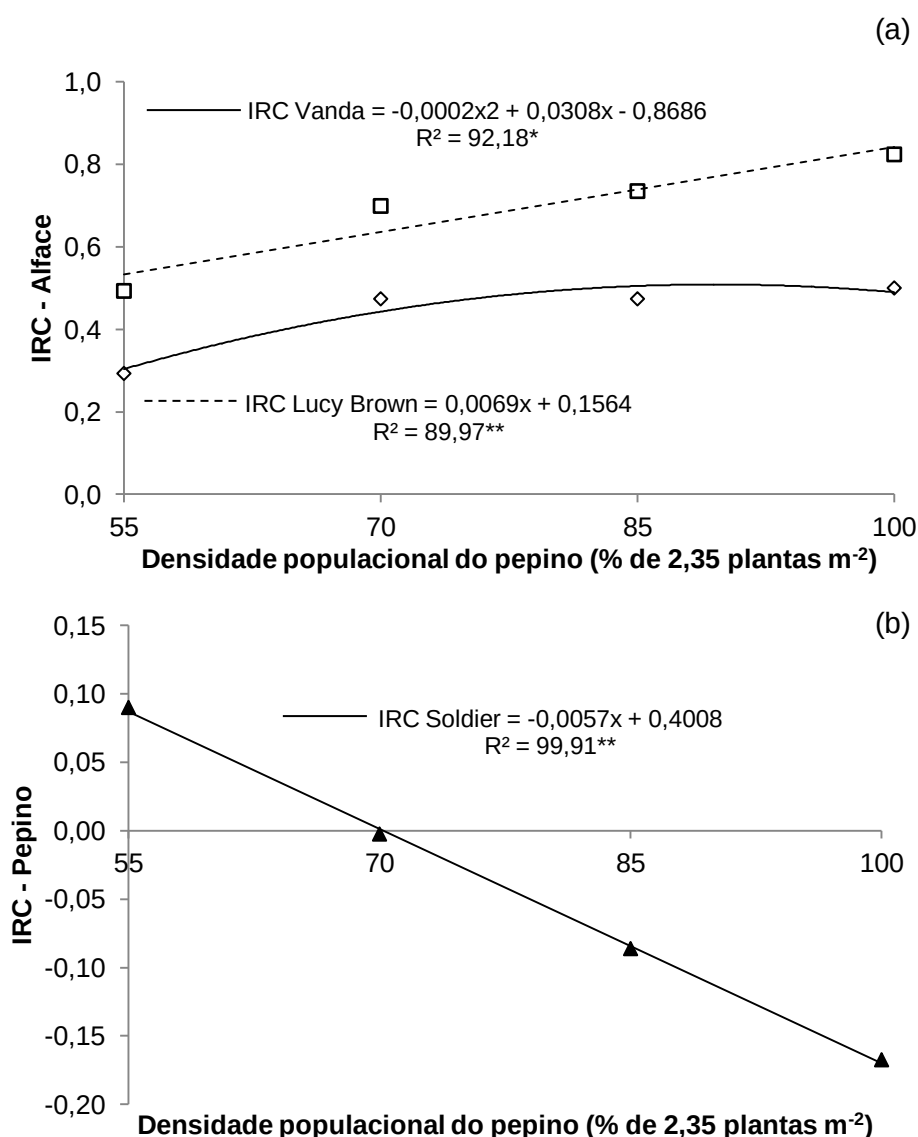


Figura 9. Intensidade relativa de competição (IRC) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ (a) e do pepino ‘Soldier’ (b) em função da densidade populacional do pepino.

◇ IRC Vanda; □ IRC Lucy Brown; ▲ IRC Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Os desempenhos das alfaces e do pepino retratados nesses índices, que expressam as relações das espécies em consórcio, definiram os desempenhos produtivos e, conseqüentemente, os índices agrônômicos que atestam ou não a viabilidade do consórcio frente aos cultivos solteiros.

Observaram-se perdas de produtividade real da alface (PPR_{alf}) para ambas as cultivares quando consorciadas com pepino. Entretanto, com valores menos negativos, 'Vanda' demonstrou ter sentido menos a presença do pepino. Maiores perdas foram observadas à medida que maiores foram as densidades populacionais (Figura 10a). A PPR do pepino 'Soldier' foi positiva, ou seja, o pepino teve vantagem quando cultivado em consórcio. Com o aumento da densidade populacional, os valores de PPR_{pep} diminuíram, mostrando que a maior vantagem para o pepino foi nas menores densidades (Figura 10a).

Os consórcios com as duas cultivares tiveram a PPR positiva na densidade 55%, diminuindo com o aumento da densidade, sendo negativo no consórcio 'Lucy Brown' com pepino a partir de 65% da densidade, enquanto 'Vanda' e pepino a partir de 70% da população (Figura 10b).

Melhores índices de produtividade relativa da alface (PR_{Alf}) e de eficiência de uso da área no tempo ($EUAT_{Alf}$) e, portanto, melhores performances das duas alfaces nos consórcios foram obtidos com a menor densidade de pepino (Figuras 11 e 12a). Nessa condição, 'Vanda' e 'Lucy Brown' produziram 71 e 51% das produções obtidas em cultivos solteiros (Figura 11) e também foi obtido o maior valor de $EUAT_{Alf}$ (0,45) (Figura 12a), diferentemente do pepino que teve maiores índices com maior densidade populacional (Figura 11 e 12a). Os resultados obtidos para estes dois índices estão em acordo aos observados pra PPR tanto de alface quanto de pepino (Figura 10).

Todos os índices EUAT (Figura 12b) e EUA (Figura 13) dos consórcios foram maiores que 1, indicando superioridade desse sistema de cultivo em relação ao cultivo solteiro. Mesmo entendimento se tem ao avaliar o índice de produtividade do sistema (IPS) (Figura 14). Entretanto, observou-se que a cultivar foi importante fator que afetou o desempenho do consórcio e, conseqüentemente, os três índices. Consórcios de pepino com alface 'Vanda' foram os que apresentaram as maiores

EUAT e EUA. Com a 'Vanda', os consórcios tiveram EUA e EUAT crescentes, oposto ao que ocorreu com a 'Lucy Brown' (Figuras 12b, 13 e 14).

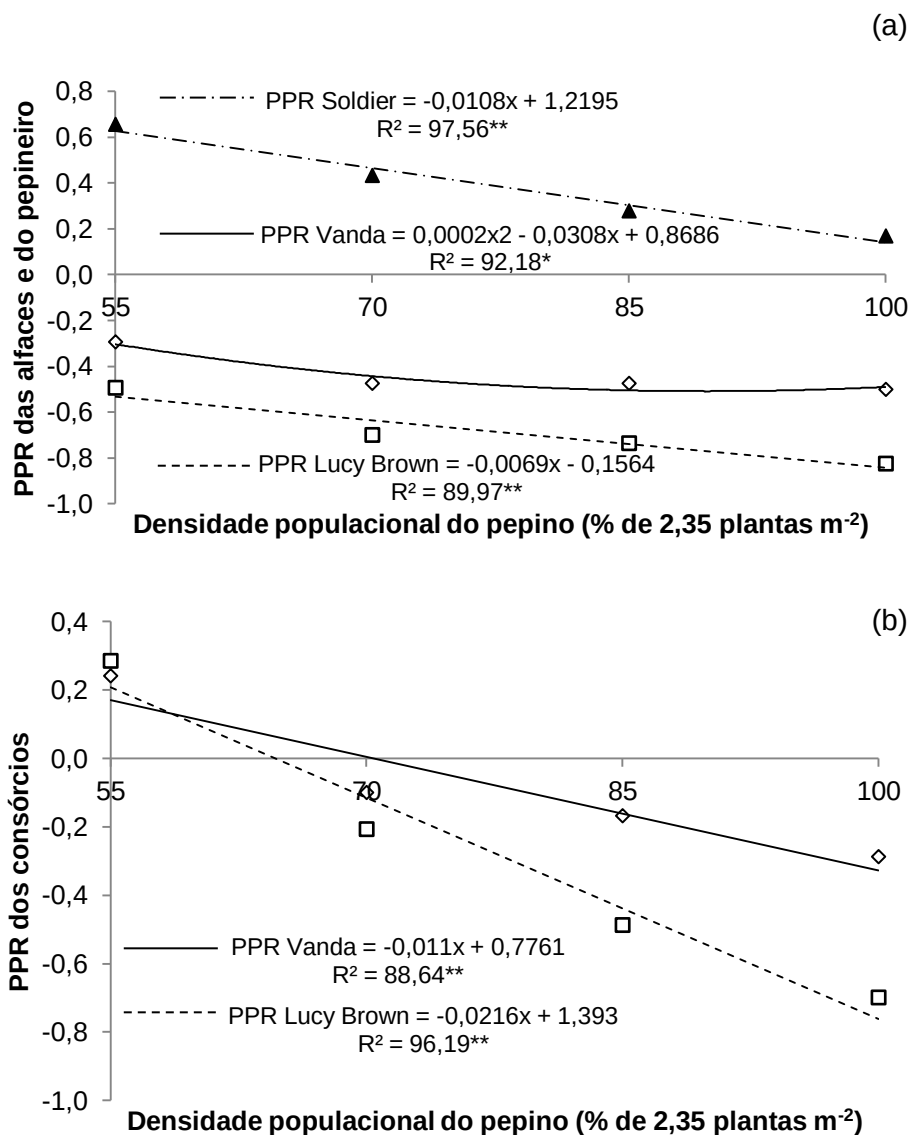


Figura 10. Perda de produtividade real (PPR) parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a), do pepino 'Soldier' (a) e dos consórcios (b) em função da densidade populacional do pepino.

◇ PPR Vanda; □ PPR Lucy Brown; ▲ PPR Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

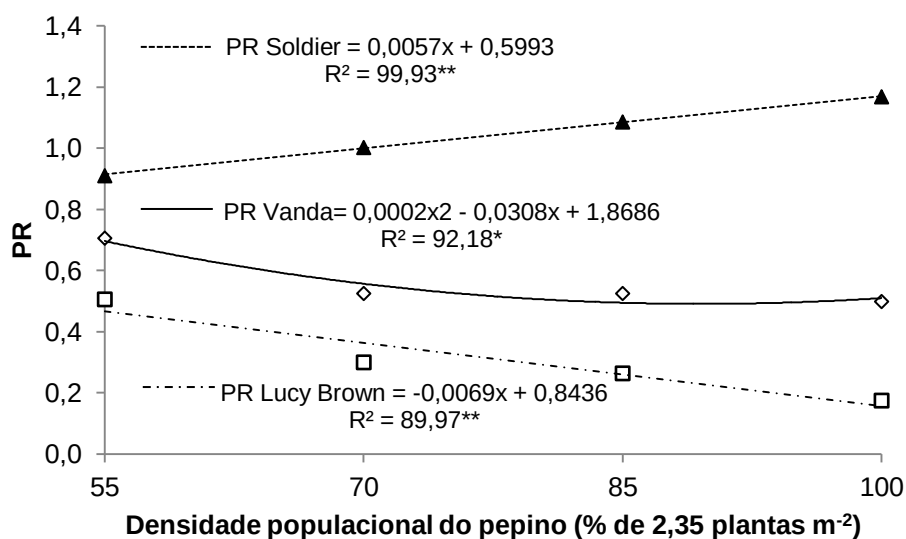


Figura 11. Produtividade relativa (PR) das alfaces ‘Vera’ e ‘Lucy Brown’ e do pepino ‘Soldier’ em função da densidade populacional do pepino no consórcio com as alfaces.

◇ PR Vanda; □ PR Lucy Brown; ▲ PR Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Embora obtido pelo produto das eficiências parciais de uso da área pelas espécies consorciadas e não pela adição como é realizado pelo índice EUA e EUAT, o índice CEUA descreveu a eficiência de uso da área dos consórcios de maneira semelhante aos dois índices anteriores, mas com valores de magnitude menores (Figura 15). Os índices CEUA de todos os consórcios, exceto da ‘Lucy Brown’ e ‘Soldier’ a partir da densidade de 90% (que foi de 0,24), foram maiores que 0,25, indicando vantagem dos cultivos consorciados sobre o solteiro, na quase totalidade das densidades populacionais do pepino utilizadas (Figura 15).

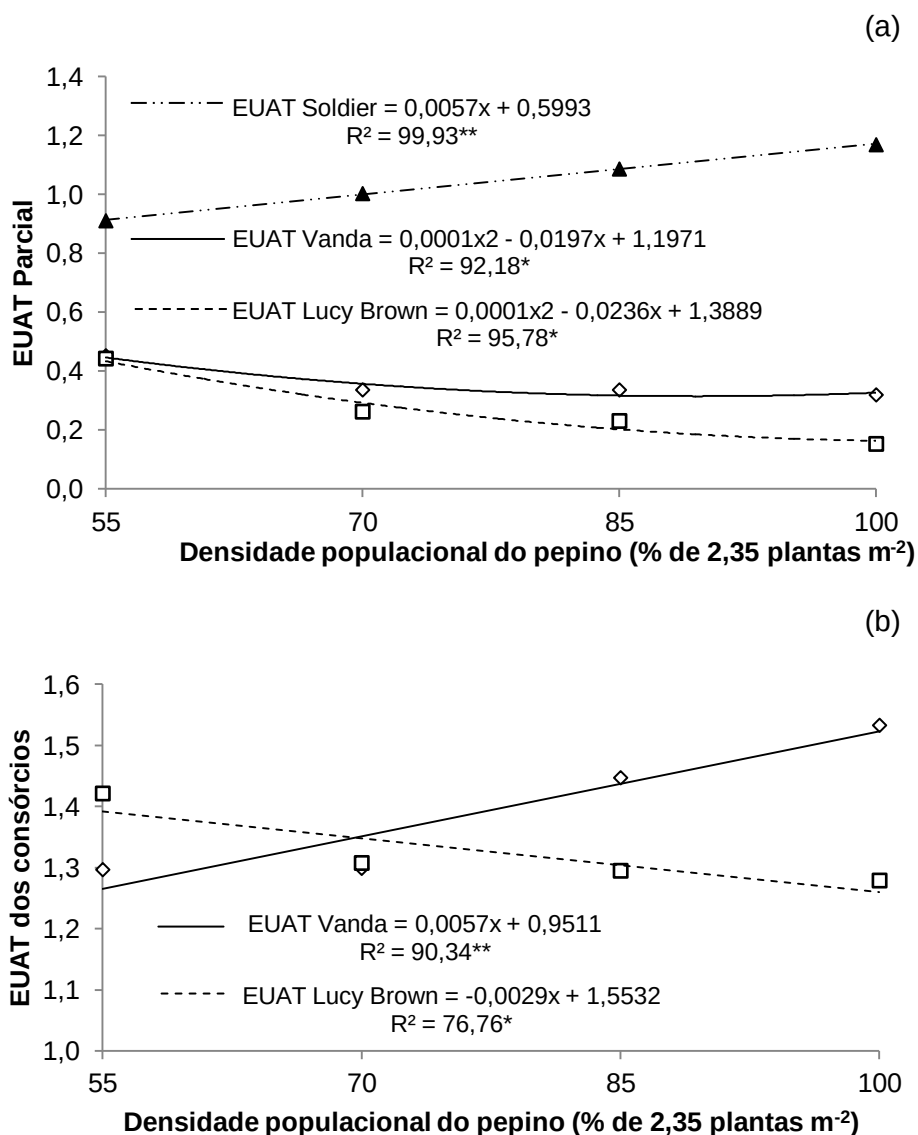


Figura 12. Eficiência do uso de área no tempo (EUAT) parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' (a), do pepino 'Soldier' (a) e dos consórcios (b) em função da densidade populacional do pepino.

◇ EUAT Vanda; □ EUAT Lucy Brown; ▲ EUAT Soldier.

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

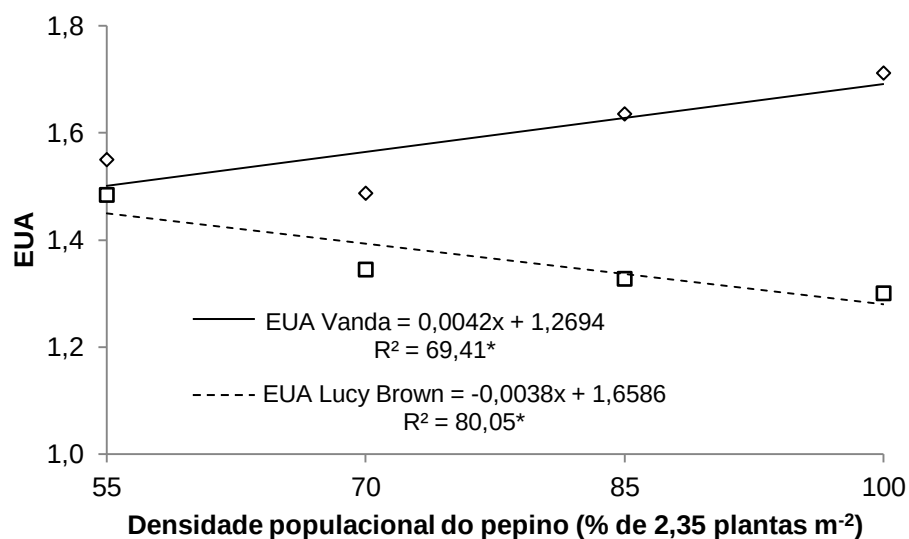


Figura 13. Eficiência do uso de área (EUA) dos consórcios do pepino 'Soldier' com as alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ EUA Vanda; □ EUA Lucy Brown;
*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

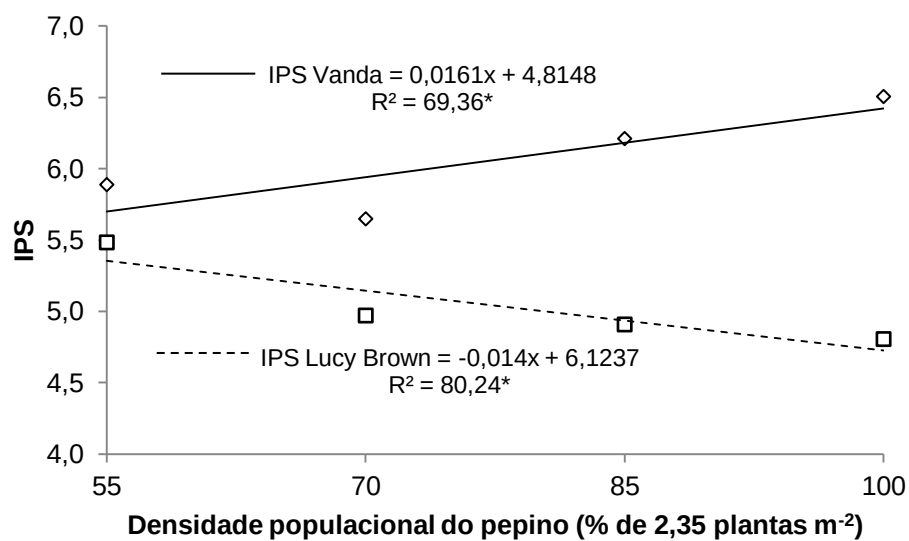


Figura 14. Índice de produtividade do sistema (IPS) dos consórcios das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino 'Soldier', em função da densidade populacional do pepino.

◇ IPS Vanda; □ IPS Lucy Brown;
*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

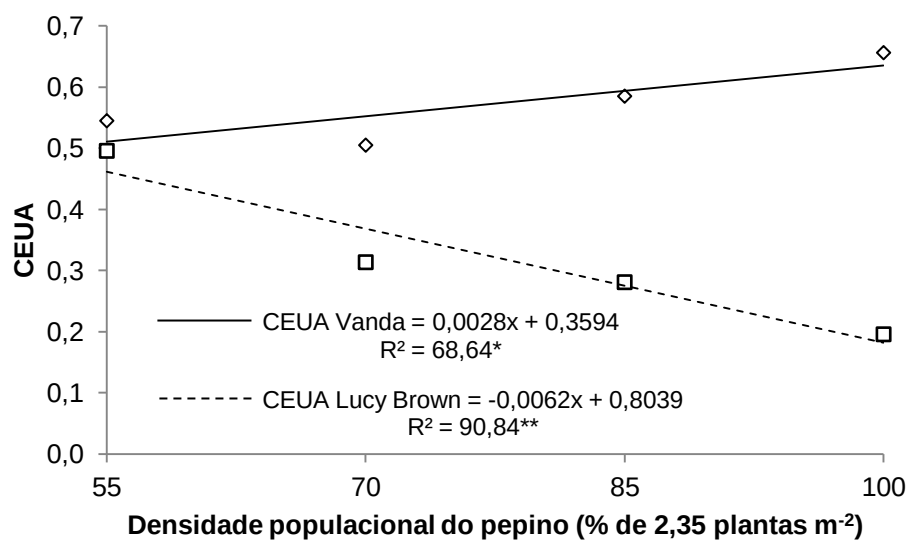


Figura 15. Coeficiente de eficiência do uso de área (CEUA) dos consórcios das alfases 'Vanda' e 'Lucy Brown' com pepino 'Soldier', em função da densidade populacional do pepino.

◇ CEUA Vanda; □ CEUA Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4 – DISCUSSÃO

Alguns índices avaliam o desempenho individual da espécie no consórcio em relação ao seu desempenho em cultivo solteiro (PR_{alf} , PR_{pep} , $EUAT_{alf}$, $EUAT_{pep}$, PPR_{alf} , PPR_{pep}) e/ou em relação à outra espécie em consórcio (K_{alf} , K_{pep} , AGR_{alf} , AGR_{pep} , CR_{alf} , CR_{pep} , CRA_{alf} , CRA_{pep} , IAC_{alf} , IAC_{pep} , IRC_{alf} e IRC_{pep}), e outros índices que avaliam a eficiência do consórcio (EUA, EUAT, K, CR, YL, CEUA, IPS). Estes índices permitem quantificar e expressar vários atributos da competição das plantas, incluindo intensidade e importância da interferência, efeitos e respostas competitivas e o resultado da competição (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

Neste trabalho, o consórcio utilizado não se caracteriza como do tipo 'substituição' visto que a alface é considerada a cultura principal, e está com o estande em 100%, e o pepino é adicionado como uma 'renda extra', e nesse sentido, a adição do pepino é tratado como um consórcio de 'adição' (SNAYDON, 1991; SANTOS; GLIESSMAN; CECON, 2002). Os maiores problemas em sistemas consorciados está justamente na forma que os mesmos são avaliados (SNAYDON, 1991; CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001) e pelo fato deste trabalho ter a monocultura do pepino com o mesmo estande utilizado nos consórcios, faz com que o resultado dos índices sejam mais precisos e não estimados (FRECKLETON; WATKINSON, 1997a, 1997b, 2000; MARKHAM, 1997; GOLDBERG et al., 1999; CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001), e faz com que a competição intra e interespecífica possam ser melhores avaliadas dentro dos diferentes níveis de consórcios (CONNELL, 1983; WILLIAMS; MCCARTHY, 2001).

A alface, embora tenha sido a cultura principal do consórcio, foi a cultura dominada na relação com o pepino, visto que o pepino é agressivo quando consorciado (BERRY et al., 2006a, 2006b; CECÍLIO FILHO et al., 2015). Índices que retrataram os desempenhos parciais das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' sempre caracterizaram perdas de produtividade destas em relação às suas culturas solteiras, sendo esta perda mais acentuada em 'Lucy Brown' em todos os índices utilizados.

Com o aumento da densidade populacional do pepino, a alface consorciada, independente da cultivar, mostrou-se sensível a estes aumentos, refletindo direta e negativamente nos índices PR_{alf} , $EUAT_{alf}$, AGR_{alf} , PPR_{alf} , CRA_{alf} , IAC_{alf} e IRC_{alf} . Nos índices K_{alf} e CR_{alf} apenas ‘Lucy Brown’ sofreu efeito da densidade. Essa perda da produção, verificada pelos índices, pode ser atribuída ao sombreamento que o pepino causou às alfaces no consórcio e que se intensificou à medida que maior foi a densidade populacional, conforme constatado também por Cecílio Filho et al. (2015). Plantas de pepino de condução tutorada e por possuírem estrutura foliar e disposição destas acima das plantas de alface, o tornam mais eficiente na competição por luz (SINOQUET e CALDWELL, 1995; BAUMANN; BASTIAANS; KROPFF, 2001; BAUMANN et al., 2002). Quando uma cultura é mais agressiva que a outra dentro do consórcio, esta quando aumenta sua população tende a diminuir a PPR da outra, como constatado por Banik (1996), Banik et al. (2000) e Dhima et al. (2007).

Assim, diante dos índices de desempenho individual das alfaces, observa-se que a consorciação com o pepino foi prejudicial ao crescimento e produção das duas cultivares de alface e que esse prejuízo foi tanto maior conforme foi aumentada a densidade populacional do pepino. Resultados semelhantes foram obtidos por Cecílio Filho et al. (2015), que constataram que as alfaces ‘Verônica’ e ‘Lucy Brown’ diminuíram a produção em consórcios, em ambiente protegido, com duas linhas de pepino ‘Hokushin’ sobre o canteiro ($2,22 \text{ plantas m}^{-2}$) em relação ao consórcio com uma linha ($1,11 \text{ planta m}^{-2}$). Também, de acordo com os índices de perda de produtividade (PPR), produtividade relativa (PR), índice de produtividade do sistema (IPS) e eficiência no uso da área (EUA), verificou-se que ‘Lucy Brown’ deve ser preterida para ser usada em consórcios com o pepino, concordando com resultados obtidos por Cecílio Filho et al. (2015).

Os índices CRA_{pep} , IAC_{pep} e IRC_{pep} denotam que o pepino teve desempenho bastante competitivo no consórcio, demonstrando ser a espécie dominadora. Esse ótimo desempenho também foi observado por Rezende et al., (2010) e Cecílio Filho et al. (2015), também em consórcio deste com alface. O pepino quando cultivado em consórcio pode aumentar sua produtividade em consequência do consórcio, por ser uma cultura bastante agressiva (BERRY et al., 2006a; ZHOU; YU; WU, 2011). Com

relação ao aumento de sua densidade populacional no consórcio, verificou-se que a produção relativa do pepino diminuiu sendo mais alta na menor densidade (55%). Esse desempenho é explicado pela resposta positiva do número de frutos fixados à maior radiação solar incidente na cultura quando esta está com maior espaçamento (menor densidade de plantas). O efeito de menores densidades populacionais do pepino no aumento da produção por planta foi relatado por Berry et al. (2006a, 2006b) e Ngouajio, Wang e Hausbeck (2006).

Exceto para CR, todos os índices que avaliaram o consórcio mostraram que o consórcio 'Vanda' e 'Soldier' foi mais vantajoso, independente da densidade populacional utilizada.

Alguns índices (EUA, CEUA, PPR e IPS, para avaliação geral; e para as parciais PR e EAUT, K e CR, AGR e CRA, IAC e IRC) tiveram o mesmo comportamento em relação aos consórcios, sendo observado no consórcio 'Vanda' com 'Soldier' aumento nos valores dos índices aumentando-se a densidade populacional do pepino no consórcio, inverso do consórcio 'Lucy Brown' com 'Soldier', que diminuiu os valores dos índices com o aumento das densidades populacionais. Alguns autores relatam que pode haver similaridade entre alguns índices que avaliam o consórcio (CONNOLLY; GOMA; RAHIM, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003; DHIMA et al., 2007), entretanto vale ressaltar que neste trabalho os mesmos não possuem valores iguais.

Essa similaridade citada entre alguns índices pode ser causada por alguns pontos comuns. As equações serem parecidas pode fazer com os resultados de alguns índices sejam parecidos, principalmente quando uma das culturas componentes tem a produção em cultivo solteiro com valor muito próximo da obtida em consórcio (GRACE, 1995). O tempo de convivência no consórcio ser próximo do tempo total do consórcio faria com que EUA e EUAT ficassem com valores semelhantes (HIEBSCH; MCCOLLUM, 1987). O índice CEUA teve semelhança também com EUA, mas com valores menores, mas vale salientar que a eficiência deste índice está justamente em identificar quando uma das PR está muito baixa, causando assim valores menores que 0,25, caracterizando a não viabilidade daquele consórcio, visto que este índice procura entender melhor a possível competição interespecífica (ADETILOYE; EZEDINMA; OKIGBO, 1983). A proporção

da densidade colocada nos cálculos (“Z”) é outro ponto que necessita de cuidado, visto que alguns trabalhos multiplicam a produção obtida no cultivo solteiro pela proporção desta cultura no consórcio, para obtenção do valor a ser colocado na equação (BANIK et al., 2000; BEZERRA NETO et al., 2012). Porém, nesse trabalho, a cultura do pepino, que foi considerada a cultura adicionada ao consórcio com diferentes densidades, teve cultivo solteiro em todas as densidades, minimizando um possível erro pela simples multiplicação do estande solteiro (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

Todavia, vale salientar que um único índice não é capaz de descrever a interação entre duas espécies e diferenciar os cenários competitivos mostrados no consórcio (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001), por isso, a importância de se somar a índices na interpretação da convivência (competição) das espécies e da viabilidade do consórcio.

5 – CONCLUSÕES

Os índices de desempenho das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ nos consórcios retratam prejuízo no crescimento e produtividade quando em consórcio com o pepino, independentemente da densidade populacional deste;

Índices de desempenho das alfaces caracterizam a ‘Vanda’ como a cultivar de alface mais adequada para consorciar com o pepino;

Quanto maior a densidade populacional do pepino no consórcio, piores são os índices de desempenho das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’;

Os índices de desempenho do pepino ‘Soldier’ nos consórcios não caracterizam efeito de competição das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’;

Os índices que retratam desempenhos parciais das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ e do pepino ‘Soldier’ as caracterizam como espécie dominada e o pepino como espécie dominadora no consórcio;

O consórcio ‘Vanda’ e ‘Soldier’ mostrou-se mais vantajoso que ‘Lucy Brown’ e ‘Soldier’;

Considerando os índices, o melhor consórcio é o de ‘Vanda’ e ‘Soldier’ com 100% da população de pepino;

Para ‘Lucy Brown’ e ‘Soldier’ o melhor consórcio é usando-se a densidade de 55% da população de pepino.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETILOYE, P. O.; EZEDINMA, F. O. C.; OKIGBO, B. N. A land equivalent coefficient (LEC) concept for the evaluation of competitive and productive interactions in simple to complex crop mixtures. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 27–39, 1983.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.

BANIK, P. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 176, n. 5, p. 289–294, 1996.

BANIK, P.; SASMAL, T.; GHOSAL, P. K.; BAGCHI, D. K. Evaluation of mustard (*Brassica campestris* Var. Toria) and legume Intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 1, p. 9–14, 2000.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. 2015, 396 p.

BAUMANN, D. T.; BASTIAANS, L.; GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H. H.; KROPFF, M. J. Analysing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. **Agricultural Systems**, London, v. 73, n. 2, p. 173–203, 2002.

BAUMANN, D. T.; BASTIAANS, L.; KROPFF, M. J. Competition and crop performance in a leek-celery intercropping system. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 3, p. 764–774, 2001.

BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Aggressivity: cucumber vs. amaranth. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 4, p. 986–991, 2006a.

BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Smooth pigweed (*Amaranthus hybridus* L.) and livid amaranth (*Amaranthus lividus*) interference with cucumber (*Cucumis sativus*). **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 227–231, 2006b.

BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; GOMES, E. G.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MOREIRA, J. N. Assessment of agroeconomic indices in polycultures of lettuce, rocket and carrot through uni- and multivariate approaches in semi-arid Brazil. **Ecological Indicators**, New York, v. 14, n. 1, p. 11–17, 2012.

BHATTI, I. H.; AHMAD, R.; JABBAR, A.; NAZIR, M. S.; MAHMOOD, T. Competitive behaviour of component crops in different sesame-legume intercropping systems. **International Journal of Agriculture & Biology**, Pakistan, v. 8, p. 165-167. 2006.

CAMPBELL, B. D.; GRIME, J. P. An Experimental test of plant strategy theory. **Ecology**, Washington, v. 73, n. 1, p. 15–29, 1992.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; LIMA, J. S. S. Indices of bio-agroeconomic efficiency in intercropping systems of cucumber and lettuce in greenhouse. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 12, p. 1154–1164, 2015.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; GRENGEIRO, L. C.; LIMA, J. S. S. Indices of competition and bio-agroeconomic efficiency of lettuce and tomato intercrops in greenhouses. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 7, n. 6, p. 809–819, 2013.

CHAICHI, M. R.; DARYAEI, F.; AQAALIKHANI, M. Forage production of sorghum and alfalfa in soil and intercropping system. **Asian Journal Plant Science**, Bholakpur v. 6, p. 833-838, 2007.

CONNELL, J. H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. **The American Naturalist**, Chicago, v. 122, n. 5, p. 661–696, 1983.

CONNOLLY, J.; GOMA, H. C.; RAHIM, K. The information content of indicators in intercropping research. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 191–207, 2001.

DE WIT, C. T. On Competition. **Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen**, Wageningen, v. 66, p. 1–82, 1960.

DE WIT, C. T.; VAN DEN BERGH, J. P. Competition between herbage plants. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 13, n. 2, p. 212–221, 1965.

DHIMA, K. V.; LITHOURGIDIS, A. S.; VASILAKOGLU, I. B.; DORDAS, C. A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 100, n. 2–3, p. 249–256, 2007.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013, 353 p.

FEDERER, W. T. Statistical issues in intercropping. In: EL-SHAARAWI, A. H., PIEGORSCH, W. W., PIEGORSCH, W. (Eds.), **Encyclopedia of Environmetrics**, 1st ed. New York: Wiley, 2002. p. 1064–1069.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008. 412 p.

FRECKLETON, R. P.; WATKINSON, A. R. Measuring plant neighbour effects. **Functional Ecology**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 532–534, 1997a.

FRECKLETON, R. P.; WATKINSON, A. R. Response to markham. **Functional Ecology**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 536, 1997b.

FRECKLETON, R. P.; WATKINSON, A. R. Designs for greenhouse studies of interactions between plants: an analytical perspective. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 88, n. 3, p. 386–391, 2000.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 639 p.

GOLDBERG, D. E.; RAJANIEMI, T.; GUREVITCH, J.; STEWART-OATEN, A. Empirical approaches to quantifying interactions intensity: competition and facilitation along productivity gradient. **Ecology**, Washington, v. 80, n. 4, p. 1118–1131, 1999.

GRACE, J. B. The influence of the strategic planning process on strategic. **Ecology**, Washington, v. 76, n. 1, p. 305–308, 1995.

HARPER, J. L. **Population biology of plants**. London: Academic Press, 1977. 892 p.

HIEBSCH, C. K. Comparing intercrops with monoculture. In: **Agronomic economic research on soils of the tropics, Annual Report 1976-1977**. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 1978. p. 187–200.

HIEBSCH, C. K.; MCCOLLUM, R. E. Area x Time Equivalency Ratio. A method of evaluating the productivity of intercrops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 1, p. 15–22, 1987.

IPE AGROCOMERCIAL. **Pepino Soldier**. Disponível em <<http://cyberrv.wixsite.com/ipeagrocomercial/takii?lightbox=i91mp7>> Acessado em 27/07/2016.

JASIENSKI, M.; BAZZAZ, F. A. The fallacy of ratios and the testability of models in biology. **Oikos**, Copenhagen, v. 84, n. 2, p. 321–326, 1999.

MARKHAM, J. H. Measuring and modelling plant neighbour effects: a reply to Freckleton and Watkinson. **Functional Ecology**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 534–535, 1997.

McGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A Revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, Princeton, v. 27, n. 3, p. 659–671, 1971.

NGOUAJIO, M.; WANG, G.; HAUSBECK, M. K. Changes in pickling cucumber yield and economic value in response to planting density. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 4, p. 1570–1575, 2006.

ODO, P. E. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 27, n. 4, p. 435–441, 1991.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVA, G. S.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L. Consórcios de alface crespa e pepino em função da população do pepino e época de cultivo. **Interciência**, Caracas, v. 35, n. 5, p. 374–379, 2010.

ROLIM, G. S. **Dados meteorológicos**, 2017. UNESP-Jaboticabal. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/#!/estacao>> Acessado em 28/08/2017.

SAKATA SEED SUDAMERICA. **Vanda**. 2014. Disponível em: <<http://www.sakata.com.br/produtos/hortalicas/folhosas/alface>> Acessado em 17/11/2014

SANTOS, R. H. S.; GLIESSMAN, S. R.; CECON, P. R. Crop interactions in broccoli intercropping. **Biological Agriculture & Horticulture**, Berkhamsted, v. 20, n. 1, p. 51–75, 2002.

SEMINIS. **Lucy Brown**. 2014. Disponível em: <<http://www.seminis.com/global/br/products/Pages/LucyBrown.aspx>> Acessado em 17/11/2014

SINOQUET, H.; CALDWELL, R. M. Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. (Eds.). **Ecophysiology of tropical intercropping**. Paris: INRA. 1995. p. 79-98.

SNAYDON, R. W. Replacement or additive designs for competition studies? **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 930, 1991.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarole, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 168-169. (Boletim técnico 100). (a)

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B.; NAGAI, H. Abobrinha ou abóbora de moita; abóbora rasteira, moranga e híbridos; bucha e pepino. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 165. (Boletim técnico 100). (b)

WEIGELT, A.; JOLLIFFE, P. Indices of plant competition. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 91, n. 5, p. 707–720, 2003.

WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A Competitive ratio for quantifying competition between intercrops. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 2, p. 117–125, 1980.

WILLEY, W.; OSIRU, D. S. O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 79, p. 517–529, 1972.

WILLIAMS, A. C.; MCCARTHY, B. C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs. **Ecological Research**, Iboraki, v. 16, n. 1, p. 29–40, 2001.

ZHOU, X.; YU, G.; WU, F. Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, n. 5, p. 279–287, 2011.

CAPÍTULO 4 – Alterações fisiológicas e bioquímicas em duas cultivares de alface consorciadas com pepino em diferentes densidades

RESUMO – A competição que o consórcio causa às plantas envolvidas pode gerar alterações bioquímicas nestas e, neste aspecto, pode haver aumento de espécies reativas de oxigênio (ERO), causando estresse oxidativo, e fazer com que haja alteração na atividade antioxidante, podendo refletir na qualidade e produção final. Face ao exposto, objetivou-se analisar possíveis alterações no metabolismo fisiológico e antioxidante de resposta em duas cultivares de alface consorciadas com diferentes densidades populacionais de pepino. O experimento foi instalado em casa de vegetação em Jaboticabal, SP, em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial $4 \times 2 + 6$, com quatro repetições. Os fatores foram populações de pepino consorciado (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}) e cultivares de alface ('Lucy Brown' e 'Vanda'), e os tratamentos adicionais corresponderam aos cultivos solteiros de pepino nas quatro densidades populacionais e as duas cultivares de alface cultivadas solteiras. O pepino não sofreu influência dos sistemas de cultivo e densidades populacionais, não causando alterações fisiológicas e bioquímicas. Independente da população no consórcio, os teores dos pigmentos fotossintetizantes foram maiores em 'Lucy Brown' que em 'Vanda', nas duas épocas. A fluorescência máxima (Fm) foi maior em 'Lucy Brown' que em 'Vanda', tanto em consórcio quanto cultivado solteiro. A relação da fluorescência máxima e variável (Fv/Fm) não diferiu para as cultivares e densidades populacionais. O teor de malondialdeído (MDA) foi maior em 'Lucy Brown' que em 'Vanda'. A concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), atividades de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione redutase (GR) foram maiores em 'Vanda' que em 'Lucy Brown'. O consórcio causou estresse sobre a produção de biomassa seca das alfaces, sendo mais acentuada em 'Lucy Brown' quando consorciada, que em 'Vanda'.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., espécie reativa de oxigênio (ERO)

Physiological and biochemical changes in two lettuce cultivars intercropped with cucumber at different densities

ABSTRACT – The competition that the intercropping causes to the involved plants can generate biochemical alterations in these and, in this aspect, there may be an increase of reactive oxygen species (ROS), causing oxidative stress, and causing that there is alteration in the antioxidant activity, being able to reflect in the quality and production end. In view of the above, the objective was to analyze possible alterations in physiological and antioxidant response metabolism in two intercropping lettuce cultivars with different population densities of cucumber. The experiment was installed in a greenhouse in Jaboticabal, SP, in a randomized block design, factorial scheme $4 \times 2 + 6$, with four replications. The factors were intercropped cucumber populations (100, 85, 70 and 55% of 2.35 plants m^{-2}) and lettuce cultivars ('Lucy Brown' and 'Vanda'), and additional treatments corresponded to monoculture cucumber in the four population densities and the two monocultures cultivated lettuce cultivars. The cucumber was not influenced by cropping systems and population densities, causing no physiological and biochemical changes. Regardless of the population in the consortium, the photosynthetic pigments contents were higher in 'Lucy Brown' than in 'Vanda', in both seasons. The maximum fluorescence (F_m) was higher in 'Lucy Brown' than in 'Vanda', both in consortium and cultivated single. The maximum and variable fluorescence ratio (F_v/F_m) did not differ for cultivars and population densities. The content of malondialdehyde (MDA) was higher in 'Lucy Brown' than in 'Vanda'. The concentration of hydrogen peroxide (H_2O_2), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione reductase (GR) were higher in 'Vanda' than in 'Lucy Brown'. The intercropping caused stress on dry biomass production of lettuces, was more pronounced in 'Lucy Brown' when intercropped than in 'Vanda'.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., *Cucumis sativus* L., reactive oxygen species (ROS)

1 – INTRODUÇÃO

O cultivo consorciado de plantas está entre as principais técnicas agrícolas consideradas sustentáveis (CECÍLIO FILHO et al., 2015), com ganho na produção por área (LITHOURGIDIS et al., 2011), diminuição da incidência de pragas e plantas infestantes (SINOQUET; CALDWELL, 1995), e maior aproveitamento dos insumos utilizados (FRIDLEY, 2003). Entretanto, a eficiência do consórcio é extremamente dependente da complementaridade entre as espécies envolvidas (VANDERMEER, 1989), fazendo o arranjo populacional ser um dos fatores determinantes para este sucesso (HEUVELINK, 1995; BANIK et al., 2000; CECÍLIO FILHO; REZENDE; CANATO, 2007).

A avaliação do consórcio por indicadores de competição é a forma mais usual de estudos em consórcio (WILLIAMS; MCCARTHY, 2001; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003). Todavia, os estudos sobre os efeitos do consórcio sobre as características fotossintéticas e bioquímicas nas plantas ainda permanecem escassos (FU et al., 2012; FU; LI; WU, 2012). Essas alterações podem estar relacionadas à concentração de pigmentos fotossintéticos, dissipação de energia das clorofilas e no metabolismo antioxidante de resposta.

Em sistemas de cultivo consorciado, a luz é o fator mais importante e este é diferente de outros recursos para o crescimento vegetal, pois na medida em que é instantaneamente disponível e, portanto, deve ser interceptado instantaneamente para ser benéfico, enquanto outros recursos são disponibilizados e ficam aguardando a utilização pela planta (WILLEY, 1979). A captura e armazenamento de energia luminosa pelas folhas de plantas superiores é mediada por uma intrincada associação entre complexos de pigmentos coletores de luz e uma cadeia transportadora de elétrons do fotossistema II (PSII) para o fotossistema I (PSI). Parte desta luz que chega às plantas é dissipada como fluorescência e, dependendo da quantidade desta fluorescência, pode indicar alteração no mecanismo fotossintético (BØLHAR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993). A fluorescência basal ou mínima (F_0) é a fluorescência medida quando todos os centros de reação estão abertos, e a máxima (F_m) é a fluorescência quando todos os centros de reação estão fechados. A fluorescência variável (F_v) é determinada pelo estado do centro de reação (aberto

ou fechado), e é definida como a diferença entre F_m e F_o ($F_v = F_m - F_o$), e em plantas sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela menor dissipação de energia através do transporte de elétrons, ocasionando um declínio na eficiência quântica potencial do PSII, indicada pelo menor relação F_v/F_m (KONRAD et al., 2005; CHAGAS et al., 2008).

A eficiência da utilização da luz por cada fotossistema regula as reações de fixação de CO_2 e geração de ATP pelas reações luminosas (TAIZ et al., 2017). Em sistemas de cultivo, a passagem de luz através da copa é afetada pela orientação da linha, além da densidade populacional da planta, causando alteração na quantidade de luz que chega à outra cultura, o que consequentemente pode causar alterações nos pigmentos fotossintéticos.

O estresse oxidativo é causado pelo aumento de espécies reativas de oxigênio (ERO) (MITTLER, 2002, 2017) e essa oxidação descontrolada pode ser desintoxicada por mecanismos complexos enzimáticos e não enzimáticos que interagem na tentativa de minimizar o dano ao estresse oxidativo e manter o estado redox da célula (GRATÃO et al., 2005; ALVES et al., 2017). O primeiro nível de defesa celular compreende enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), que converte O_2^- em H_2O_2 (MITTLER, 2002; GRATÃO et al., 2005, 2015). Posteriormente, H_2O_2 pode ser destoxificado para H_2O por ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11), catalase (CAT, EC 1.11.1.6), entre outras peroxidases (MITTLER, 2002; GRATÃO et al., 2005). Além disso, mecanismos não enzimáticos, incluindo compostos como carotenoides, ascorbato e glutathiona (GSH) também podem ser responsáveis pela extinção de ERO (GRATÃO et al., 2005, 2015). A regeneração de GSH formada a partir de glutathiona oxidada (GSSG) é catalisada pela glutathiona redutase (GR, EC 1.6.4.2) usando NADPH como agente redutor (ALVES et al., 2017).

A competição que o consórcio causa às plantas envolvidas pode gerar alterações bioquímicas nestas e, neste aspecto, pode haver aumento de ERO, causando estresse oxidativo (MITTLER, 2002; GRATÃO et al., 2005, 2015; ALVES; REIS; GRATÃO, 2016), e fazer com que haja alteração na atividade antioxidante (FU et al., 2012), podendo refletir na qualidade e produção final. Face ao exposto, objetivou-se analisar possíveis alterações no metabolismo fisiológico e antioxidante

de resposta em duas cultivares de alface consorciadas com diferentes densidades populacionais de pepino.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em 30 de janeiro de 2015, em casa de vegetação com disposição Leste a Oeste, de 460,8 m², de modelo teto em arco, com pé-direito de 3 m, coberta com filme de polietileno de baixa densidade, transparente, de 150 µm de espessura, aditivado contra raios ultravioleta, paredes com sombrite de cor vermelha, localizada na UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, no Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, em Jaboticabal, SP, situada à altitude de 575 m, latitude 21°14'39,60" S e longitude 48°17'10,84" W.

O clima de Jaboticabal é classificado como subtropical com chuvas de verão, e inverno relativamente seco. Apresenta médias anuais de 1.423,9 mm, 22,3 °C, 29,1 °C e 16,9 °C de precipitação pluvial e temperaturas média, máxima e mínima, respectivamente (ROLIM, 2017).

Uma miniestação meteorológica da marca Spectrum, modelo WatchDog 2475, foi colocada no centro da casa de vegetação, a 2,0 m de altura e registrou a cada cinco minutos a temperatura, umidade relativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), para cálculos diários destes (Figuras 1, 2 e 3).

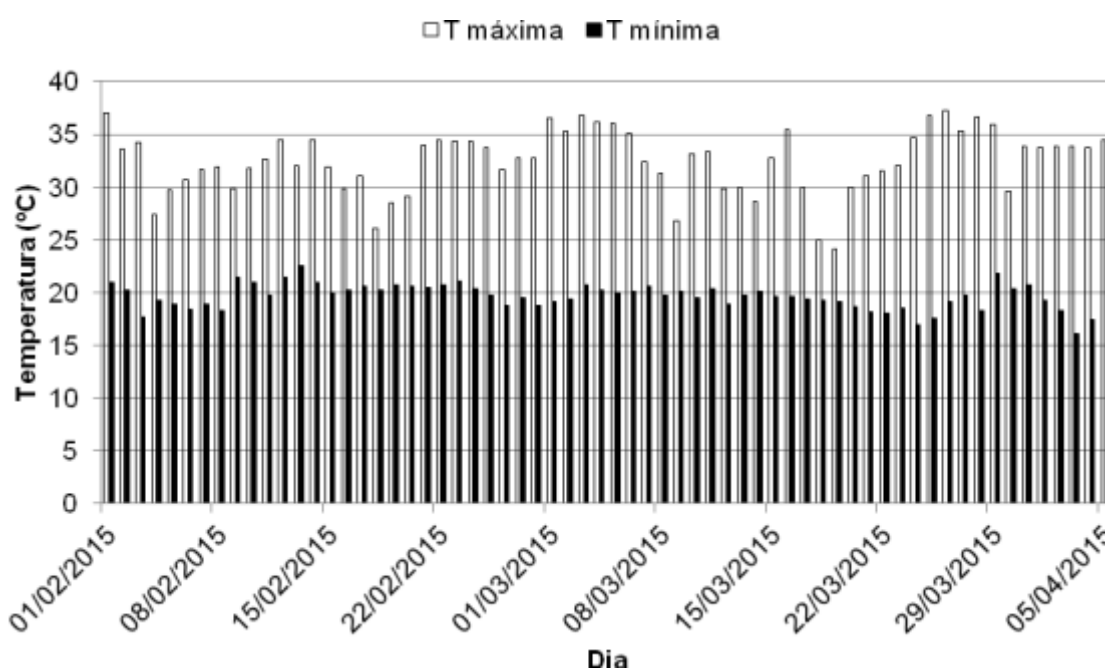


Figura 1. Temperatura máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

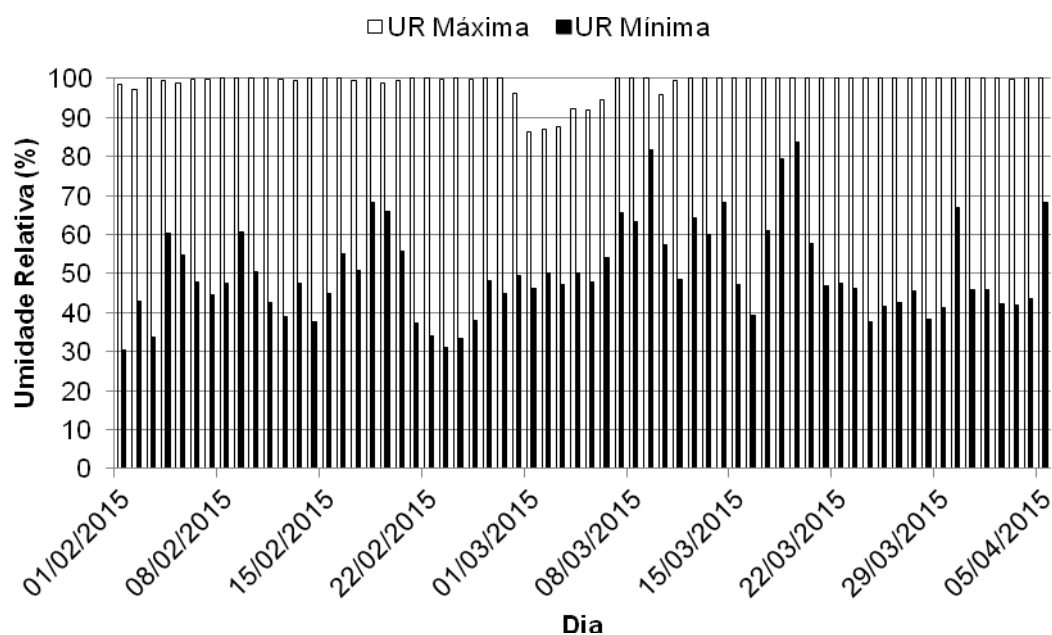


Figura 2. Umidade relativa máxima e mínima diária registrada na casa de vegetação.

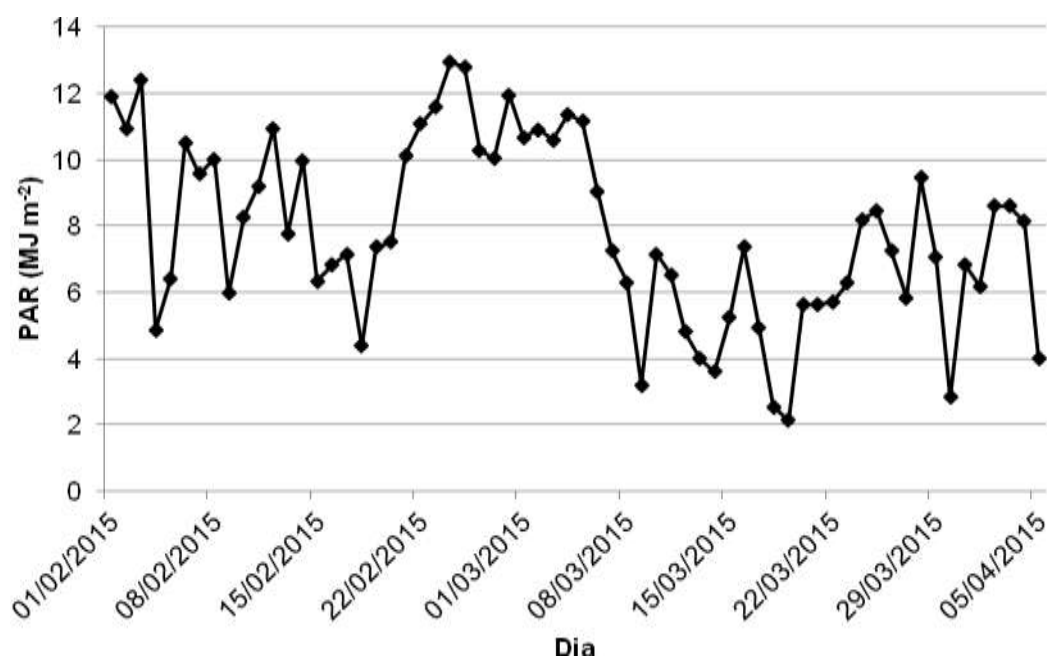


Figura 3. Radiação fotossintética ativa diária registrada na casa de vegetação.

2.2 – Instalação e condução do experimento

O solo da área, segundo classificação da EMBRAPA (2013), corresponde ao LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico de textura muito argilosa. O preparo do

solo da área experimental foi feito com aração e posterior preparo de canteiros (1,20 m de largura) com rotoencanteirador.

Previamente à instalação do experimento, o solo da casa de vegetação foi amostrado para análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi feita coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm. As 20 amostras simples foram homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta. Da amostra composta, foi retirada uma subamostra de 250 cm³ de terra, que foi enviada ao Laboratório de Análise de Solo e Planta, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para fazer a análise química e física, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo da casa de vegetação.

pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%
5,4	9	11	1,2	21	6	17	28,2	45,2	62
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	Argila	Silte	Areia	
-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----	
0,23	1,0	5	2,4	0,3	0,00	590	160	250	

A calagem e adubações de transplântio e cobertura para as culturas da alface e pepino, em solteiro, foram realizadas de acordo com Trani et al. (1997a, b). Nos consórcios, foram aplicadas as quantidades de nutrientes recomendadas para a cultura do pepino, que tem maior demanda por nutrientes, correspondendo a 40 kg ha⁻¹ de N, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, com as fontes ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas adubações de cobertura, tanto para consórcios quanto para culturas solteiras, as quantidades dos nutrientes, assim como as épocas de aplicação, foram as recomendadas para cada cultura. Foram aplicados em cobertura para a cultura do pepino 150 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, divididos em três aplicações, aos 20, 40 e 60 dias após transplante (DAT). Para alface, a adubação de cobertura foi com 90 kg ha⁻¹ de N, dividido em três aplicações, aos 10, 20 e 30 DAT. Nas adubações de cobertura utilizou-se ureia e cloreto de potássio, respectivamente como fontes de N e K.

A cultivar de alface do grupo comercial de folhas crespas e com formação de cabeça foi a 'Lucy Brown' (Seminis®), caracteriza-se por apresentar folhas grossas, dando ótima proteção à cabeça. Apresenta, também, cabeça de tamanho grande,

coração muito pequeno, coloração verde clara, boa compactidade e massa; alta tolerância ao florescimento, ciclo de 48 a 55 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SEMINIS, 2014). Para a alface do grupo de folhas crespas e sem formação de cabeça, foi utilizada a cultivar Vanda (Sakata®). Apresenta caule grosso, sistema radicular vigoroso, resistência a 'tip burn' e precocidade, com ciclo de 40 a 45 dias a partir da data de transplante, dependendo da época do ano (SAKATA SEED SUDAMERICA, 2014).

O pepino 'Soldier' é um híbrido que pertence ao grupo japonês. Os frutos são tipicamente afilados e alongados, com 20 a 30 cm, de coloração verde-escura e triloculares, com acúleos brancos (FILGUEIRA, 2008). Pode ser cultivado o ano todo, devido à sua rusticidade. Apresenta alta tolerância ao calor e média ao frio, e às doenças vírus do mosaico amarelo das cucurbitáceas (ZYMV), oídio, corynespora, fusarium e míldio (IPÊ AGROCOMERCIAL, 2012).

As mudas de alface foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células piramidais, preenchidas com substrato Bioplant®, colocando-se uma semente por célula. Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas em ambiente protegido e irrigadas diariamente até as mudas terem quatro folhas, quando foram transplantadas no canteiro.

As mudas de pepino 'Soldier', enxertado sobre abóbora 'Keeper', e de alfaces foram transplantadas, no mesmo dia, em canteiros. O espaçamento entre fileiras duplas do pepino foi de 1,20 m e entre fileiras da dupla de 0,50 m. Para obter 100, 85, 70 e 55% da população de 2,35 plantas m⁻², os espaçamentos entre plantas na fileira foram 0,50, 0,59, 0,72 e 0,91 m, respectivamente. Para a alface 'Lucy Brown', o espaçamento foi de 0,35 x 0,35 m e de 0,25 x 0,25 m para 'Vanda'.

As plantas de pepino foram conduzidas em haste única, tutoradas com fita plástica na vertical, com desbrota das ramificações axilares até 0,4 m de altura. A partir de então, foram deixados os brotos desenvolverem-se, sendo fixados em fios de arames dispostos paralelamente ao terreno e espaçados entre si em 0,40 m. Quando as hastes laterais apresentaram dois frutos e três folhas eliminou-se o meristema apical. A haste principal foi despontada quando a planta atingiu, aproximadamente, a altura de 2 metros, com 19 nós. A irrigação do experimento foi realizada por tubogotejadores.

2.3 – Delineamento experimental e tratamentos

No experimento foram avaliados 14 tratamentos, em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial $4 \times 2 + 6$, com quatro repetições, os quais resultaram da combinação de dois fatores, mais seis tratamentos adicionais. Os fatores foram populações de pepino consorciado (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}) e cultivares de alface ('Lucy Brown', do grupo de folhas crespas e formação de cabeça, e 'Vanda', do grupo de folhas crespas e sem formação de cabeça). Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 corresponderam aos consórcios do pepino com a alface 'Lucy Brown', e os tratamentos 5, 6, 7 e 8 (adicionais) corresponderam a monocultura do pepino, nas mesmas populações citadas anteriormente, a fim de isolar possível efeito da densidade de plantio, enquanto o tratamento 9 (adicional) representou a monocultura da alface 'Lucy Brown'. Os tratamentos 10, 11, 12 e 13 corresponderam aos consórcios do pepino com a alface 'Vanda', enquanto o tratamento 14 (adicional) representou a monocultura dessa alface (Tabela 2).

A alface foi considerada como cultura principal e o pepino a cultura secundária.

Tabela 2. Caracterização dos tratamentos de monoculturas e dos consórcios de duas cultivares de alface e quatro populações de pepino.

Tratamento	Legenda	Alface 'Lucy Brown'	Alface 'Vanda'	Pepino ¹
1 – Consórcio	LBC100	Presente	Ausente	Presente (100%)
2 – Consórcio	LBC85	Presente	Ausente	Presente (85%)
3 – Consórcio	LBC70	Presente	Ausente	Presente (70%)
4 – Consórcio	LBC55	Presente	Ausente	Presente (55%)
5 – Monocultura	SS100	Ausente	Ausente	Presente (100%)
6 – Monocultura	SS85	Ausente	Ausente	Presente (85%)
7 – Monocultura	SS70	Ausente	Ausente	Presente (70%)
8 – Monocultura	SS55	Ausente	Ausente	Presente (55%)
9 – Monocultura	LBS	Presente	Ausente	Ausente
10 – Consórcio	VC100	Ausente	Presente	Presente (100%)
11 – Consórcio	VC85	Ausente	Presente	Presente (85%)
12 – Consórcio	VC70	Ausente	Presente	Presente (70%)
13 – Consórcio	VC55	Ausente	Presente	Presente (55%)
14 – Monocultura	VS	Ausente	Presente	Ausente

¹ – O valor entre parênteses refere-se ao percentual da população de pepino em relação a 2,35 plantas m^{-2} .

O tamanho das parcelas foi variado, devido ao espaçamento do pepino, sendo todos os canteiros com 1,20 m de largura, e com 3; 3,6; 4,3 e 5,4 m de

comprimento nas parcelas que tinham o pepino, respectivamente a 100, 85, 70 e 55% da população total (2,35 plantas m⁻²). Nas parcelas com alface cultivadas solteiras o comprimento foi 2 e 2,8 m, respectivamente para 'Vanda' e 'Lucy Brown'.

A área útil para avaliação das características relativas à alface e ao pepino compreendeu todas as plantas excetuando as primeiras e últimas plantas de cada linha de cultivo.

2.4 – Características avaliadas:

2.4.1 – Massa seca da parte aérea da alface (MS): a parte aérea das plantas colhidas foram separadas em folhas e caule, lavadas, e secadas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até atingirem massa constante. Os valores foram expressos em g planta⁻¹.

2.4.2 – Pigmentos (clorofilas e carotenoides): O conteúdo de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* e *Car*, respectivamente) foi extraído do material de folhas frescas de pepino e de alface coletadas em duas épocas, 30 DAT e um dia antes da colheita da alface (40 DAT para 'Vanda' e 55 DAT para 'Lucy Brown'). Foi coletada uma folha por tratamento (folha mais desenvolvida, que não tocava no solo, para as alfaces e 5ª folha a partir da ponta, excluindo o tufo apical, para o pepino), sendo envolta em papel alumínio e acondicionada em caixa de isopor com nitrogênio (N₂) líquido, e levada para armazenamento em ultrafreezer a -80 °C.

Posteriormente, 250 mg de material biológico foi pesado, colocado em eppendorf e acrescido 1,5 mL de acetona 100% (LICHTENTHALER, 1987). Esses eppendorfs foram cobertos com papel alumínio, colocados em prateleiras de plásticos e depois no agitador por 48 horas. Após esse período, foi realizado a leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 662, 645 e 470 nm para clorofila *a*, *b* e *carotenoides*, respectivamente. Os valores foram expressos em µg g⁻¹ de massa fresca (MF) de folha.

2.4.3 – Fluorescência da clorofila: A fluorescência da clorofila *a* foi determinada entre 8 e 9 h, em duas épocas, 30 DAT e um dia antes da colheita da alface (40 DAT para ‘Vanda’ e 55 DAT para ‘Lucy Brown’), com o auxílio de um fluorômetro portátil, modelo OS-30p (Opti-Science, USA). As leituras foram realizadas nas mesmas folhas citadas nas análises de pigmentos (item 2.4.2). Para a leitura foram utilizadas pequenas pinças, colocadas nas folhas, para protegê-las da luz solar, aguardando 30 minutos para adaptação ao escuro e depois foram realizadas as leituras. Foram registradas as fluorescências: máxima (Fm), e eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm), que é a relação da fluorescência variável (Fv) pela máxima (SUASSUNA et al., 2011).

Para as análises de quantificação de MDA, H₂O₂ (para alface e pepino), proteínas e análises enzimáticas (apenas para alface), foram coletadas amostras das folhas de pepino e alface (folhas citadas nas análises de pigmentos, no item 2.4.2) em duas épocas, 30 dias após transplante (DAT) e um dia antes da colheita de cada alface (40 DAT para ‘Vanda’ e 55 DAT para ‘Lucy Brown’). A coleta foi realizada entre 8 e 9h. Uma folha de alface e de pepino de cada tratamento correspondeu a uma amostra. Foram coletadas quatro repetições de cada tratamento. O material coletado foi envolto em papel alumínio e acondicionado em caixa de isopor com N₂ líquido, sendo levado posteriormente para armazenamento em ultrafreezer a -80 °C.

2.4.4 – Peroxidação Lipídica – conteúdo de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂): A peroxidação de lipídeos foi determinada através da produção de metabólitos reativos a ácido 2-tiobarbitúrico (TBA), principalmente o malondialdeído (MDA) (HEATH; PACKER, 1968). Foram pesados 200 mg da folha congelada (sem a nervura central) e macerada em 2 mL de TCA (ácido tricloroacético - 0,1%) juntamente com 20% de PVPP (polivinilpolipirrolidona). Após perfeita homogeneização, foi transferido para tubos e centrifugados a 10.000 rpm por cinco minutos. Do sobrenadante, foram retiradas 2 alíquotas: na primeira foram retirados 250 µL, aos quais foi adicionado 1 mL de TCA 20% e TBA 0,5% (ácido tiobarbitúrico). A mistura foi colocada em banho seco por 30 minutos a 95 °C e, na sequência, resfriada em gelo. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a

10.000 rpm. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 535 e 600 nm. A quantidade de MDA foi expressa em nmol g^{-1} de massa fresca.

Na segunda alíquota, foram retirados 200 μL do sobrenadante aos quais foram adicionados 200 μL de tampão fosfato de potássio e 800 μL de solução de KI; em seguida os tubos foram colocados em gelo e permaneceram no escuro por uma hora. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm (ALEXIEVA et al., 2001). A quantidade de H_2O_2 foi expressa em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca.

Para a extração de proteínas, 1 g do material vegetal que ficou armazenado no ultrafreezer a -80°C foi colocado em um morteiro no qual foi adicionado N_2 líquido e feita a maceração até ficar com aspecto de farinha. As amostras foram homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM, pH 7,5, contendo 1 mM EDTA (ácido etileno diamino tetracético), 3 mM DTT (ditiotretol) e 4% (p/v) PVPP (GOMES-JÚNIOR et al., 2007). O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm por 30 minutos a 4°C , utilizando uma centrífuga. O sobrenadante foi coletado, aliquotado e estocado em freezer -80°C até o momento das análises.

A concentração das proteínas totais foi determinada segundo o método de (BRADFORD, 1976), utilizando o BSA (“bovine sérum albumin”) como padrão. O resultado da quantificação foi apresentado em mg mL^{-1} .

2.4.5 – Atividade de enzimas antioxidantes: Para os ensaios enzimáticos foram utilizados os extratos proteicos provenientes das amostras de folhas estocadas em freezer -80°C . Foram realizados ensaios de atividade das enzimas Catalase (CAT), Superóxido Dismutase (SOD), Glutathione Redutase (GR) e Ascorbato Peroxidase (APX), em espectrofotômetro.

2.4.5.1 – Superóxido Dismutase (SOD, EC 1.15.1.1): Foi determinada segundo o método de Giannopolitis e Ries (1977).

O sistema de reação foi composto de 40 μL de extrato enzimático; 50 mmol L^{-1} de tampão fosfato de sódio a pH 7,8; 33 $\mu\text{mol L}^{-1}$ “nitroblue tetrazolium” (NBT) + 0,66 mmol L^{-1} EDTA; 10 mmol L^{-1} de L-metionina + 3,3 mol L^{-1} de riboflavina, totalizando o volume de 3,0 mL.

Os tubos foram iluminados durante 10 minutos a 25°C. A redução do NBT a “blue formazan” foi medida por leituras de absorbância em espectrofotômetro UV-visível a 560 nm. A atividade da SOD foi expressa em U mg⁻¹ de proteína. Neste caso, uma unidade (U) representa a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a razão de redução do NBT.

2.4.5.2 – Catalase (CAT, EC 1.11.1.6): A atividade da CAT foi determinada como descrito por Kraus; Mckersie e Fletcher (1995) com algumas modificações, conforme Azevedo et al. (1998).

A CAT foi determinada a 25 °C em solução contendo 1mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 25 µL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂ -solução de 0,25%) preparada imediatamente antes do uso. A reação foi iniciada pela adição de extrato proteico e a atividade determinada seguindo-se a decomposição de H₂O₂ por 1 minuto, através das alterações na absorbância a 240 nm em cubetas de quartzo. Os resultados foram expressos em µmol minuto⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

2.4.5.3 – Ascorbato Peroxidase (APX, EC 1.11.1.11): Para a análise da atividade da enzima APX, inicialmente preparou-se uma solução de trabalho contendo uma alíquota de 100 mL de extrato bruto com 2,9 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 6,0 (volume final de 3,0 mL). A esta solução acrescentou-se ascorbato e peróxido de hidrogênio, em concentração final de 0,8 e 1,0 mM, respectivamente. A determinação da variação da extinção foi efetuada a 290 nm, sendo que a atividade específica da enzima (µKat µg⁻¹ proteína) foi calculada a partir de um coeficiente de extinção molar de 2,8 mM⁻¹ cm⁻¹ (MOLDES et al., 2008). Os resultados foram expressos em nmol minuto⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

2.4.5.4 – Glutathione Redutase (GR, EC 1.6.4.2): A atividade de GR foi determinada em espectrofotômetro a 30 °C em uma solução consistindo de 1 mL tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) contendo 1 mM DTNB, 1 mM GSSG e 0,1 mM NADPH. A reação iniciou-se com a adição de 50 µL extrato proteico. A taxa de redução da GSSG foi monitorada pelo aumento, a cada 1 segundo, a 412 nm, por

1 minuto, com valores expressos em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína (AZEVEDO et al., 1998).

2.5 – Análises estatísticas

Foi realizada análise de resíduos anteriormente à análise de variância dos dados, utilizando o teste de não aditividade de Tukey para verificar a aditividade dos efeitos, os testes de Lilliefors, de Bartlett e de Aleatoriedade para verificar, respectivamente, a normalidade, a homogeneidade e a aleatoriedade dos erros.

Para alface, a análise de variância obedeceu ao delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 4 + 2$, sendo duas cultivares de alface ('Vanda' e 'Lucy Brown') e quatro populações de pepino (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}), e dois tratamentos adicionais (solteiro de alface 'Vanda' e solteiro de alface 'Lucy Brown').

Para o pepino, para os dados referentes aos 30 DAT, foi realizada a análise de variância dos dados utilizando-se blocos ao acaso, em esquema fatorial 3×4 , sendo três sistemas de cultivo (pepino consorciado com 'Vanda', pepino consorciado com 'Lucy Brown' e pepino solteiro) e quatro populações (100, 85, 70 e 55% de 2,35 plantas m^{-2}). Para os resultados referentes aos 40 e 55 DAT foi realizada a análise de variância dos dados utilizando-se blocos ao acaso, em esquema fatorial 2×4 , sendo dois sistemas de cultivo (pepino consorciado com 'Vanda' [40 DAT], ou pepino consorciado com 'Lucy Brown' [55 DAT] e pepino solteiro) e quatro populações.

Após os dados serem submetidos à análise de variância pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os efeitos significativos para densidades populacionais e da interação sistemas de cultivo x densidades populacionais foram avaliados por meio de análise de regressão polinomial. A interação dos tratamentos adicionais e o fatorial, quando significativas, foram desdobrados e analisados por contrastes, sendo a alface solteira contrastada com os cultivos consorciados, conforme cultivar, em cada densidade da população do pepino no consórcio. Em todas as análises utilizou-se o programa estatístico *AgroEstat* (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

3 – RESULTADOS

3.1 – Pepino

O pepino não sofreu influência dos sistemas de cultivo, densidades populacionais e interação destas nas variáveis clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila *a+b* (Chl *a+b*), carotenoides (*Car*), fluorescência máxima da clorofila *a* (*Fm*), eficiência quântica do fotossistema II (*Fv/Fm*), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), tanto para as análises referentes aos 30 dias após transplante (DAT) (Tabela 3), quanto para as análises referentes para os 40 DAT (Tabela 4), e aos 55 DAT (Tabela 5).

As médias do pepino aos 30 DAT foram: *Fm*: 549,63; *Fv/Fm*: 0,79; Chl *a*: 45,98 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *b*: 22,71 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *a+b*: 68,70 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; *Car*: 16,26 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; H_2O_2 : 1690,46 $\mu mol\ g^{-1}$ de MF; MDA: 2,16 nmol g^{-1} de MF.

As médias do pepino aos 40 DAT foram: *Fm*: 516,63; *Fv/Fm*: 0,78; Chl *a*: 47,72 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *b*: 23,58 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *a+b*: 71,30 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; *Car*: 18,13 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; H_2O_2 : 1391,39 $\mu mol\ g^{-1}$ de MF; MDA: 2,03 nmol g^{-1} de MF.

As médias do pepino aos 55 DAT foram: *Fm*: 546,91; *Fv/Fm*: 0,77; Chl *a*: 56,64 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *b*: 26,88 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; Chl *a+b*: 83,52 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; *Car*: 20,32 $\mu g\ g^{-1}$ MF de folha; H_2O_2 : 1127,65 $\mu mol\ g^{-1}$ de MF; MDA: 2,11 nmol g^{-1} de MF.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila *a*, teor de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), *a+b* (Chl *a+b*) e carotenoides (*Car*), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 30 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causa da Variação	30 DAT							
	Fm	Fv/Fm	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>	H ₂ O ₂	MDA
Sist. Cultivo (SC)	2,00ns	0,76ns	1,67ns	1,36ns	1,60ns	1,00ns	0,14ns	0,18ns
Densidade (DP)	1,42ns	0,27ns	1,08ns	0,85ns	1,02ns	1,08ns	0,86ns	1,01ns
SC x DP	0,97ns	0,34ns	0,83ns	1,26ns	0,94ns	0,85ns	1,56ns	0,70ns
CV (%)	2,27	1,04	30,04	27,09	28,83	29,48	13,36	14,15

¹ Teste F, ns: não significativo.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila *a*, teor de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), *a+b* (Chl *a+b*) e carotenoides (*Car*), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 40 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causa da Variação	40 DAT							
	Fm	Fv/Fm	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>	H ₂ O ₂	MDA
Sist. Cultivo (SC)	0,69ns	2,62ns	3,57ns	1,43ns	3,26ns	0,79ns	3,32ns	1,20ns
Densidade (DP)	1,34ns	0,69ns	0,07ns	0,76ns	0,03ns	0,50ns	1,00ns	1,17ns
SC x DP	0,37ns	0,36ns	2,09ns	1,03ns	1,89ns	2,30ns	2,55ns	0,55ns
CV (%)	6,26	2,04	11,59	12,44	10,86	11,07	22,12	34,23

¹ Teste F, ns: não significativo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila *a*, teor de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), *a+b* (Chl *a+b*) e carotenoides (*Car*), conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e malondialdeído (MDA), no pepino ‘Soldier’ aos 55 DAT, em função do sistema de cultivo (SC) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causa da Variação	55 DAT							
	Fm	Fv/Fm	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>	H ₂ O ₂	MDA
Sist. Cultivo (SC)	0,64ns	1,64ns	1,56ns	1,58ns	1,57ns	1,37ns	1,96ns	0,15ns
Densidade (DP)	1,55ns	2,44ns	1,62ns	1,40ns	1,55ns	1,58ns	1,37ns	0,09ns
SC x DP	0,21ns	0,16ns	0,65ns	0,53ns	0,61ns	0,68ns	0,31ns	0,17ns
CV (%)	6,64	1,82	52,84	57,97	54,39	55,75	31,01	39,08

¹ Teste F, ns: não significativo.

3.2 – Alfaces

3.2.1 – Massa seca

A produção de massa seca da alface foi influenciada pelas cultivares e pelas densidades populacionais do pepino no consórcio e pela interação destas (Tabela 10). Nos tratamentos adicionais (alfaces solteiras), foi observada diferença significativa para massa seca. Houve interação dos tratamentos adicionais com os fatores (alface e densidade) (Tabela 10).

As alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ tiveram diferença significativa para produção de massa seca tanto em consórcio com pepino, quanto em cultivo solteiro. Em ambos cultivos a ‘Lucy Brown’ teve a produção de massa seca maior que ‘Vanda’, sendo 18% maior no cultivo consorciado e 55% maior no cultivo solteiro (Tabela 9).

Em consórcio, à medida que aumentou a densidade populacional do pepino, menor foi a massa seca das duas cultivares de alface. Entretanto, nota-se que ‘Lucy Brown’ foi mais sensível ao aumento do sombreamento causado pelo aumento no número de plantas por unidade de área. A partir da densidade de 74%, equivalente a $1,74 \text{ planta m}^{-2}$, a massa seca da ‘Lucy Brown’ foi menor que da ‘Vanda’ (Figura 4).

De acordo com os contrastes realizados para cultivos solteiros e consorciados, a massa seca das plantas de alface, tanto de ‘Vanda’ quanto de ‘Lucy Brown’ foi afetada negativamente pelo consórcio, pois produziram menos massa seca que em cultivo solteiro (Tabela 10).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para teor de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), *a+b* (Chl *a+b*) e carotenoides (*Car*), fluorescência máxima (*Fm*) e relação da fluorescência variável e máxima (*Fv/Fm*) da clorofila *a*, conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (*MDA*) nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT, em função de cultivares de alface (*A*) e densidade populacional (*DP*) do pepino.

Causa da Variação	30 DAT							
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>	<i>Fm</i>	<i>Fv/Fm</i>	H_2O_2	<i>MDA</i>
Alface (<i>A</i>)	41,10**	45,73**	43,08**	36,88**	33,60**	1,74ns	2,03ns	67,89**
Densidade (<i>DP</i>)	2,61ns	2,14ns	2,51ns	2,72ns	0,10ns	0,14ns	4,37*	12,29**
<i>A</i> x <i>DP</i>	5,08**	5,99**	5,39**	7,05**	0,27ns	0,10ns	12,91**	3,54*
TA ¹	25,17**	24,22**	25,40**	27,95**	18,81**	4,27*	3,14ns	29,66**
TA x (<i>A</i> x <i>DP</i>)	0,61ns	0,75ns	0,66ns	0,94ns	13,23**	14,61**	5,16**	5,31*
CV (%)	22,83	21,89	22,37	21,23	11,92	3,87	39,60	22,25

¹ TA = Tratamento Adicional: ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras;

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para teor de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), *a+b* (Chl *a+b*) e carotenoides (*Car*), fluorescência máxima (*Fm*) e relação da fluorescência variável e máxima (*Fv/Fm*) da clorofila *a*, conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (*MDA*) nas alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, ao final do ciclo, em função de cultivares de alface (*A*) e densidade populacional (*DP*) do pepino

Causa da Variação	Final do ciclo							
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>	<i>Fm</i>	<i>Fv/Fm</i>	H_2O_2	<i>MDA</i>
Alface (<i>A</i>)	11,65**	12,51**	12,22**	13,61**	24,09**	0,57ns	16,78**	28,57**
Densidade (<i>DP</i>)	5,38**	5,49**	5,55**	6,22**	0,58ns	0,73ns	8,46**	11,06**
<i>A</i> x <i>DP</i>	1,11ns	1,92ns	1,34ns	1,46ns	0,52ns	1,04ns	2,38ns	4,83**
TA ¹	1,06ns	2,67ns	1,46ns	1,50ns	0,55ns	18,46**	11,03**	11,43**
TA x (<i>A</i> x <i>DP</i>)	2,16ns	2,09ns	2,20ns	2,36ns	2,68ns	10,36**	7,16*	8,38**
CV (%)	27,19	24,24	25,98	28,36	18,01	2,35	30,66	22,32

¹ TA = Tratamento Adicional: ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ solteiras;

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para atividade específica de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutational redutase (GR), ascorbato peroxidase (APX), aos 30 DAT, SOD, CAT e GR e massa seca da alface (MS), ao final do ciclo, nas alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown', em função de cultivares de alface (A) e densidade populacional (DP) do pepino.

Causa da Variação	30 DAT				Final do ciclo			
	SOD	CAT	GR	APX	SOD	CAT	GR	MS
Alface (A)	14,53**	67,83**	14,48**	20,41**	230,68**	22,09**	100,50**	4,24** ²
Densidade (DP)	5,44**	1,37ns	5,29**	0,27ns	6,98**	1,08ns	12,41**	17,61**
A x DP	0,17ns	2,39ns	4,16*	1,79ns	0,30ns	0,64ns	14,57**	3,41**
TA ¹	1,51ns	15,17**	3,17ns	3,32ns	5,58*	8,86**	0,69ns	41,79**
TA x (A x DP)	0,44ns	0,30ns	4,03ns	1,56ns	45,17**	0,03ns	15,26**	238,83**
CV (%)	10,12	13,77	17,53	23,20	14,49	40,68	37,53	17,74

¹ TA = Tratamento Adicional: 'Vanda' e 'Lucy Brown' solteiras;

² Teste F, ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

Tabela 9. Massa seca de alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro.

Alface	Massa seca (g planta ⁻¹)	
	Consórcio	Solteiro
‘Vanda’	4,97 B ¹	10,11 B
‘Lucy Brown’	5,86 A	15,72 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

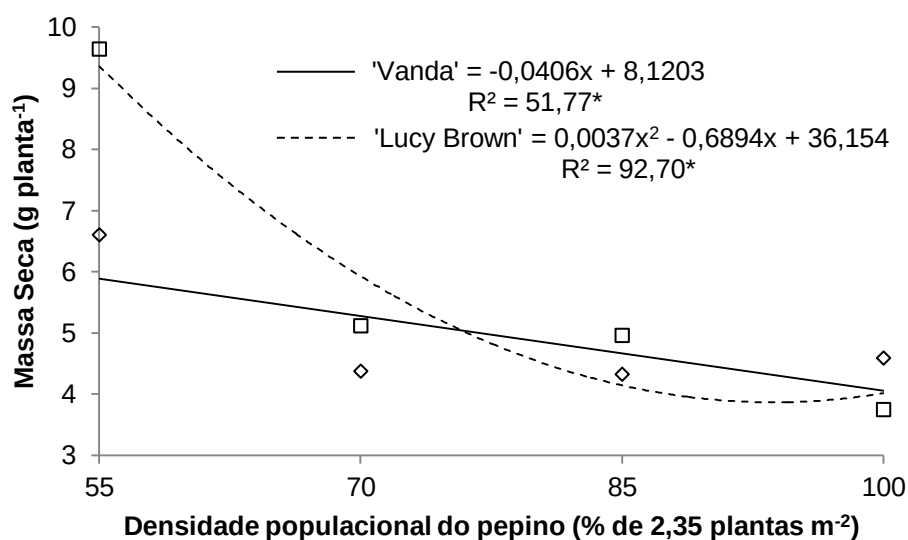


Figura 4. Massa seca da alface ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Tabela 10. Grupos de contrastes para massa seca (g planta⁻¹) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’.

Contrastes	Massa Seca
VS x VC100	5,52 ^{1**2}
VS x VC85	5,79**
VS x VC70	5,74**
VS x VC55	3,51**
LBS x LBC100	11,97**
LBS x LBC85	10,76**
LBS x LBC70	10,60**
LBS x LBC55	6,08**

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.

² **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

3.2.2 – Pigmentos

Os teores dos pigmentos (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* e *Car*) foram influenciados negativamente aos 30 DAT pelas cultivares de alface e pela interação destas com as densidades populacionais do pepino, mas não houve diferença para as densidades isoladamente (Tabela 6).

No desdobramento da interação, as cultivares de alface responderam de forma diferente às densidades populacionais do consórcio. Em 'Vanda' houve aumento linear de Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* e *Car* conforme se aumentou as densidades populacionais do pepino, enquanto 'Lucy Brown' apresentou resposta quadrática crescente até 75% da população e descendente após, com o aumento das populações do pepino no consórcio (Figuras 5 a 8).

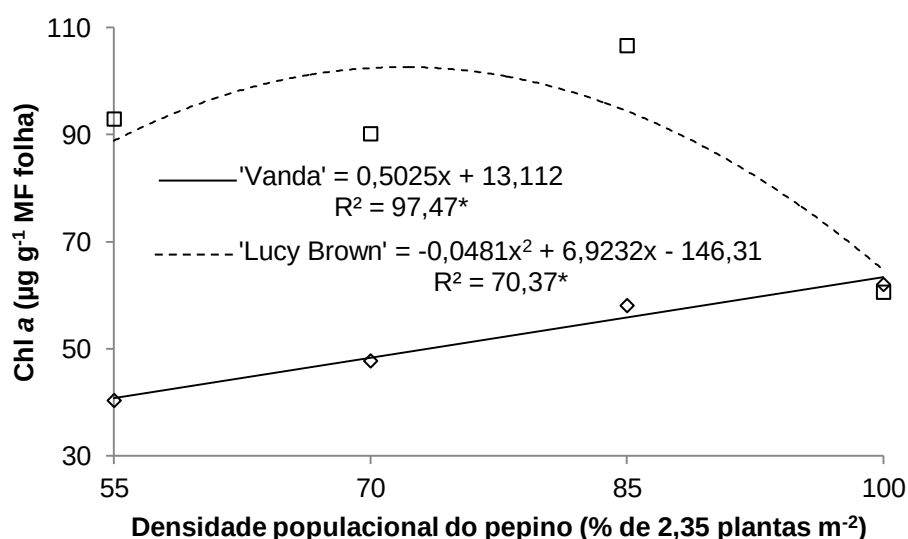


Figura 5. Teor de clorofila *a* (Chl *a*), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

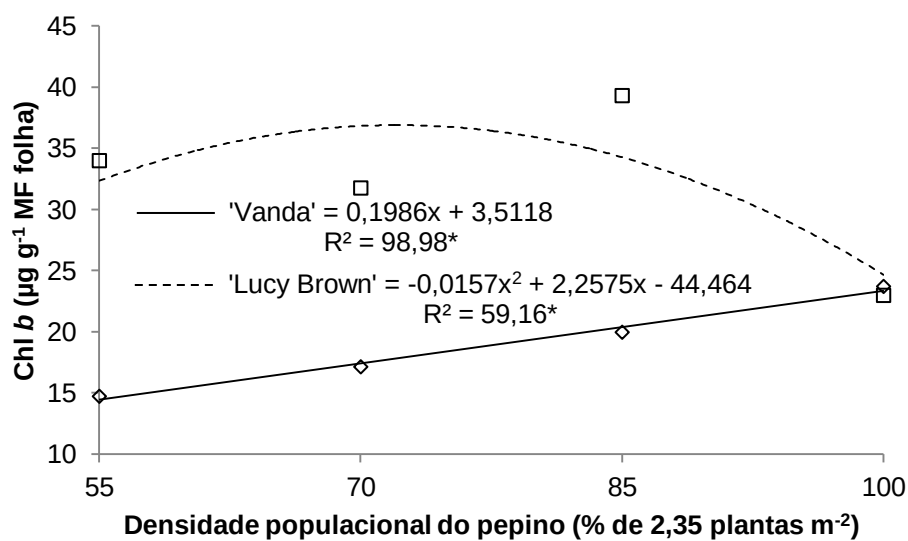


Figura 6. Teor de clorofila *b* (Chl *b*), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

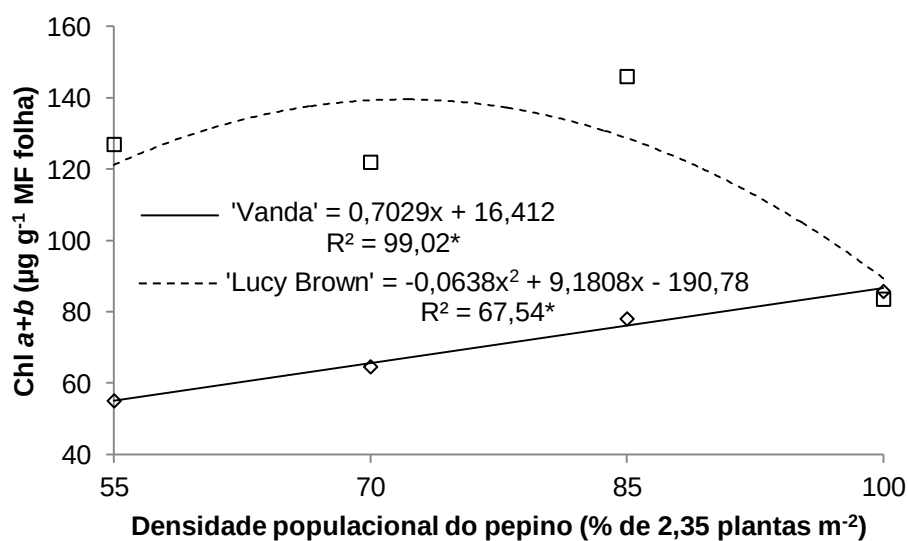


Figura 7. Teor de clorofilas *a+b* (Chl *a+b*), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

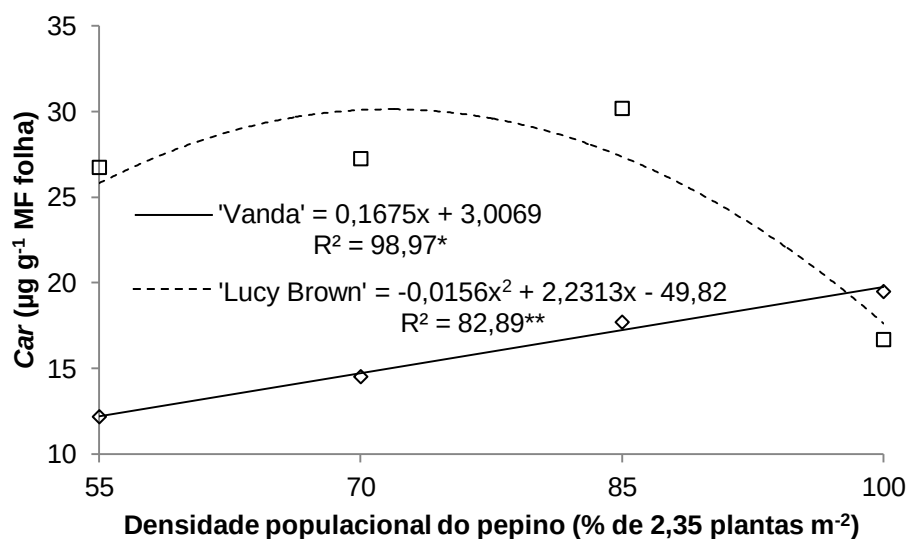


Figura 8. Teor de carotenoides (*Car*), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Aos 30 DAT, os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofilas *a+b* e carotenoides de 'Lucy Brown' foram maiores que 'Vanda' quando cultivadas consorciadas e também quando cultivadas solteiras (tratamento adicional) (Tabela 11). Quando consorciada, 'Lucy Brown' apresentou os teores de clorofila *a*, *b* e *a+b* 69% maior que 'Vanda' e 58% maior o teor de carotenoides. Entretanto, essa diferença no teor é ainda maior quando as alfaces são cultivadas solteiras, sendo os teores em 'Lucy Brown' 150%, 136%, 146% e 147% maiores que 'Vanda', respectivamente, para clorofila *a*, clorofila *b*, clorofilas *a+b* e carotenoides.

Tabela 11. Teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *a+b* e carotenoides de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT.

Alface	Consórcio			
	µg g ⁻¹ MF folha			
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>
'Vanda'	51,99 B ¹	18,90 B	70,89 B	15,99 B
'Lucy Brown'	87,60 A	32,03 A	119,63 A	25,23 A
Alface	Solteiro			
	µg g ⁻¹ MF folha			
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	<i>Car</i>
'Vanda'	37,06 B	14,03 B	51,09 B	10,92 B
'Lucy Brown'	92,80 A	33,14 A	125,94 A	27,01 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

No final do ciclo, os teores de pigmentos também foram influenciados pelas cultivares de alface. Entretanto, desta vez, com efeito significativo para as densidades populacionais e sem interação destes (Tabela 7). No final do ciclo, ambas as cultivares de alfaces tiveram comportamentos diferentes, sendo 'Vanda' com comportamento linear e descendente, enquanto em 'Lucy Brown' os teores foram quadráticos, descentes até 78% (85% para Chl a) da densidade populacional do pepino e crescente posteriormente (Figuras 9 a 12).

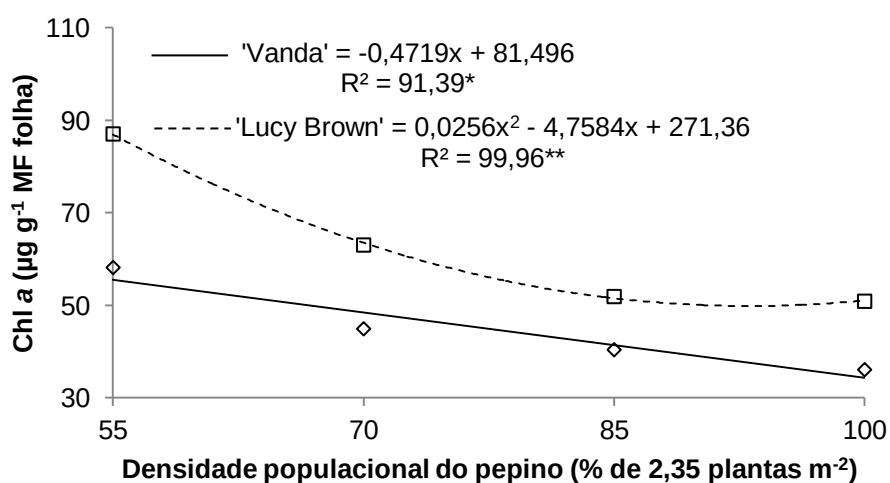


Figura 9. Teor de clorofila a (Chl a), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

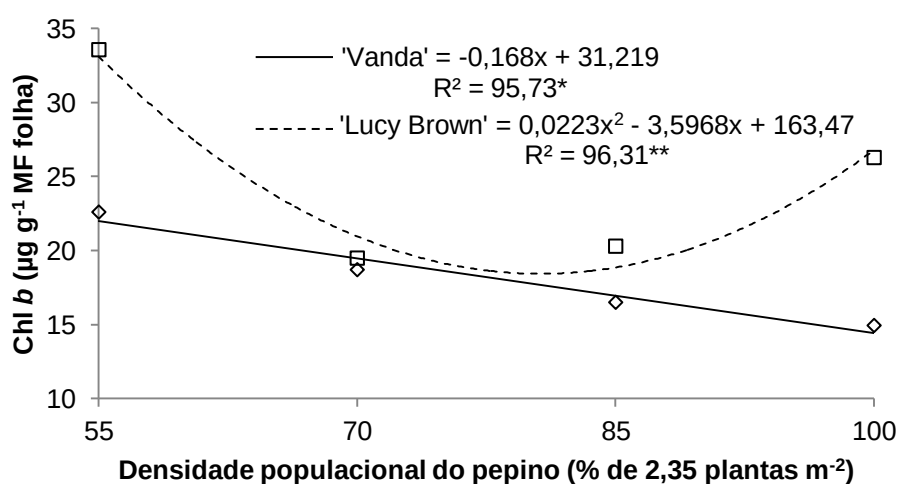


Figura 10. Teor de clorofila b (Chl b), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

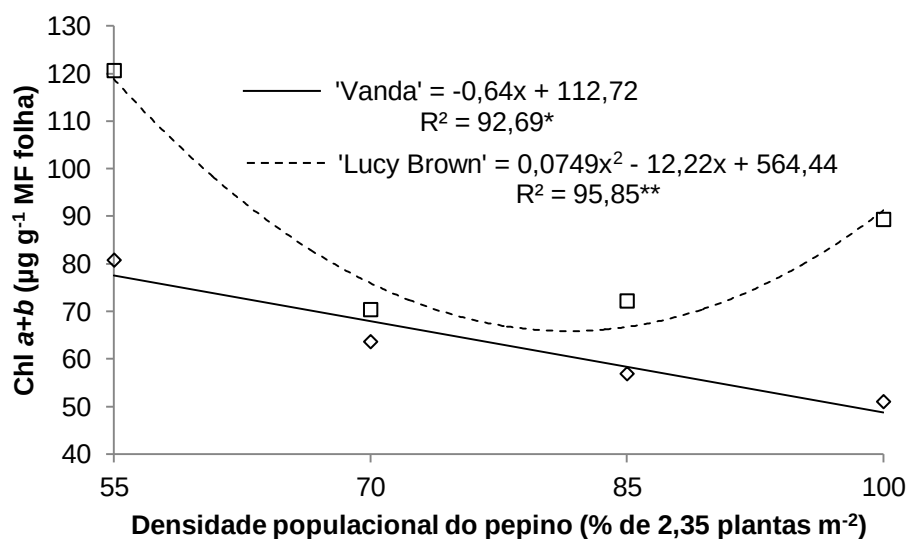


Figura 11. Teor de clorofila a+b (Chl a+b), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

$\diamond$ Vanda; $\square$ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

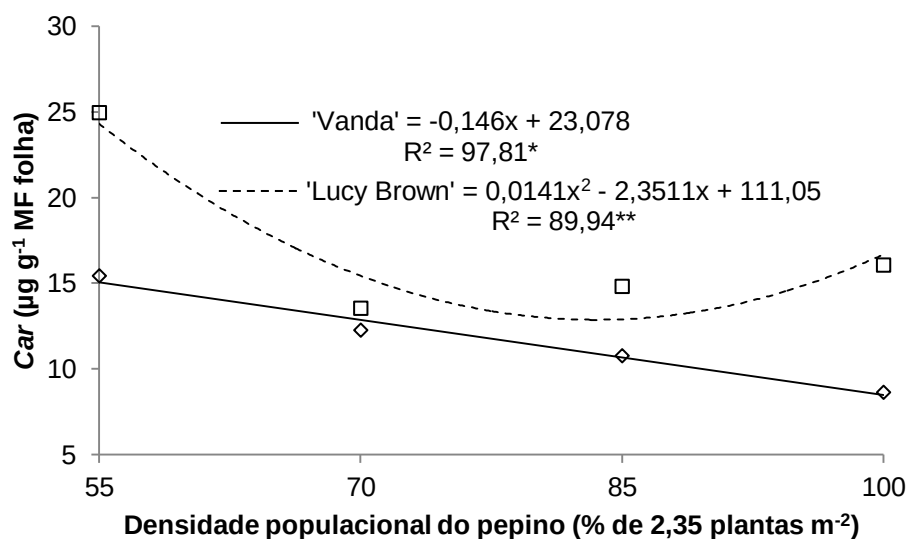


Figura 12. Teor de carotenoides (Car), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

$\diamond$ Vanda; $\square$ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Ao final do ciclo, os teores dos pigmentos foram maiores em 'Lucy Brown' que em 'Vanda' no sistema de cultivo consorciado, mas no cultivo solteiro destas, não houve diferença significativa (Tabela 12). Ao final do ciclo, a diferença no teor dos pigmentos diminuiu, quando comparada aos 30 DAT, mas 'Lucy Brown' consorciada

ainda foi maior que 'Vanda' em 41%, 37%, 40% e 47%, respectivamente para clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *a+b* e carotenoides.

Tabela 12. Teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *a+b* e carotenoides de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, ao final do ciclo.

Alface	Consórcio			
	$\mu\text{g g}^{-1}$ MF folha			
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	Car
'Vanda'	44,92 B ¹	18,21 B	63,13 B	11,76 B
'Lucy Brown'	63,25 A	24,93 A	88,18 A	17,34 A

Alface	Solteiro			
	$\mu\text{g g}^{-1}$ MF folha			
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	Car
'Vanda'	57,37 A	21,53 A	78,90 A	15,29 A
'Lucy Brown'	68,45 A	27,74 A	96,19 A	18,99 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

A fluorescência máxima (Fm) da clorofila *a*, teve valores diferentes para as alfaces quando cultivadas em consórcio e solteira, aos 30 DAT. A densidade populacional e a interação desta com as cultivares não foram significativas. Entretanto, houve diferença significativa para o fatorial e os tratamentos adicionais (Tabela 6). Aos 30 DAT, 'Lucy Brown' teve a Fm maior que 'Vanda', tanto no cultivo consorciado, quanto solteiro (Tabela 13).

A relação da fluorescência variável e máxima, aos 30 DAT, não teve diferença significativa para as cultivares de alface, densidades populacionais e interação destas (Tabela 6). Entretanto, no cultivo solteiro, as alfaces diferiram entre si, sendo 'Lucy Brown' com a relação maior que 'Vanda' (Tabela 13). Houve diferença significativa para o fatorial e os tratamentos adicionais.

A partir do desdobramento com análise de contrastes, verifica-se que a fluorescência máxima (Fm) e a relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm), aos 30 DAT, tiveram diferença entre o cultivo solteiro e o cultivo consorciado apenas para a 'Vanda' (Tabela 14). O cultivo consorciado fez com que a Fm e Fv/Fm fossem maiores que no cultivo solteiro.

Tabela 13. Fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) da clorofila a de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Alface	Consórcio			
	30 DAT		Final do ciclo	
	Fm	Fv/Fm	Fm	Fv/Fm
'Vanda'	415,44 B ¹	0,81 A	425,13 B	0,81 A
'Lucy Brown'	526,69 A	0,80 A	578,38 A	0,80 A

Alface	Solteiro			
	30 DAT		Final do ciclo	
	Fm	Fv/Fm	Fm	Fv/Fm
'Vanda'	309,75 B	0,74 B	421,50 A	0,81 A
'Lucy Brown'	476,25 A	0,78 A	467,75 A	0,75 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

Tabela 14. Grupos de contrastes para fluorescência máxima (Fm) e relação da fluorescência variável e máxima (Fv/Fm) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown', aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Contrastes	30 DAT		Final do Ciclo	
	Fm	Fv/Fm	Fm	Fv/Fm
VS x VC100	-98,25 ^{1*2}	-0,08**	-22,75ns	0,00ns
VS x VC85	-125,00**	-0,07**	-28,50ns	0,00ns
VS x VC70	-105,25*	-0,08**	-3,75ns	-0,01ns
VS x VC55	-94,25*	-0,07**	40,50ns	0,02ns
LBS x LBC100	-51,50ns	-0,02ns	-104,00ns	-0,05**
LBS x LBC85	-47,75ns	-0,02ns	-87,25ns	-0,06**
LBS x LBC70	-40,50ns	-0,02ns	-160,50*	-0,05**
LBS x LBC55	-62,00ns	-0,02ns	-90,50ns	-0,05**

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.

² ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Ao final do ciclo, quando em consórcio, 'Vanda' e 'Lucy Brown' diferiram entre si (Tabela 7) para Fm. 'Lucy Brown' teve a fluorescência máxima maior que 'Vanda'. Não houve efeito das densidades do consórcio e da interação da densidade com a cultivar (Tabela 7). 'Vanda' e 'Lucy Brown' não diferiram quando cultivadas solteiras (Tabela 13).

A relação da fluorescência variável e máxima, ao final do ciclo, não diferiu entre as alfaces quando consorciadas, e também não sofreu efeito das densidades populacionais e interação destes (Tabela 7). Entretanto, houve diferença entre as alfaces quando cultivadas solteiras, e invertendo o que ocorreu aos 30 DAT, sendo no final do ciclo a relação Fv/Fm maior em 'Vanda' que em 'Lucy Brown' (Tabela 13).

Outra inversão no final do ciclo ocorreu a partir do desdobramento e análise de contrastes para Fv/Fm, onde 'Vanda' solteira e consorciada não tiveram diferença

entre si, e ‘Lucy Brown’ solteira teve a relação Fv/Fm menor que ‘Lucy Brown’ consorciada, independente da população do consórcio (Tabela 14).

3.2.3 – Peroxidação Lipídica

Não houve diferença para os conteúdos de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) entre as alfaces cultivadas em consórcio aos 30 DAT (Tabelas 8 e 15). Entretanto, as densidades populacionais e a interação destas com as cultivares causaram efeito no conteúdo de H_2O_2 . As alfaces solteiras também não diferiram entre si no conteúdo de H_2O_2 aos 30 DAT, mas houve diferença entre os teores do cultivo solteiro e consorciado (Tabelas 8 e 15).

Tabela 15. Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’ em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Alface	Consórcio			
	30 DAT		Final do ciclo	
	H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$	MDA nmol g^{-1}	H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$	MDA nmol g^{-1}
‘Vanda’	344,40 A ¹	0,68 B	506,75 A	0,44 B
‘Lucy Brown’	415,21 A	1,38 A	312,28 B	0,69 A

Alface	Solteiro			
	30 DAT		Final do ciclo	
	H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$	MDA nmol g^{-1}	H_2O_2 $\mu\text{mol g}^{-1}$	MDA nmol g^{-1}
‘Vanda’	341,73 A	0,79 B	393,93 B	0,56 B
‘Lucy Brown’	165,84 A	1,71 A	709,19 A	0,88 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

No desdobramento da interação entre as cultivares de alface e densidade populacionais no teor de H_2O_2 , aos 30 DAT, observamos que não houve efeito das densidades no conteúdo de H_2O_2 em ‘Vanda’, todavia ‘Lucy Brown’ teve efeito quadrático no teor de H_2O_2 , sendo a densidade de 73% da população de pepino que causou o maior conteúdo de H_2O_2 (Figura 13).

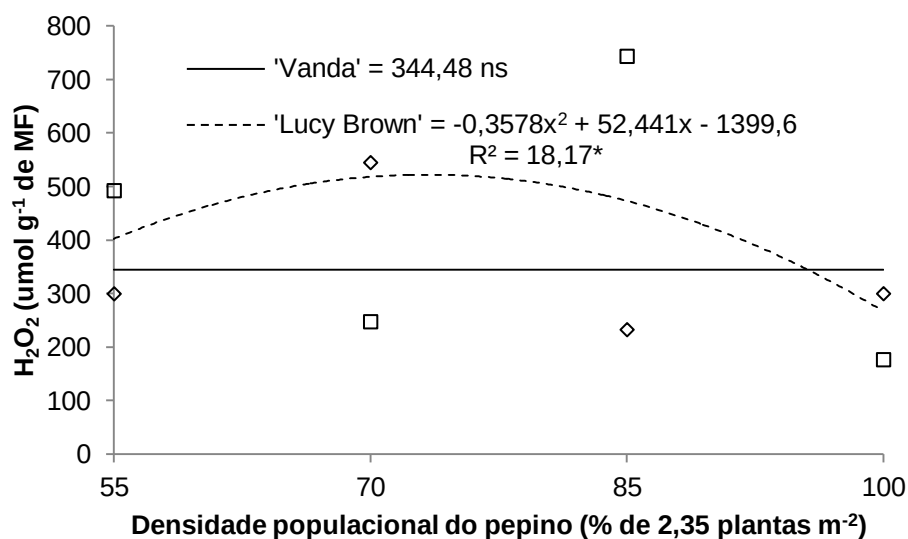


Figura 13. Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aos 30 DAT, das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

$\diamond$ Vanda; $\square$ Lucy Brown;

ns: não significativo; *: significativo $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O conteúdo de malondialdeído (MDA) foi diferente conforme a cultivar de alface, densidade populacional e interação destas aos 30 DAT (Tabela 6). As alfaces cultivadas solteiras tiveram diferença entre si no conteúdo de MDA, e estas diferiram das alfaces cultivadas consorciadas (Tabela 6). O conteúdo de MDA, aos 30 DAT, foi maior em 'Lucy Brown' que em 'Vanda', tanto em cultivo consorciado quanto solteiro (Tabela 15).

O conteúdo de MDA, aos 30 DAT, no desdobramento da interação entre as cultivares de alface e densidade populacionais, revelou que as duas cultivares de alface tiveram o conteúdo de MDA linear e descendente conforme aumentou-se a densidade populacional (Figura 14). Em todas as densidades estudadas 'Lucy Brown' teve maior conteúdo de MDA quando comparado a 'Vanda'.

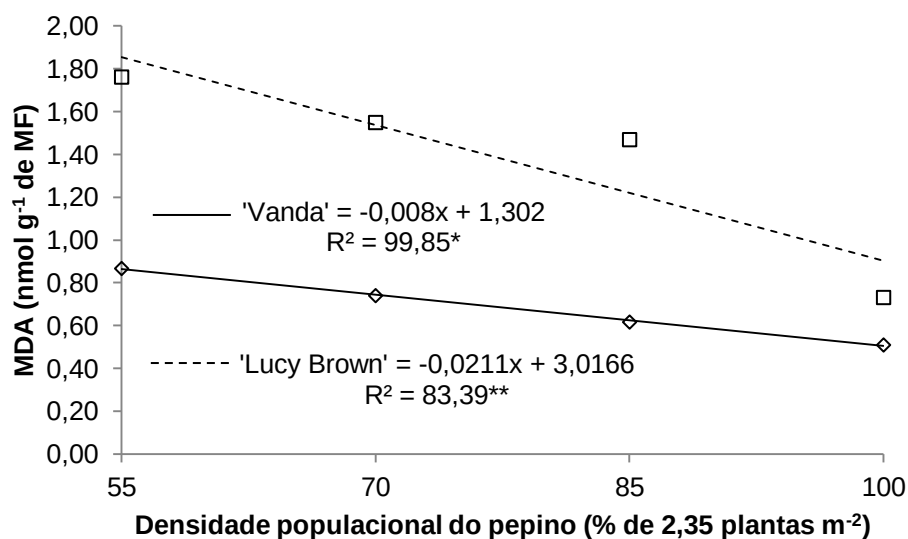


Figura 14. Teor de malondialdeído (MDA), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

O conteúdo de H_2O_2 , ao final do ciclo, sofreu efeito das cultivares e densidade populacional de pepino, sem interação destas. Também houve interação entre o cultivo solteiro (tratamento adicional) e o fatorial (Tabela 7). As cultivares de alface diferiram entre si no conteúdo de H_2O_2 quando cultivadas solteiras.

O comportamento das alfaces quando cultivadas consorciadas e solteiras foi diferente em relação ao conteúdo de H_2O_2 , ao final do ciclo. Quando em consórcio, 'Vanda' teve o conteúdo de H_2O_2 maior que 'Lucy Brown' (Tabela 15), permanecendo maior em todas as densidades populacionais consorciadas. As duas alfaces tiveram o conteúdo de H_2O_2 ascendente conforme se aumentou a densidade populacional (Figura 15), entretanto quando cultivadas solteiras o conteúdo de H_2O_2 em 'Lucy Brown' foi maior que em 'Vanda' (Tabela 15).

O conteúdo de MDA, ao final do ciclo, sofreu influencia das cultivares, densidades populacionais e interação destas. As alfaces cultivadas solteiras também diferiram entre si, e estas diferiram significativamente do fatorial (Tabela 7). O conteúdo de MDA no final do ciclo foi menor que aos 30 DAT, mas permaneceu com o mesmo padrão, sendo maior em 'Lucy Brown' que em 'Vanda', tanto em consórcio como em cultivo solteiro (Tabela 15), e ambas descendentes conforme se aumentou a densidade populacional do pepino no consórcio (Figura 16).

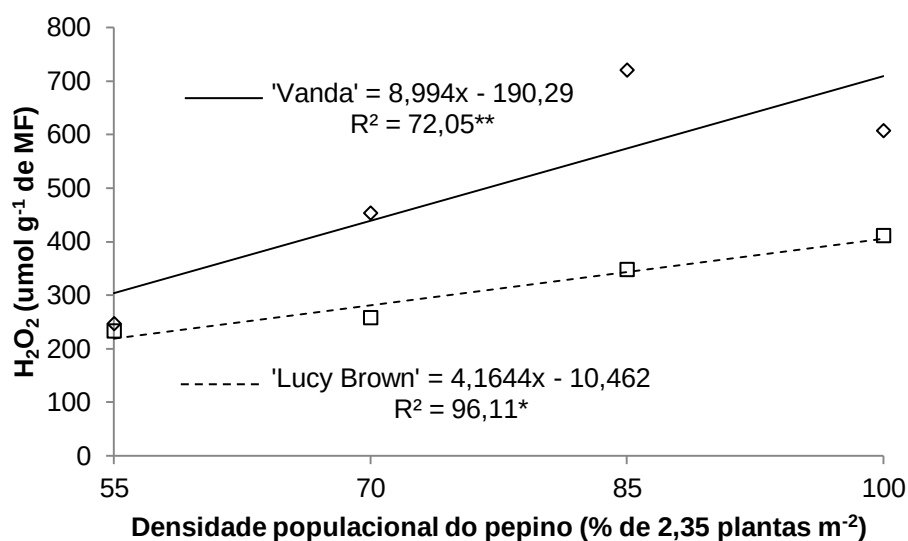


Figura 15. Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

$\diamond$ Vanda; $\square$ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

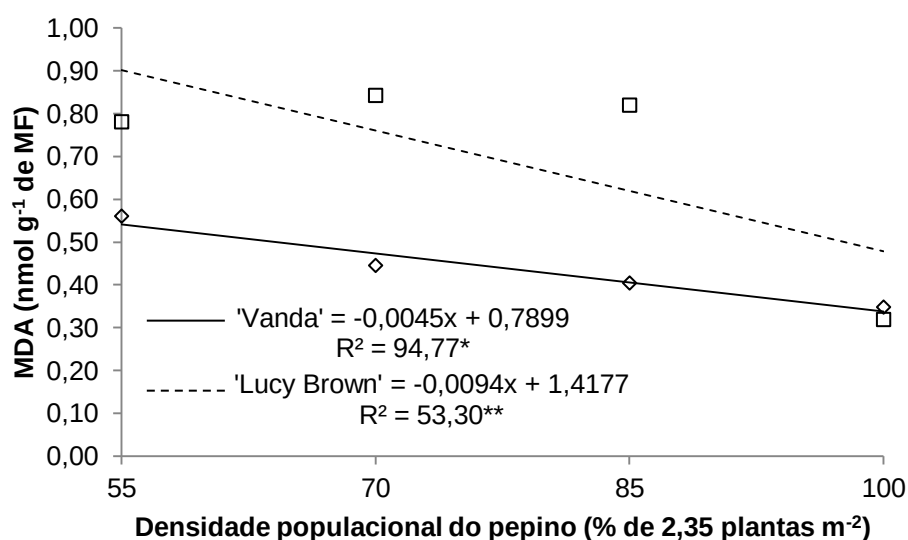


Figura 16. Teor de malondialdeído (MDA), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

$\diamond$ Vanda; $\square$ Lucy Brown;

*: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

No desdobramento dos graus de liberdade para análise de contraste da interação fatorial e tratamento adicional, observa-se que aos 30 DAT, o conteúdo de H_2O_2 teve diferença no contraste apenas entre 'Lucy Brown' solteira e 'Lucy Brown' consorciada com 55 e 85% da população do pepino, com o conteúdo de H_2O_2

destas em consórcio maior que ‘Lucy Brown’ solteira (Tabela 16). Ao final do ciclo, o conteúdo de H_2O_2 de ‘Vanda’ consorciada com 85 e 100% da população de pepino foram maiores que em ‘Vanda’ solteira. ‘Lucy Brown’ solteira, por sua vez, teve o conteúdo de H_2O_2 ao final do ciclo maior que ‘Lucy Brown’ consorciada, independente da população de pepino (Tabela 16).

Aos 30 DAT, ‘Lucy Brown’ solteira teve o conteúdo de MDA maior que ‘Lucy Brown’ consorciada com 100% da população de pepino apenas, sendo que os demais contrastes não tiveram diferenças significativas (Tabela 16). Ao final do ciclo, as duas cultivares solteiras tiveram o conteúdo de MDA maior apenas que das alfaces consorciadas com 100% da população de pepino (Tabela 16).

Tabela 16. Grupos de contrastes para o conteúdo peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA) das alfaces ‘Vanda’ e ‘Lucy Brown’, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Contrastes	30 DAT		Final do Ciclo	
	H_2O_2	MDA	H_2O_2	MDA
	$\mu\text{mol g}^{-1}$	nmol g^{-1}	$\mu\text{mol g}^{-1}$	nmol g^{-1}
VS x VC100	41,63 ¹ ns ²	0,28ns	-213,17*	0,21*
VS x VC85	108,88ns	0,17ns	-326,37**	0,16ns
VS x VC70	-203,37ns	0,05ns	-59,22ns	0,11ns
VS x VC55	42,18ns	-0,08ns	147,48ns	0,00ns
LBS x LBC100	-10,93ns	0,98**	298,17**	0,56**
LBS x LBC85	-577,86**	0,24ns	361,55**	0,06ns
LBS x LBC70	-81,87ns	0,16ns	451,51**	0,04ns
LBS x LBC55	-326,82**	-0,05ns	476,40**	0,10ns

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.

² ns: não significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$ pelo teste F.

3.2.4 – Atividade enzimática

A atividade da superóxido dismutase (SOD), aos 30 DAT e ao final do ciclo, foi diferente para as cultivares de alface quando consorciadas, e também sofreu influência das densidades populacionais, mas sem interação destas (Tabela 8). Aos 30 DAT, não houve diferença significativa para as alfaces em cultivo solteiro e para interação do tratamento adicional e fatorial. Entretanto, ao final do ciclo, as alfaces diferiram entre si quando cultivadas solteiras, e estas por sua vez diferiram do fatorial (Tabela 8).

Aos 30 DAT, 'Vanda' teve maior atividade de SOD que 'Lucy Brown' quando cultivadas no consórcio, permanecendo com alta atividade ao final do ciclo. No cultivo solteiro, ao final do ciclo 'Vanda' também teve maior atividade de SOD quando comparada a que 'Lucy Brown' (Tabela 17).

Tabela 17. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Alface	SOD (U mg ⁻¹ de proteína)			
	30 DAT		Final do ciclo	
	Consórcio	Solteiro	Consórcio	Solteiro
'Vanda'	31,50 A ¹	30,01 A	73,50 A	40,75 A
'Lucy Brown'	27,50 B	27,43 A	34,48 B	28,62 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F (p > 0,05).

Em todas as densidades populacionais, tanto aos 30 DAT quanto ao final do ciclo, 'Vanda' permaneceu com a atividade de SOD maior que 'Lucy Brown', e ambas tiveram a atividade crescente conforme o aumento da densidade populacional do pepino no consórcio (Figuras 17 e 18). Ao final do ciclo, observou-se que a atividade de SOD foi maior que aos 30 DAT, para as duas alfaces e em todas as densidades.

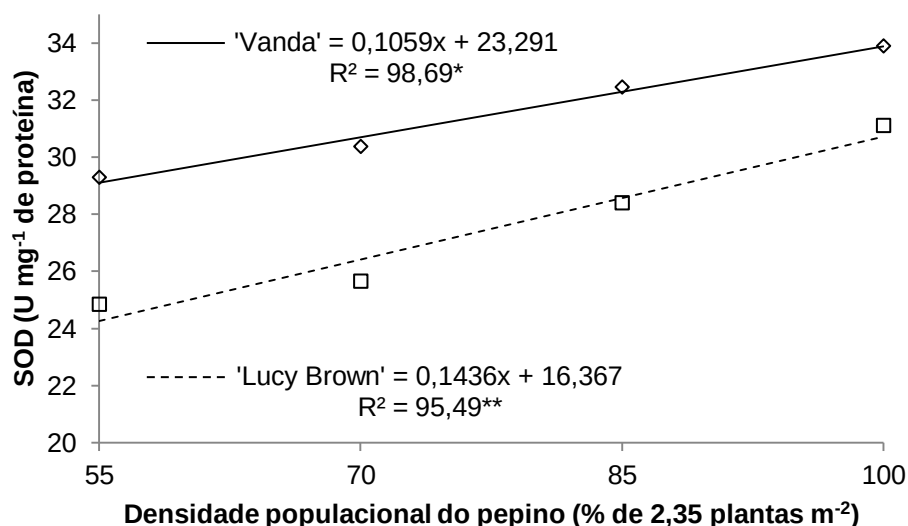


Figura 17. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD), aos 30 DAT, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

*: significativo p ≤ 0,05; **: significativo p ≤ 0,01 pelo teste F.

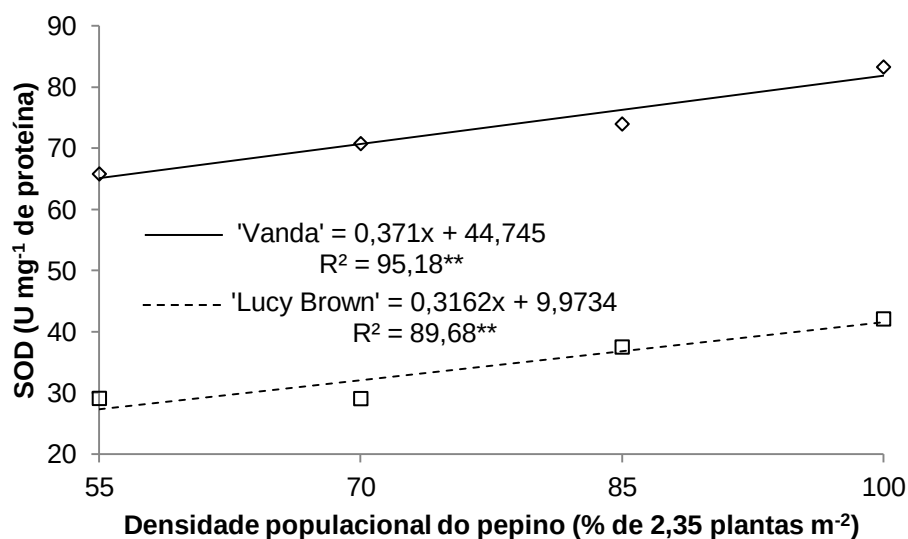


Figura 18. Atividade específica de superóxido dismutase (SOD), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Como já destacado na análise de variância, não houve diferença significativa entre os cultivos solteiros e consorciados aos 30 DAT para a atividade de SOD. Todavia, no desdobramento da interação do fatorial com os tratamentos adicionais, no final do ciclo, observa-se que 'Vanda' consorciada teve a atividade de SOD maior que 'Vanda' solteira, sendo mais acentuada essa diferença conforme se aumenta a densidade populacional do pepino no consórcio (Tabela 18). Apenas 'Lucy Brown' consorciada com 100% da população do pepino foi maior a atividade de SOD que 'Lucy Brown' solteira, ao final do ciclo. As demais densidades populacionais, mesmo com valores maiores de atividade de SOD, não tiveram diferença pela análise de contraste (Tabela 18).

Tanto aos 30 DAT quanto ao final do ciclo, a atividade de catalase (CAT) foi influenciada apenas pelas cultivares de alface (Tabela 8). As densidades populacionais não influenciaram a atividade de CAT, assim como não houve interação da densidade com as cultivares. No cultivo solteiro (tratamentos adicionais) também houve diferença entre os valores de atividade da CAT. Não houve interação do fatorial com os tratamentos adicionais.

Tabela 18. Grupos de contrastes para atividade específica de superóxido dismutase (SOD) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown', aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Contrastes	SOD (U mg ⁻¹ de proteína)	
	30 DAT	Final do ciclo
VS x VC100	-3,88 ¹ ns ²	-42,57**
VS x VC85	-2,44ns	-33,26**
VS x VC70	-0,36ns	-30,05**
VS x VC55	0,72ns	-2,51**
LBS x LBC100	-3,68ns	-13,52*
LBS x LBC85	-0,97ns	-8,92ns
LBS x LBC70	1,78ns	-0,48ns
LBS x LBC55	2,59ns	-0,52ns

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.² ns: não significativo; *: p ≤ 0,05; **: p ≤ 0,01 pelo teste F.

'Vanda' teve a atividade de CAT maior que 'Lucy Brown' aos 30 DAT e no final do ciclo, tanto em cultivo consorciado quanto em cultivo solteiro (Tabela 19). Ao final do ciclo, a diferença foi mais de 100% maior, tanto no cultivo solteiro quanto em consórcio.

Tabela 19. Atividade específica de catalase (CAT) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Alface	CAT (μmol min ⁻¹ mg ⁻¹)			
	30 DAT		Final do ciclo	
	Consórcio	Solteiro	Consórcio	Solteiro
'Vanda'	70,90 A ¹	68,52 A	86,97 A	94,65 A
'Lucy Brown'	47,34 B	46,22 B	42,85 B	38,78 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F (p > 0,05).

Aos 30 DAT, a atividade de ascorbato peroxidase (APX) sofreu influência apenas para as cultivares de alface quando consorciadas (Tabela 8). Ao final do ciclo, não foi detectado atividade da APX em 'Vanda' consorciada, entretanto, 'Vanda' solteira teve atividade de APX detectada, assim como foi detectado atividade em 'Lucy Brown', tanto consorciada quanto solteira.

'Vanda' teve o valor de atividade da APX maior que 'Lucy Brown' aos 30 DAT, quando cultivada em consórcio (Tabela 20), mas não houve diferença entre as alfaces quando cultivadas solteiras. Ao final do ciclo, 'Vanda' solteira teve a atividade da APX maior que 'Lucy Brown' solteira (Tabela 20).

Tabela 20. Atividade específica de ascorbato peroxidase (APX) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT, e 'Vanda' e 'Lucy Brown' em cultivo solteiro ao final do ciclo.

Alface	APX (nmol min ⁻¹ mg ⁻¹)		
	30 DAT		Final do ciclo
	Consórcio	Solteiro	Solteiro
'Vanda'	158,06 A ¹	138,39 A	218,95 A
'Lucy Brown'	109,58 B	99,29 A	83,58 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

Houve diferença para atividade de APX em 'Lucy Brown' nas densidades populacionais ($p \leq 0,01$ e $F=8,64$) ao final do ciclo. Observa-se que os teores diminuem com o aumento da população até a densidade de 81% da população, subindo em seguida (Figura 19).

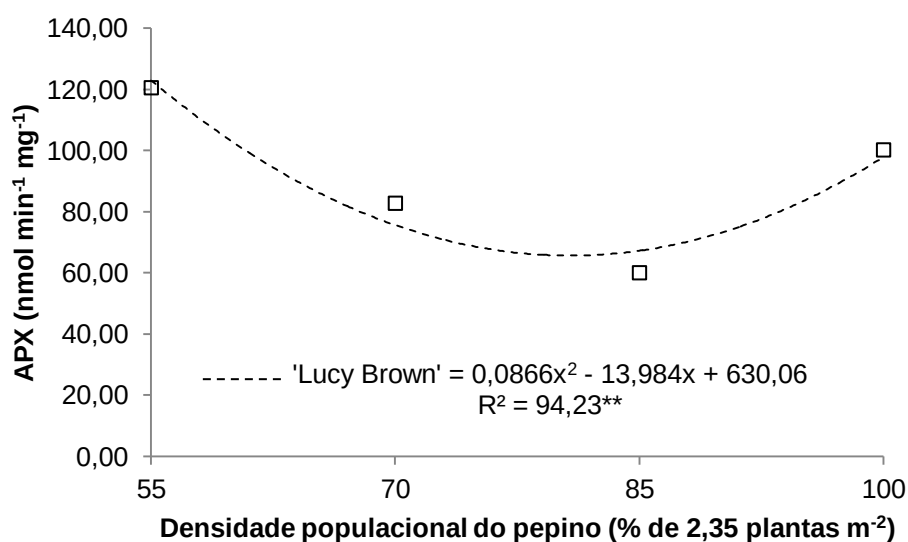


Figura 19. Atividade específica da ascorbato peroxidase (APX), ao final do ciclo, na alface 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

□ Lucy Brown;

** : significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

A atividade de glutatona redutase (GR), aos 30 DAT e ao final do ciclo, foi influenciada pelas cultivares, densidades populacionais e interação destas (Tabela 8). Não houve diferença entre os tratamentos adicionais, aos 30 DAT e ao final do ciclo. Todavia, no final do ciclo, houve diferença entre o tratamento adicional e o fatorial.

O valor da atividade da GR em 'Vanda' consorciada foi maior que em 'Lucy Brown' consorciada nas duas épocas (Tabela 21), sendo mais acentuada a diferença no final do ciclo. Nos cultivos solteiros (tratamentos adicionais), apesar destes não diferirem entre si, ao final do ciclo os valores da atividade de GR foram maiores.

Tabela 21. Atividade específica de glutathione redutase (GR) de alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown' em consórcios com pepino e em cultivo solteiro, aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Alface	GR ($\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$)			
	30 DAT		Final do ciclo	
	Consórcio	Solteiro	Consórcio	Solteiro
'Vanda'	0,16 A ¹	0,14 A	1,01 A	0,37 A
'Lucy Brown'	0,13 B	0,11 A	0,25 B	0,24 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ($p > 0,05$).

Apesar da análise de variância ter mostrado significância para densidades populacionais e interação destas com as cultivares, aos 30 DAT, para a atividade de GR, não houve um modelo de regressão que se ajustasse as médias. Ao final do ciclo, a atividade da GR em 'Lucy Brown' não teve diferença aos modelos de regressão, porém, em 'Vanda' observa-se uma resposta quadrática, sendo ascendente até 70% da população de pepino e descente em seguida. Todavia, vale ressaltar que em todas as densidades populacionais o valor da atividade de GR foi maior em 'Vanda' que em 'Lucy Brown' (Figura 20).

A partir do desdobramento dos graus de liberdade para análise de contraste, observa-se que houve diferença apenas para 'Vanda', sendo 'Vanda' consorciada, ao final do ciclo, com os valores de atividade da GR maiores que 'Vanda' solteira nas densidades populacionais de 55, 70 e 85%, e mesmo 'Vanda' consorciada com 100% sendo maior, esta não diferiu, pela análise de contraste, de 'Vanda' solteira (Tabela 22).

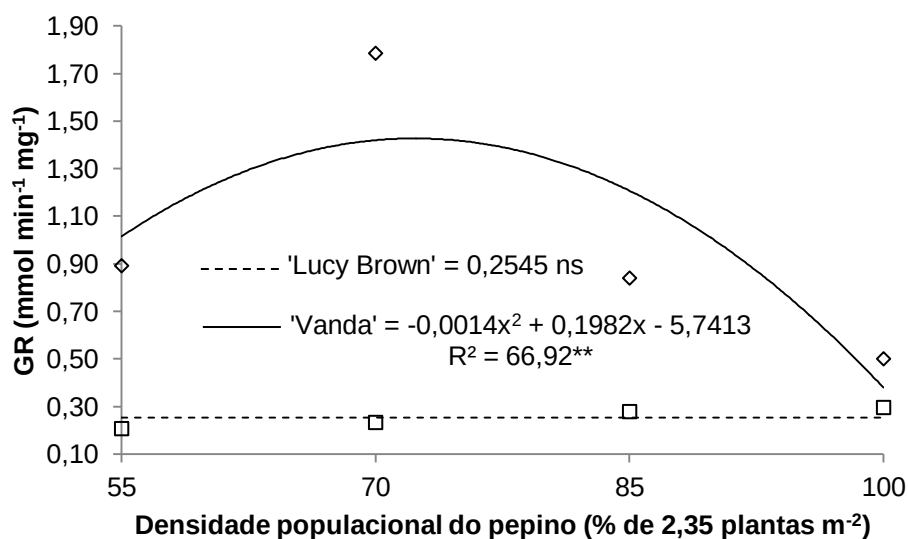


Figura 20. Atividade específica da glutatona redutase (GR), ao final do ciclo, da alface 'Vanda' e 'Lucy Brown' em função da densidade populacional do pepino.

◇ Vanda; □ Lucy Brown;

ns: não significativo; **: significativo $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Tabela 22. Grupos de contrastes para atividade específica de glutatona redutase (GR) das alfaces 'Vanda' e 'Lucy Brown', aos 30 DAT e ao final do ciclo.

Contrastes	GR (mmol min ⁻¹ mg ⁻¹)	
	30 DAT	Final do ciclo
VS x VC100	-0,01 ¹ ns ²	-0,13ns
VS x VC85	0,01ns	-0,47**
VS x VC70	-0,07**	-1,42**
VS x VC55	-0,01ns	-0,52**
LBS x LBC100	-0,03ns	-0,06ns
LBS x LBC85	-0,01ns	-0,04ns
LBS x LBC70	-0,02ns	0,01ns
LBS x LBC55	0,00ns	0,03ns

¹ Diferença entre as médias dos tratamentos contrastados.

² ns: não significativo; **: $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4 – DISCUSSÃO

O pepino é uma cultura bastante agressiva quando consorciado (BERRY et al., 2006; ZHOU; YU; WU, 2011; CECÍLIO FILHO et al., 2015), o que a torna uma planta dominadora no consórcio com alface (BERRY et al., 2006; CECÍLIO FILHO et al., 2015). É uma cultura bastante sensível ao sombreamento (HAO; PAPADOPOULOS, 1999) e responsiva a altas quantidades de luz, inclusive com o aumento nos teores de clorofilas (HOVI-PEKKANEN; TAHVONEN, 2008). Entretanto, o aumento da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), entre as plantas de pepino, de 20 para 35%, respectivamente, quando plantadas nas densidades de 100% a 55% (Figura 4 do Cap. 2), não foi suficiente para alterar os teores de clorofila nas diferentes densidades populacionais.

Em condições de estresse, o excesso de espécies reativas de oxigênio (ERO) faz com que estas se acumulem no tecido vegetal e causem o estresse oxidativo na planta (SHI et al., 2006a). A peroxidação lipídica, tanto nas membranas celulares como organelares, ocorre quando os níveis de ERO estão acima do limite tolerável para a planta, afetando não apenas diretamente o funcionamento celular normal, mas também agravando o estresse oxidativo através da produção de radicais derivados de lípidos (MONTILLET et al., 2005). O nível de peroxidação lipídica tem sido amplamente utilizado como um indicador de danos mediados por radicais livres para membranas celulares em condições estressantes (SHARMA; JHA; DUBEY, 2011). O malondialdeído (MDA) é um dos produtos finais da peroxidação de ácidos graxos insaturados em fosfolípidios e é responsável pelo dano da membrana celular (MITTLER, 2002, 2017). Neste sentido, os conteúdos de MDA e peróxido não foram alterados pelos sistemas de cultivos e pelas densidades populacionais do pepino estudadas, caracterizando a ausência de plantas estressadas (MITTLER, 2002; MONTILLET et al., 2005; SHI et al., 2006a, 2006b).

Contrariamente ao pepino, os efeitos das densidades no consórcio e da cultivar utilizadas afetaram a cultura da alface. Para o teor de pigmentos, a diferença entre as cultivares 'Vanda' e 'Lucy Brown' pode ser facilmente explicada devido ao melhoramento genético, que acaba por sua vez causando alterações na arquitetura, ciclo da planta e até mesmo no desenvolvimento do cloroplasto (GILIBERTO et al.,

2005; KIM et al., 2005; CARVALHO; TAKAKI; AZEVEDO, 2011), fazendo com que o comportamento no teor dos pigmentos destas cultivares sejam diferentes em situações adversas (MORAIS et al., 2011; CABANEZ et al., 2015).

A luz intensa pode diminuir o teor de clorofila nas folhas em função da inibição da formação de cloroplasto (FRANKLIN; WHITELAM, 2005; FU; LI; WU, 2012). Em contraste, em baixa intensidade de luz, o número de cloroplastos por unidade de área foliar das plantas diminui, enquanto os cloroplastos maiores resultam em aumento do teor de clorofilas nas folhas das plantas (FU; LI; WU, 2012; CABANEZ et al., 2015). O mecanismo de adaptação em plantas que aumenta o teor dos carotenoides que contribuem para a fotoproteção pela saturação de clorofila triplet e oxigênio singlet (SMIRNOFF, 2005), e podem aliviar o aumento de ERO e o agravamento da degradação de proteínas em situações estressantes (CLEGG, 2004; GRATÃO et al., 2005; FU; LI; WU, 2012; ALVES; REIS; GRATÃO, 2016).

Aos 30 DAT, as alfaces ainda estão em intenso crescimento, o que permite seu metabolismo reagir às adversidades da competição do consórcio. Ao final do ciclo, ambas as cultivares de alfaces apresentaram decréscimo no teor de pigmentos, conforme se aumentava a densidade populacional do pepino no consórcio. Entretanto, a cultivar 'Lucy Brown' sempre apresentou o teor de pigmentos maior que a cultivar 'Vanda', resultante do crescimento estável nesta fase da cultura (FU; LI; WU, 2012; ZHANG et al., 2015).

Fv/Fm é um dos parâmetros de fluorescência mais importantes, pois reflete a eficiência fotoquímica máxima do centro ativo do fotossistema II (PSII) no escuro. O maior valor Fv/Fm resulta em maior eficiência de utilização da luz e maior capacidade das plantas de se adaptarem a condições de pouca luz (KONRAD et al., 2005; CHAGAS et al., 2008). A energia luminosa absorvida no PSII excita as moléculas de clorofilas ali presentes, que passam para um estado instável e rapidamente liberam parte de sua energia ao meio como calor, sem a emissão de fóton. Entretanto, a clorofila excitada pode também perder energia por fluorescência, reemitindo fótons e, assim, retornando ao estado basal. Outra parte da energia pode ser utilizada pelas reações fotoquímicas ou ainda ser transferida fracamente para o PSI, pelo contato entre moléculas de clorofilas (TAIZ et al., 2017).

A emissão de fluorescência fornece informações sobre os processos fotoquímicos do PSII. Numa condição de baixa luz, em torno de 95% dos fótons absorvidos são usados na fotoquímica, 4,5% são transformados em calor e apenas 0,5% são reemitidos como luz fluorescente. Se todos os centros de reação do PSII estiverem fechados, por um bloqueio da fotossíntese, 95 a 97% da energia podem ser dissipadas como calor e até 2,5 a 5,0% via fluorescência (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989; BÒLHAR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993). Sob condições fisiológicas normais, alguns autores relatam que os valores F_v/F_m da grande maioria das plantas C3 estão entre 0,80 e 0,84 (ROSENQVIST; VAN KOOTEN, 2003; SUASSUNA et al., 2010; FU; LI; WU, 2012), outros relatam entre 0,75 e 0,85 (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989; REIS; CAMPOSTRINI, 2008; SANTOS et al., 2010; SILVA et al., 2015).

Entretanto, todos estes autores citados concordam que o valor de F_v/F_m abaixo de 0,725 indica que a planta pode estar exposta a algum estresse ambiental, tal como a seca (QUERO et al., 2006), salinidade (PÉREZ-LÓPEZ et al., 2013), baixa ou alta temperatura (GLOWACZ et al., 2015), ou quantidade e qualidade de luz (ÖGREN; SJÖSTRÖM, 1990; GROOM; BAKER, 1992; CAUSIN; JAUREGUI; BARNEIX, 2006). Neste trabalho, a entrada reduzida de luz no consórcio, não causou redução na eficiência quântica do PSII. Entretanto, 'Lucy Brown' e 'Vanda' (aos 30 DAT) e 'Lucy Brown' (final do ciclo) apresentaram valores de F_v/F_m menores que 0,80, o que pode ser atribuído às altas temperaturas da época de cultivo que as plantas estavam submetidas, com favorecimento às cultivares 'Lucy Brown' e 'Vanda', uma vez que no consórcio tiveram F_v/F_m maior que no cultivo solteiro.

A presença de condições ambientais estressantes levam ao decréscimo característico na eficiência quântica potencial do PSII, podendo ser detectada pela queda na relação F_v/F_m (KRAUSE; WEIS, 1991; ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; KALAJI et al., 2016), conforme já mencionado. Paralela à queda da fotossíntese devido à menor eficiência fotoquímica, pode ocorrer redução na atividade de algumas enzimas do ciclo de Calvin e mudanças nas rotas bioquímicas, como acúmulo de aminoácidos e ácidos orgânicos (WRIGHT et al., 1995). Contudo, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidante composto de várias enzimas e biomoléculas (superóxido dismutase, catalase, glutational redutase, ascorbato

peroxidase, carotenoides, entre outros) responsável pela remoção do excesso de ERO devido a alterações metabólicas que podem levar, inclusive, a danos no aparato fotossintético (POLLE, 2001; GRATÃO et al., 2005; SHARMA; JHA; DUBEY, 2011; HUAMAN; CONTIN, 2016; LIMA; GRATÃO, 2016; ALVES; REIS; GRATÃO, 2016).

Os conteúdos de malondialdeído (MDA) e de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) são indicadores de estresse oxidativo nas plantas (MITTLER, 2002; GRATÃO et al., 2005; ALVES et al., 2017), e de acordo com os resultados apresentados, os conteúdos de MDA (para ambas as alfaces consorciadas) diminuíram entre 30 DAT e final do ciclo, indicando uma redução na possível condição de estresse presente (RÍOS et al., 2009). O conteúdo de H_2O_2 , em contrapartida, aumentou dos 30 DAT ao final do ciclo, o que pode ser atribuído à maior atividade da superóxido dismutase (SOD) no final do ciclo quando comparado aos 30 DAT (BARBOSA et al., 2014). Neste aspecto, a cultivar 'Vanda' apresentou tanto o conteúdo de H_2O_2 quanto a atividade de SOD, maiores que 'Lucy Brown' no final do ciclo. Entretanto, é importante ressaltar que a ação antioxidante da SOD ocorre devido a interferência direta na reação de Haber-Weiss, cujo produto final é a formação do radical hidroxila ($OH^\cdot$), que é altamente reativo (GRATÃO et al., 2005).

Menores intensidades de luz resultam em menor concentração de ERO em alface (FU et al., 2012; FU; LI; WU, 2012), indicando que o sombreamento causado pelo pepino no consórcio diminuiu as ERO em 'Vanda' e 'Lucy Brown', mas fez com que houvesse uma diminuição na produção de massa seca destas, assim como observado por Fu et al. (2012), o que é um indicador de estresse (FU; HUANG, 2001; SAIRAM; RAO; SRIVASTAVA, 2002; ROSALES et al., 2006; RÍOS et al., 2009). 'Vanda' apresentou as atividades de SOD, CAT, GR e APX (esta última, somente aos 30 DAT) maiores que 'Lucy Brown' em todas as épocas avaliadas, o que pode ter favorecido a menor perda de massa seca, quando comparados aos cultivos solteiros (FU et al., 2012).

Em nosso trabalho as concentrações de MDA de 'Vanda' aos 30 DAT quando consorciada foram em média $0,68 \text{ nmol g}^{-1}$ de MF, e de $1,38 \text{ nmol g}^{-1}$ de MF para 'Lucy Brown', e ao final do ciclo foi em média de $0,44 \text{ nmol g}^{-1}$ de MF para 'Vanda' e $0,69 \text{ nmol g}^{-1}$ de MF para 'Lucy Brown'. Alguns autores, em condições sem a adição

de agente estressor observaram que o conteúdo de MDA variou de 6 a 9 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MF (MAHMOUDI et al., 2012), e de 0,8 a 1,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (FU et al., 2012), e em média 33 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MF (AHAMMED et al., 2012), todos para alface e caracterizado por estes autores como concentrações que não causaram danos oxidativos. Uma vez que estes níveis estavam em equilíbrio para a planta, são importantes para a regulação de muitos processos benéficos às plantas (XIA et al., 2015; DEL RÍO; LÓPEZ-HUERTAS, 2016; MITTLER, 2017). Torna-se dessa forma necessário o equilíbrio dos níveis das ERO para que os processos celulares continuem normalmente. Quando as concentrações de ERO aumentam, as plantas intensificam a atividade de enzimas antioxidantes e biomoléculas (BARBOSA et al., 2014; MITTLER, 2002, 2017).

A fotossíntese é rapidamente inativada por baixas concentrações de H_2O_2 porque a fixação de CO_2 é inibida (FEIERABEND, 2005). E em nosso trabalho podemos perceber que isso aconteceu devido ao aumento da fluorescência máxima (Fm) de 30 DAT para o fim do ciclo. Como explicado anteriormente, o aumento da fluorescência significa diminuição da absorção dos fótons e maior dissipação de calor e fluorescência. Também existe uma estreita correlação entre os níveis de atividade da CAT e a taxa de fotossíntese (AMORY et al., 1992; FEIERABEND, 2005).

O modo de regulação da planta entre as diferentes enzimas de remoção de H_2O_2 é complexo (MITTLER, 2002). A atividade da GR é bastante variável entre tipos de estresses e espécies de plantas (GRATÃO et al., 2005; AHAMMED et al., 2012), pois esta é responsável pela conversão de glutathiona na forma oxidada para a forma reduzida utilizando NADPH, sendo a glutathiona reduzida correspondente ao substrato utilizado pela enzima deidroascorbato redutase na via de formação de ascorbato, que é utilizado como substrato pela APX (LIMA; GRATÃO, 2016), o que justifica a diferença na atividade da GR no final do ciclo para as duas cultivares de alface.

Em relação aos sistemas alternativos de eliminação de H_2O_2 , as CAT são distinguidas pela afinidade em relação ao H_2O_2 (FEIERABEND, 2005; GRATÃO et al., 2005). Consequentemente, as catalases fornecem ferramentas muito eficientes para a remoção e controle de altos níveis de H_2O_2 , mas são menos adequados para um ajuste fino de balanços redox sensíveis com baixas concentrações de H_2O_2 que

podem ser importantes para mecanismos regulatórios, o que justificaria não haver diferença na atividade de CAT nas cultivares de alfaces para as densidades de pepino, e ainda existe correlação de aumento da atividade da CAT com o aumento de H_2O_2 (FEIERABEND, 2005), mas que não foi detectado em nosso trabalho, mas a CAT também é sensível a quantidades altas de luz (ACEVEDO; WILLIAMSON; SCANDALIOS, 1991; FU et al., 2012). Em nosso trabalho, apesar de não ter sido detectada diferença pela análise de variância, a atividade de CAT teve valores maiores no cultivo consorciado que no solteiro, exceto para 'Lucy Brown' ao final do ciclo, porém ela pode tornar-se inativa também em temperaturas altas, e neste aspecto o verão não é a melhor época para plantio de alface (REZENDE et al., 2010), o que ocorre porque em temperaturas altas há a inativação da tradução da maioria das proteínas, e consequentemente, a tradução de catalase é inibida a 40 °C (FEIERABEND, 2005).

Outros mecanismos não estudados podem estar envolvidos na defesa antioxidante da planta, o que poderia explicar a não detecção de atividade da APX ao final do ciclo em 'Vanda'.

5 – CONCLUSÕES

O consórcio com alface e as densidades populacionais não causaram alterações fisiológicas e bioquímicas no pepino ‘Soldier’;

A concentração de H_2O_2 e as atividades de SOD, CAT e GR foram maiores em ‘Vanda’ que em ‘Lucy Brown’;

O consórcio causou estresse sobre a produção de biomassa seca das alfaces, e a perda de biomassa seca foi mais acentuada em ‘Lucy Brown’ quando consorciada que em ‘Vanda’.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, A.; WILLIAMSON, J. D.; SCANDALIOS, J. G. Photoregulation of the Cat2 and Cat3 catalase genes in pigmented and pigment-deficient maize: the circadian regulation of Cat3 is superimposed on its quasi-constitutive expression in maize leaves. **Genetics**, Baltimore, v. 127, n. 3, p. 601–607, 1991.
- AHAMMED, G. J.; WANG, M. M.; ZHOU, Y. H.; XIA, X. J.; MAO, W. H.; SHI, K.; YU, J. Q. The growth, photosynthesis and antioxidant defense responses of five vegetable crops to phenanthrene stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 80, p. 132–139, 2012.
- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.
- ALVES, L. R.; MONTEIRO, C. C.; CARVALHO, R. F.; RIBEIRO, P. C.; TEZOTTO, T.; AZEVEDO, R. A.; GRATÃO, P. L. Cadmium stress related to root-to-shoot communication depends on ethylene and auxin in tomato plants. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 134, p. 102–115, 2017.
- ALVES, L. R.; REIS, A. R.; GRATÃO, P. L. Heavy metals in agricultural soils: From plants to our daily life. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n. 3, p. 346–361, 2016.
- AMORY, A. M.; FORD, L.; PAMMENTER, N. W.; CRESSWELL, C. F. The use of 3-amino-1,2,4-triazole to investigate the short-term effects of oxygen-toxicity on carbon assimilation by *Pisum sativum* seedlings. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 15, n. 6, p. 655–663, 1992.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463–472, 2009.
- AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 104, n. 2, p. 280–292, 1998.
- BANIK, P.; SASMAL, T.; GHOSAL, P. K.; BAGCHI, D. K. Evaluation of mustard (*Brassica campestris* Var. Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 1, p. 9–14, 2000.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat: sistemas para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. 2015, 396 p.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014.

BERRY, A. D.; STALL, W. M.; RATHINASABAPATHI, B.; GREGORY, E.; CHARUDATTAN, R. Aggressivity: cucumber vs. amaranth. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 4, p. 986–991, 2006.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LÓNG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 497, 1989.

BÒLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. O. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BÒLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C.; LONG, S. P. (Eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, chap. 12, 1993. p. 193-206.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.

CABANEZ, P. A.; PEREIRA, L. R.; SILVA, S. F.; BERNARDES, C. O.; AMARAL, J. A. T. Effect of shading on the culture of radish. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 2, p. 257–262, 2015.

CARVALHO, R. F.; TAKAKI, M.; AZEVEDO, R. A. Plant pigments: The many faces of light perception. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 33, n. 2, p. 241–248, 2011.

CAUSIN, H. F.; JAUREGUI, R. N.; BARNEIX, A. J. The effect of light spectral quality on leaf senescence and oxidative stress in wheat. **Plant Science**, Shannon, v. 171, n. 1, p. 24–33, 2006.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BEZERRA NETO, F.; REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; LIMA, J. S. S. Indices of bio-agroeconomic efficiency in intercropping systems of cucumber and lettuce in greenhouse. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 12, p. 1154–1164, 2015.

CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; CANATO, G. H. D. Produtividade de alface e rabanete em cultivo consorciado estabelecido em diferentes épocas e espaçamentos entre linhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 15–19, 2007.

CHAGAS, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V.; VITORELLO, V. A.; CARRER, H. Photochemical damage and comparative performance of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in sugarcane leaves exposed to paraquat-induced oxidative stress. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, New York, v. 90, n. 3, p. 181–188, 2008.

CLEGG, R. M. Nuts and bolts of excitation energy migration and energy transfer. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE. (Eds.). **Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis**. Advances in photosynthesis and respiration series, v. 19. Netherlands: Springer. 2004. p. 83-105.

DEL RÍO, L. A.; LÓPEZ-HUERTAS, E. ROS Generation in peroxisomes and its role in cell signaling. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 57, n. 7, p. 1364–1376, 2016.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013, 353 p.

FEIERABEND, J. Catalases in plants: molecular and functional properties and role in stress defence. In: SMIRNOFF, N. (Ed.). **Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. p. 101–140.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2008. 412 p.

FRANKLIN, K. A.; WHITELAM, G. C. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n. 2, p. 169–175, 2005.

FRIDLEY, J. D. Diversity effects on production in different light and fertility environments : an experiment with. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 91, p. 396–406, 2003.

FU, J.; HUANG, B. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 45, n. 2, p. 105–114, 2001.

FU, W.; LI, P.; WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 135, p. 45–51, 2012.

FU, W.; LI, P.; WU, Y.; TANG, J. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. **Horticultural Science**, Prague, v. 39, n. 3, p. 129–134, 2012.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higherplants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.

GILIBERTO, L.; PERROTTA, G.; PALLARA, P.; WELLER, J. L.; FRASER, P. D.; BRAMLEY, P. M.; FIORE, A.; TAVAZZA, M.; GIULIANO, G. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 137, n. 1, p. 199–208, 2005.

GLOWACZ, M.; MOGREN, L. M.; READE, J. P. H.; COBB, A. H.; MONAGHAN, J. M. High- but not low-intensity light leads to oxidative stress and quality loss of cold-stored baby leaf spinach. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 95, n. 9, p. 1821–1829, 2015.

GOMES-JÚNIOR, R. A.; GRATÃO, P. L.; GAZIOLA, S. A.; MAZZAFERA, P.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Selenium-induced oxidative stress in coffee cell suspension cultures. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 34, n. 5, p. 449–456, 2007.

GRATÃO, P. L.; MONTEIRO, C. C.; TEZOTTO, T.; CARVALHO, R. F.; ALVES, L. R.; PETERS, L. P.; AZEVEDO, R. A. Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants. **BioMetals**, Oxford, v. 28, n. 5, p. 803–816, 2015.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 32, n. 6, p. 481–494, 2005.

GROOM, Q. J.; BAKER, N. R. Analysis of light-induced depressions of photosynthesis in leaves of a wheat crop during the winter. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 100, n. 3, p. 1217–1223, 1992.

HAO, X.; PAPADOPOULOS, A. P. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 80, n. 1–2, p. 1–18, 1999.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 125, n. 1, p. 189–198, 1968.

HEUVELINK, E. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 64, n. 3, p. 193–201, 1995.

HOVI-PEKKANEN, T.; TAHVONEN, R. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 116, n. 2, p. 152–161, 2008.

HUAMAN, C. A. M.; CONTIN, D. R. Interface estresse fisiológico e a nutrição de plantas. In.: PRADO, R. M. P.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2016. p. 151-178.

IPE AGROCOMERCIAL. **Pepino Soldier**. Disponível em <<http://cyberrv.wixsite.com/ipeagrocomercial/takii?lightbox=i91mp7>> Acessado em 27/07/2016.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; ŁUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R. J. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 38, n. 4, p. 102–112, 2016.

KIM, G.-T.; YANO, S.; KOZUKA, T.; TSUKAYA, H. Photomorphogenesis of leaves: shade-avoidance and differentiation of sun and shade leaves. **Photochemical & Photobiological Sciences**, Cambridge, v. 4, n. 9, p. 770–774, 2005.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339–347, 2005.

KRAUS, T. E.; MCKERSIE, B. D.; FLETCHER, R. A. Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 145, n. 4, p. 570–576, 1995.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, n. 1, p. 313–349, 1991.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, New York, v. 148, n. C, p. 350–382, 1987.

LIMA, L. W.; GRATÃO, P. L. Resposta das plantas sob estresse por toxicidade. In.: PRADO, R. M. P.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2016. p. 179-195.

LITHOURGIDIS, A. S.; DORDAS, C. A.; DAMALAS, C. A.; VLACHOSTERGIOS, D. N. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 5, n. 4, p. 396–410, 2011.

MAHMOUDI, H.; MASSOUD, R. B.; BAATOUR, O.; TARCHOUNE, I.; SALAH, I. B.; NASRI, N.; ABIDI, W.; KADDOUR, R.; HANNOUFA, A. A.; LACHAËL, M.; OUERGHI, Z. Influence of different seed priming methods for improving salt stress tolerance in lettuce plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 35, n. 12, p. 1910–1922, 2012.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, n. 9, p. 405–410, 2002.

MITTLER, R. ROS Are Good. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 11–19, 2017.

MOLDES, C. A.; MEDICI, L. O.; ABRAHÃO, O. S.; TSAI, S. M.; AZEVEDO, R. A. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 30, n. 4, p. 469–479, 2008.

MONTILLET, J.-L.; CHAMNONGPOL, S.; RUSTÉRUCCI, C.; DAT, J.; VAN DE COTTE, B.; AGNEL, J.-P.; BATTESTI, C.; INZÉ, D.; VAN BREUSEGEM, F.; TRIANTAPHYLIDÈS, C. Fatty acid hydroperoxides and H_2O_2 in the execution of hypersensitive cell death in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 138, n. 3, p. 1516–1526, 2005.

MORAIS, P. L. D.; DIAS, N. D. S.; ALMEIDA, M. L. B., SARMENTO, J. D. A.; SOUSA NETO, O. N. Qualidade pós-colheita da alface hidropônica em ambiente protegido sob malhas termorefletoras e negra. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 638–644, 2011.

ÖGREN, E.; SJÖSTRÖM, M. Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. **Planta**, Berlin, v. 181, n. 4, p. 560–567, 1990.

PÉREZ-LÓPEZ, U.; MIRANDA-APODACA, J.; MUÑOZ-RUEDA, A.; MENA-PETITE, A. Lettuce production and antioxidant capacity are differentially modified by salt stress and light intensity under ambient and elevated CO_2 . **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 170, n. 17, p. 1517–1525, 2013.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate- glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. computer simulations as a step towards flux analysis. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 126, n. 1, p. 445–462, 2001.

QUERO, J. L.; VILLAR, R.; MARAÑÓN, T.; ZAMORA, R. Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: Physiological and structural leaf responses. **New Phytologist**, Oxford, v. 170, n. 4, p. 819–834, 2006.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo “formosa” cultivado em condição de campo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 815–822, 2008.

REZENDE, B. L. A.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVA, G. S.; BARBOSA, J. C.; FELTRIM, A. L. Consórcios de alface crespa e pepino em função da população do pepino e época de cultivo. **Interciência**, Caracas, v. 35, n. 5, p. 374–379, 2010.

RÍOS, J. J.; BLASCO, B.; CERVILLA, L. M.; ROSALES, M. A.; SANCHEZ-RODRIGUEZ, E.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Production and detoxification of H_2O_2 in lettuce plants exposed to selenium. **Annals of Applied Biology**, London, v. 154, n. 1, p. 107–116, 2009.

ROLIM, G. S. **Dados meteorológicos**, 2017. UNESP-Jaboticabal. Disponível em: < <http://www.fcav.unesp.br/#!/estacao> > Acessado em 28/08/2017.

ROSALLES, M. A.; RUIZ, J. M.; HERNÁNDEZ, J.; SORIANO, T.; CASTILLA, N.; ROMERO, L. Antioxidant content and ascorbate metabolism in cherry tomato exocarp in relation to temperature and solar radiation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, n. 10, p. 1545–1551, 2006.

ROSENQVIST, E.; VAN KOOTEN, O. Chlorophyll fluorescence: A general description and nomenclature. In: DEELL, J. R.; TOIVONEN, P. M. A. (Eds.). **Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology**. New York: Springer. 2003. p. 31-77.

SAIRAM, R. K.; RAO, K. V; SRIVASTAVA, G. C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**, Shannon, v. 163, n. 5, p. 1037–1046, 2002.

SAKATA SEED SUDAMERICA. **Vanda**. 2014. Disponível em: <<http://www.sakata.com.br/produtos/hortalicas/folhosas/alface>> Acessado em 17/Nov./2014

SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J. Photosynthetic measurements in lettuce submitted to different agroindustrial residue composting. **Applied Research & Agrotechnology**, Nata, v. 3, n. 3, p. 103–112, 2010.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S. Oxidative stress and antioxidative defense systems in plants growing under abiotic stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of Plant and Crop Stress**. 3 ed. Boca Raton, CRC Press. 2011. p. 89–138.

SHI, Q.; ZHU, Z.; LI, J.; QIAN, Q. Combined effects of excess mn and low ph on oxidative stress and antioxidant enzymes in cucumber roots. **Agricultural Sciences in China**, Beijing, v. 5, n. 10, p. 767–772, 2006a.

SHI, Q.; ZHU, Z.; XU, M.; QIAN, Q.; YU, J. Effect of excess manganese on the antioxidant system in *Cucumis sativus* L. under two light intensities. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 1–3, p. 197–205, 2006b.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015.

SINOQUET, H.; CALDWELL, R. M. Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. (Eds.). **Ecophysiology of tropical intercropping**. Paris: INRA Editions, 1995. p. 79–98.

SMIRNOFF, N. Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and functions. In: _____ (Ed.). **Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. p. 53–86.

SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; SHIRLEY, M.; COSTA, S.; FERNANDES, P. D.; PEREIRA, V. M.; ERIC, M.; BRITO, B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 566–571, 2010.

SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, R. S.; SOUSA, M. S. S. Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1251–1262, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 858 p.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarole, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 168-169. (Boletim técnico 100). (a)

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B.; NAGAI, H. Abobrinha ou abóbora de moita; abóbora rasteira, moranga e híbridos; bucha e pepino. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 165. (Boletim técnico 100). (b)

VANDERMEER, J. H. **The Ecology of Intercropping**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

WEIGELT, A.; JOLLIFFE, P. Indices of plant competition. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 91, n. 5, p. 707–720, 2003.

WILLEY, R. W. Intercropping – its importance and research needs. Part 1 – Competition and yield advantage. **Field Crops Abstracts**, Wallingford, v. 32, n. 2, p. 1-10, 1979.

WILLIAMS, A. C.; MCCARTHY, B. C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs. **Ecological Research**, Iboraki, v. 16, n. 1, p. 29–40, 2001.

WRIGHT, D. P.; BALDWIN, B. C.; SHEPHARD, M. C.; SCHOLLES, J. D. Source-sink relationships in wheat leaves infected with powdery mildew. II. Changes in the regulation of the Calvin cycle. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 47, n. 4, p. 255–267, 1995.

XIA, X.-J.; ZHOU, Y.-H.; SHI, K.; ZHOU, J.; FOYER, C. H.; YU, J.-Q., Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 10, p. 2839–2856, 2015.

ZHANG, G.; SHEN, S.; TAKAGAKI, M.; KOZAI, T.; YAMORI, W. Supplemental upward lighting from underneath to obtain higher marketable lettuce (*Lactuca sativa*) leaf fresh weight by retarding senescence of outer leaves. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, n. December, p. 1–9, 2015.

ZHOU, X.; YU, G.; WU, F. Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, n. 5, p. 279–287, 2011.