

MODELAGEM NAS INTERAÇÕES

PLANTAS DANINHAS X CULTIVADAS

PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI' Professor Doutor do Departamento de Produção Vegetal, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

TELMA PASSINI ' Pesquisadora do Instituto Agronômico do Paraná, IAPAR, Bolsista CNPq, aluna do curso de Pós-graduação da ESALQ/USP em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, nível de Doutorado.

1. RESUMO

Os estudos de competição entre culturas e plantas daninhas podem ser usados para previsão das perdas de produtividade das culturas causadas pelas plantas daninhas e para determinar o nível ótimo de controle ou os períodos críticos de controle. A competição é um fenômeno complexo, regulado por fatores biológicos, ambientais, edáficos e principalmente pela proximidade entre os indivíduos em competição. A proximidade entre os indivíduos é regulada essencialmente pela densidade das plantas, proporção entre as espécies em competição e arranjo espacial entre os indivíduos. Esses três fatores são de fundamental importância para o entendimento do processo competitivo de forma mecanística, podendo a importância de cada um ser determinada por diversos métodos experimentais. Neste tópico, cada método é descrito destacando-se suas vantagens e desvantagens. Esta revisão também tem como objetivo, relacionar os tipos de modelos desenvolvidos para quantificar as interações entre plantas daninhas e culturas e citar as possibilidades de uso desses modelos para melhorar os sistemas de manejo das plantas daninhas.

Palavras chaves: planta daninha, competição, modelos matemáticos

2. ABSTRACT

Weed and crop competition studies can be used to predict yield losses from weed presence and to determine optimum levels of control and critical period of competition. Competition is a complex phenomenon that is controlled by biological, environmental, edaphic and mainly by proximity among plants in competition. The factors of proximity include plant density, species proportion, and spatial arrangement among individuals. These three factors are important to understand the competition process in a more mechanistic way, and the importance of each can be determined through several experimental methods. In this topic, each method is described listing the advantages and disadvantages of using them. This literature review has also the objective to show the kinds of models developed to quantify the interaction among plants and weeds, through mathematical models and cite the possibilities of applying these models in the improvement of weed management systems.

Keywords: weed, competition, and mathematical model.

3. INTRODUÇÃO

A competição entre plantas é parte fundamental na ecologia dos vegetais. A palavra competição é oriunda do latim "competere" que significa pedir ou lutar por alguma coisa que alguém também esteja requisitando. Existem referências sobre competição das plantas daninhas com as cultivadas desde épocas muito remotas, tais como as encontradas na Bíblia, (ESc: São Mateus, 11:3-7, "e quando semeava, uma parte da boa semente caiu sobre os espinhos: e cresceram os espinhos, e estes a afogaram"). A literatura é rica em estudos de competição que quantificam os efeitos de uma espécie vegetal sobre outra; no entanto, nenhum deles explica a competição e os mecanismos pelos quais ela ocorre.

O manejo de plantas daninhas é um dos problemas chave na maioria dos sistemas agrícolas, sendo o uso de herbicidas um dos principais fatores que permitiram a intensificação da

agricultura e colocação do paraquat no mercado brasileiro na década de 70, responsável pela expansão do sistema de plantio direto no país. No entanto, a necessidade de reduzir custos, a conscientização para a preservação ambiental e, mais recentemente, a preocupação com o aparecimento de espécies de plantas daninhas aos herbicidas, resultaram em uma busca pela racionalização do uso desses produtos. Nessa busca o interesse se voltou para o manejo de populações de plantas daninhas. Porém, o desenvolvimento de sistemas de manejo para controle de populações de plantas daninhas requer amplo conhecimento das interações entre as plantas daninhas e a cultura durante a safra corrente, mas também, o conhecimento da dinâmica das populações de plantas daninhas de uma safra para outra.

No Brasil são raros os trabalhos de pesquisa que fornecem ao mesmo tempo, dados para o estabelecimento de sistemas de produção, envolvendo rotações e consórcios de culturas, e dados de controle ou de alterações nas populações de plantas daninhas em função dos sistemas utilizados. Recentemente, foram publicados resultados de alterações no banco de sementes devido ao efeito de determinados tratamentos.

Neste capítulo será abordado aspectos referentes a perspectivas correntes nos estudos de competição entre plantas e uso de modelos matemáticos para avaliação da competição. Um objetivo é revisar os métodos usados para estudo de competição em agricultura, e descrever nosso entendimento das associações planta daninha/planta cultivada com base ecológica. O segundo objetivo é relacionar os tipos de modelos desenvolvidos para quantificar as interações entre plantas daninhas e cultura, e citar as possibilidades de uso desses modelos para melhorar os sistemas de manejo de plantas daninhas. É importante ressaltar que a maioria dos exemplos e situações descritas nesta revisão não são relacionados com a cultura da cana-de-açúcar, pois não foram encontrados exemplos disponíveis para esta cultura.

4. MÉTODOS DE ESTUDOS DAS INTERAÇÕES COMPETITIVAS

A determinação das interações competitivas entre espécies de plantas requer delineamentos experimentais e métodos de análise apropriados (Roush et al., 1989). Estas interações competitivas são afetadas por diversos fatores. Pietelli (1985) relata um modelo esquemático destes fatores através de uma adaptação do modelo de Bleasdale (1960). Dentre os fatores ligados à comunidade infestante, a densidade de plantas é sem dúvida um dos mais importantes, de tal forma que quanto maior for a densidade da comunidade infestante, e portanto maior a quantidade de indivíduos que disputam os mesmos recursos do meio, mais intensa será a competição sofrida pela cultura.

Nas áreas de produção agrícola, a densidade das plantas cultivadas é mantida constante, ao passo que a densidade das plantas daninhas varia de acordo com o grau de infestação encontrado no local. Desta forma, ocorre logicamente uma variação da proporção entre a densidade de espécies daninhas e da cultura. Assim, é importante, nos estudos de competição, não apenas medir a influência da densidade no processo competitivo, mas também a importância da variação na proporção entre as espécies.

Segundo levantamento feito por Zimdahl (1980) em mais de 600 trabalhos científicos publicados sobre competição de plantas daninhas com culturas, todos eles quantificam a interferência que as plantas daninhas provocaram nas culturas, sem se preocupar com a compreensão do processo de competição. No Brasil, a maioria das pesquisas sobre competição entre plantas daninhas e cultivadas determinam o período crítico de competição (Christoffoleti, 1988). Existem diversas metodologias usadas para estudar a competição entre plantas (Roush et al. 1989); no entanto, deve-se destacar a importância em se utilizar delineamentos experimentais e metodologias de análise que procurem entender o processo competitivo de forma mecânica, e não apenas quantificar as perdas. Para exemplificar, pode-se citar Christoffoleti & Victoria Filho (1996) desenvolveram uma pesquisa no Brasil com o objetivo principal de descrever as interações

competitivas e os índices de competitividade entre plantas de milho (*Zea mays* L.) e caruru (*Amaranthus retroflexus*). O experimento foi conduzido segundo o método substitutivo, e analisado através do método da produção recíproca. O milho foi um competidor muito mais agressivo que o caruru, sendo que para a planta cultivada a competição intraespecífica foi muito mais importante que a competição interespecífica. O contrário é verdadeiro para o caruru, ou seja, a competição interespecífica é mais importante que a intraespecífica.

Qualquer pessoa interessada em conduzir uma pesquisa na área de competição entre plantas, independente de seu objetivo, deve conhecer as metodologias apropriadas, sendo importante analisar as vantagens e desvantagens de cada um e sua aplicação. Assim, a seguir, são descritos os principais métodos: aditivo, substitutivo e sistemático.

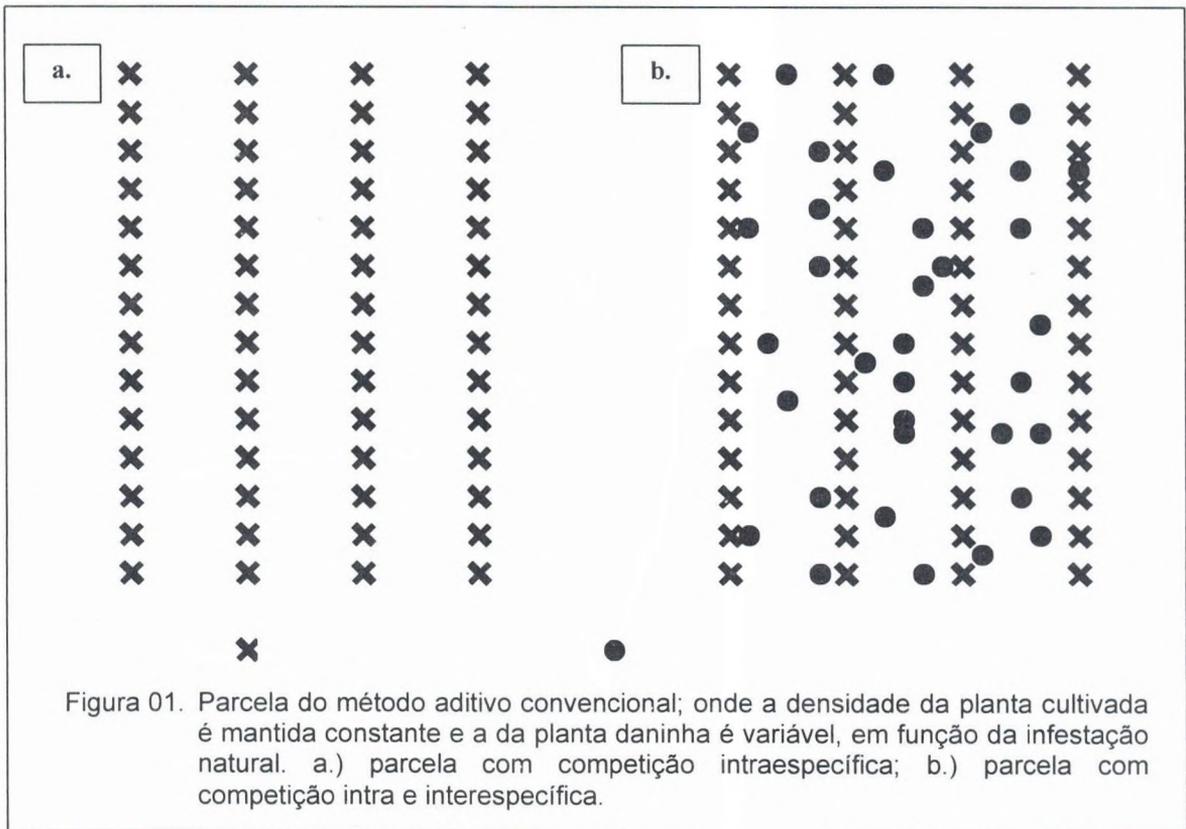
4.1. Método aditivo

Uma descrição detalhada sobre os experimentos aditivos, além de outros delineamentos experimentais pode ser encontrada em Haper (1977) e Oliver e Buchanan (1986). No experimento aditivo várias espécies convivem numa mesma área. A densidade de uma delas é mantida constante e da outra é variável. Normalmente, a cultura é mantida na densidade recomendada e constante em todos os tratamentos, ao passo que a densidade das plantas daninhas é variável. Existem diversas variações do método aditivo: convencional, parcelas pareadas, área de influência e microparcels.

4.1.1. Método aditivo convencional

A densidade da cultura é mantida constante enquanto que a densidade das plantas daninhas é variável (figura 01), normalmente a infestação natural da área experimental. Neste caso não se analisa o efeito da competição individual de cada espécie daninha mas o efeito competitivo da comunidade de plantas daninhas como um todo, sobre a cultura.

O método aditivo convencional é o principal tipo de experimento utilizado para quantificar as perdas de produtividade em função do período de competição. Na figura 02 podem ser observados os resultados de um experimento para se determinar o período crítico de competição entre a cultura da cana-de-açúcar e a comunidade de plantas daninhas que ocorreu naturalmente na área.



Com relação ao período de competição existem duas perguntas que normalmente são feitas. A primeira refere-se ao efeito que a planta daninha causa se esta germina juntamente com a cultura e deixada conviver com a cultura por um determinado período? Depois disso a cultura é mantida livre de competição pelo resto do ciclo. A segunda refere-se ao efeito quando a cultura é

mantida livre da competição das plantas daninhas desde a emergência até um determinado período, e depois as plantas são deixadas desenvolver pelo resto do ciclo da cultura? Normalmente este tipo de resposta tem sido obtido através deste método descrito. Segundo Christoffoleti (1988), para a região Centro-Sul do Brasil, o período crítico de competição entre as diversas modalidades de cultivo da cana-de-açúcar e as plantas daninhas ocorre da seguinte maneira: cana-planta ciclo de 12 meses (30 ao 90 dias após o plantio), cana-planta com ciclo de 18 meses (30 aos 120 dias após o plantio) e cana-soca (30 aos 60 dias após o plantio).

Dentre as vantagens de utilização deste método experimental de estudo da competição entre plantas destacam-se: a.) pode ser instalado em condições normais de campo; b.) excelente

PERÍODO DE CONVIVÊNCIA	% DE PERDAS	
30 dias após o plantio	0,9	
60 dias após o plantio	10,2	
90 dias após o plantio	34,5	
120 dias após o plantio	78,9	
todo o ciclo	83,4	Período crítico de controle das
PERÍODO DE CONTROLE		plantas daninhas, 30 a 90 dias após o plantio
30 dias após o plantio	37,0	
60 dias após o plantio	11,7	
90 dias após o plantio	2,4	
120 dias após o plantio	1,8	
todo o ciclo	0,0	

Figura 02. Período crítico de competição entre plantas daninhas e a cultura da cana-de-açúcar, plantio de ano, com ciclo de 12 meses (Rolim & Christoffoleti, 1982.).

para determinação do período crítico de competição; c.) condução bastante fácil do ensaio; d.) podem ser estudado vários tipos de espaçamento entre linhas das culturas. Como desvantagens podem ser listadas: a.) é muito difícil determinar as relações específicas de competição entre as plantas; b.) sem nenhum controle da densidade e proporção total das plantas daninhas: b.1.) é impossível interpretar os efeitos isolados das densidades e proporção das plantas daninhas presentes; b.2.) é impossível separar o efeito da competição intra da interespecífica.

4.1.2. Método aditivo parcelas pareadas

É feito através da colocação de uma parcela com cultura sem a presença da planta daninha ao lado de uma parcela em competição. É usado principalmente para eliminar a variabilidade de infestação das plantas daninhas em uma área. As plantas daninhas normalmente infestam as áreas de cultura de uma forma bastante desuniforme, na forma de reboleiras principalmente. Assim, quando uma experimentação de competição é feita em uma área, uma única testemunha não representa a infestação em toda a área. Desta forma, a colocação de uma testemunha ao lado de cada parcela elimina o erro que a desuniformidade de infestação pode causar (figura 03).

Vantagens do método aditivo das parcelas pareadas: a.) usado para áreas com grande variabilidade na infestação e com plantas daninhas perenes; b.) menor variabilidade experimental; c.) não há necessidade do controle da densidade; d.) menor trabalho para a condução do ensaio. Desvantagens do método a.) densidade das plantas daninhas variam durante a condução do ensaio; b.) não existe controle da densidade das plantas daninhas, e portanto não é possível medir a variação intra e interespecífica entre as espécies estudadas.

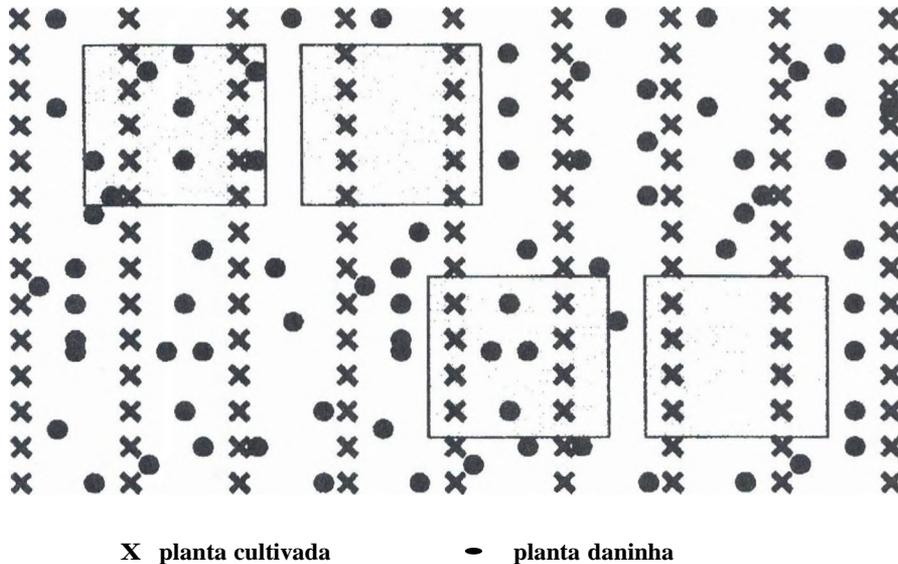
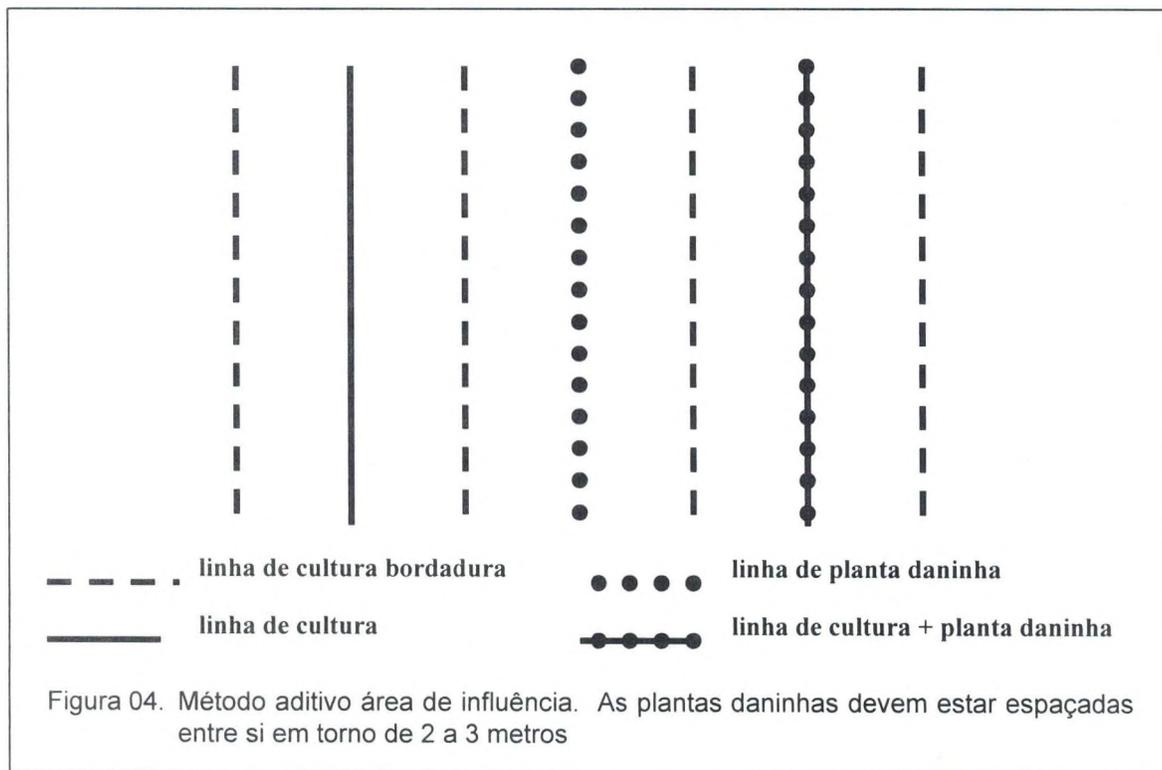


Figura 03. Parcela do método aditivo parcelas pareadas; onde a parcela com infestação natural de plantas daninhas é pareada com uma testemunha sem a presença da planta daninha.

4.1.3. Método aditivo área de influência

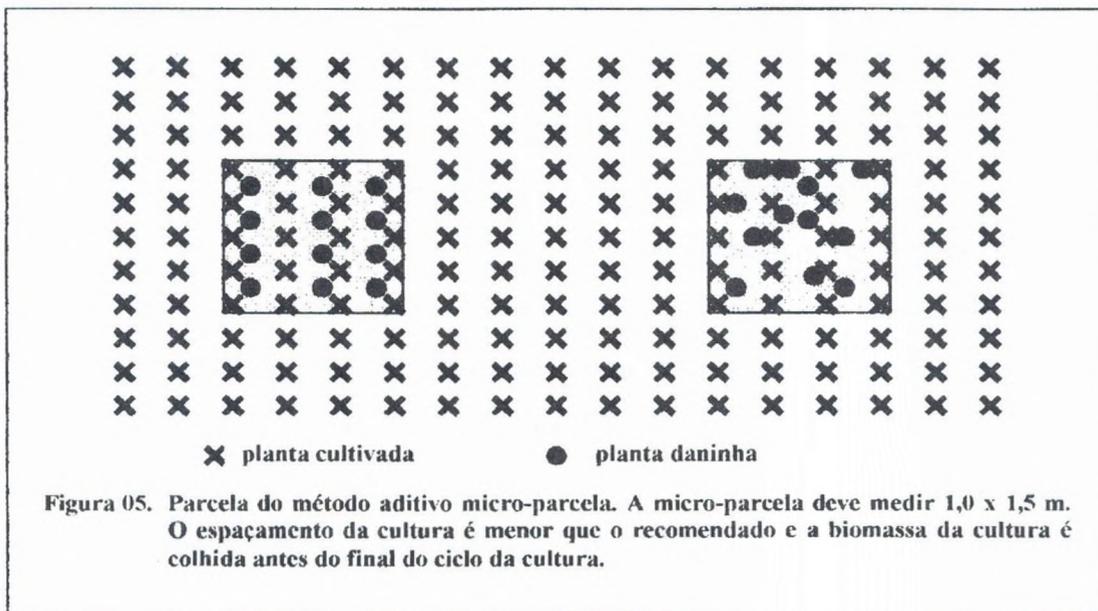
Este é um método mais utilizado para avaliar o efeito individual de cada planta daninha na cultura. As plantas daninhas são espaçadas de tal forma que não existe competição intraespecífica. As plantas daninhas são dispostas criteriosamente a distâncias de 2 a 3 metros entre si, e a planta cultivada em seu espaçamento normal. Na colheita final do experimento são avaliadas as plantas individuais da cultura em intervalos regulares de distância da planta daninha, normalmente a 0; 12,5; 25; 50; 75 e 100 cm de cada lado da planta daninha. O esquema apresentado na figura 04 mostra como deve ser executado a instalação do experimento. Este delineamento experimental encontra-se descrito de forma detalhada no experimento desenvolvido por Goldberg e Werner, 1983.

Dentre as vantagens da utilização deste método destacam-se: a.) determinação adequada



da influência individual das plantas daninhas sobre cada planta cultivada; b.) é um bom método para desenvolvimento de modelos de simulação em computador. Como desvantagens, ressalta-se a.) variabilidade entre plantas daninhas pode mascarar os resultados; b.) época de germinação e emergência relativa das plantas daninhas em relação a planta cultivada; c.) área testemunha para a cultura deve estar próxima da planta daninha e da parcela para que não ocorra muita variabilidade nos dados.

4.1.4. Método aditivo microparcela



Este método possibilita analisar a biomassa da cultura e das plantas daninhas em pequenas parcelas. A cultura é plantada em espaçamento mais estreito que o recomendado e as plantas daninhas são semeadas nas microparcelas, uniformemente ou aleatoriamente, porém a uma densidade definida (figura 05). A análise da biomassa permite a determinação da competitividade ou índice de competição das várias espécies de plantas daninhas. O esquema representado na figura 05 mostra a disposição das parcelas no campo.

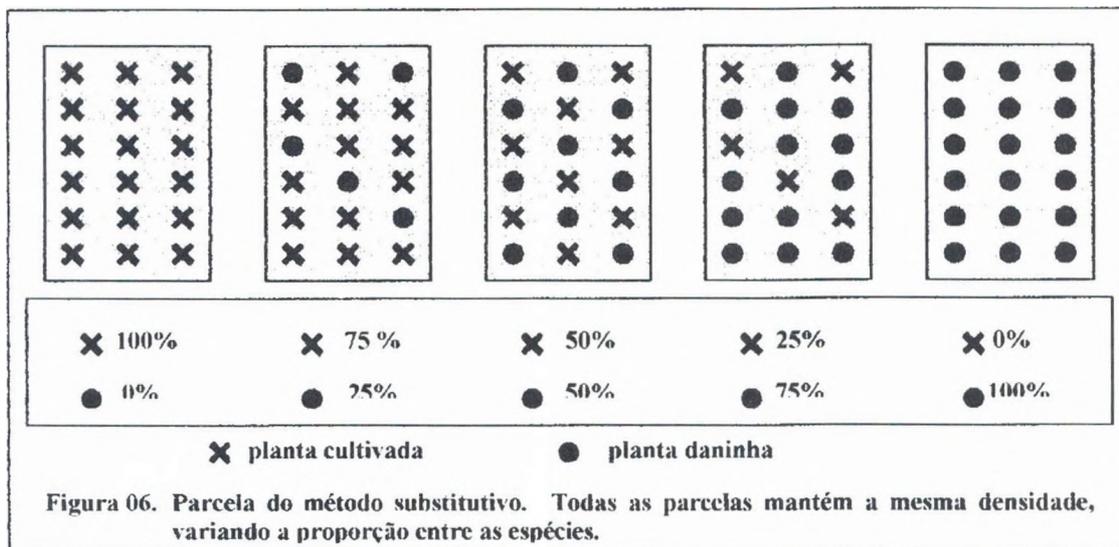
Como vantagens do método pode ser ressaltado: a.) utiliza área pequena; b.) maior quantidade de dados para um grande número de espécies e em um curto espaço de tempo; mais econômico para sua instalação no campo. As desvantagens são: a.) não é diretamente aplicável para soluções reais de campo; b.) produção final das parcelas não é avaliada; c.) necessita de verificação da relação entre a redução de biomassa e produtividade.

4.2. Método substitutivo

Os experimentos substitutivos são delineados de tal maneira que existe um controle da densidade e proporção das espécies em estudo (Harper, 1977 e Wit, 1960), mantendo constante a densidade e variando as proporções das duas espécies (figura 06). Neste tipo de experimento assume-se que a densidade total das plantas é suficientemente grande para satisfazer a chamada "lei da produção final constante", ou seja, a produção de biomassa por unidade de área é independente da densidade das plantas naquela área.

A interpretação dos dados de um experimento substitutivo resulta na medida da competitividade das espécies baseada na resposta relativa da produção de biomassa pela variação da proporção (Harper, 1977, McGilchrist & Trenbath, 1974 e Wit & Van Den Berg, 1965). É possível calcular equações matemáticas e representações gráficas onde se estabelecem índices de competição intra e interespecífica e de diferenciação de nicho ecológico (Spitters, 1983 e Joliffe et al. 1984).

A figura 07 representa os possíveis resultados da mistura de duas espécies em competição. É importante que este tipo de experimento seja conduzido em uma densidade total que esteja na faixa da produção final constante, ou seja na capacidade de suporte do ambiente (Radosevich, 1987 e Roush et al. 1989).



A interpretação dos resultados de um experimento substitutivo pode ser feita de duas formas distintas. A primeira é chamada de convencional, onde é usada a produção relativa de cada espécie em relação à monocultura. Na figura 07, no modelo I, a interpretação é de que a habilidade de cada espécie em interferir entre si é equivalente; isto é, cada espécie contribui para a biomassa total produzida na proporção direta de sua presença na mistura. Nos modelos Iia e Iib, uma espécie é mais agressiva que a outra e contribui mais que o esperado para a produção total, enquanto que a outra contribui menos que o esperado. Isto é o modelo de competição. Nas duas combinações, uma curva é côncava e a outra é convexa, indicando que a interação entre as espécies é pelos mesmos recursos e que uma espécie é mais agressiva na conquista destes recursos que a outra. No modelo III nenhuma das espécies contribui com a quantidade esperada de biomassa para a biomassa total. A produção das duas espécies na mistura é menor que aquela obtido quando as duas espécies são cultivadas isoladamente. Este tipo de modelo representa um antagonismo mútuo e a produtividade máxima só é obtida com as monoculturas.

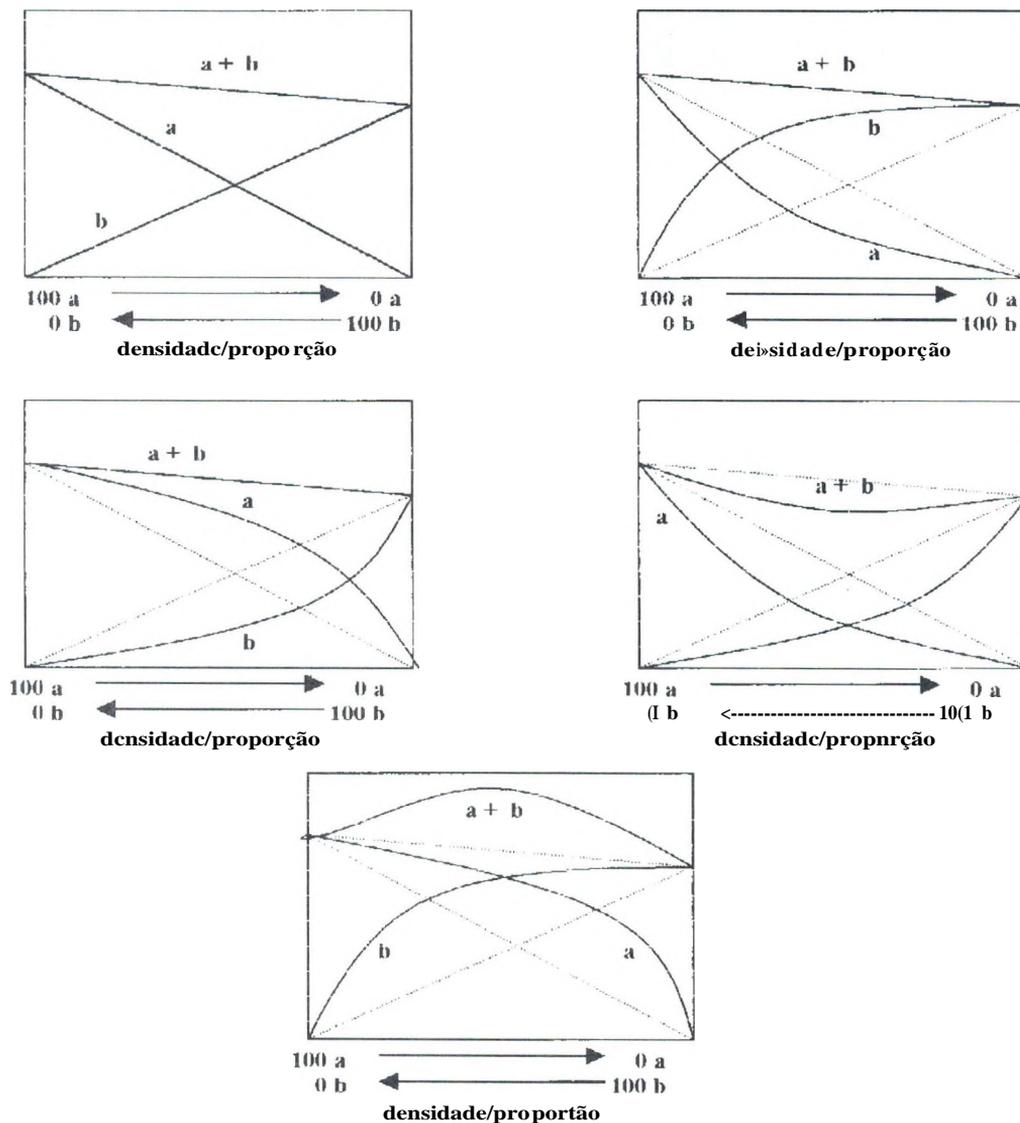


Figura 07. Possíveis resultados de uma experimento substitutivo, retirado de Harper (1977).
 Y ~ produção relativa

Benefícios mútuos são obtidos no modelo IV pois ambas as espécies na mistura produzem mais do que o esperado nas monoculturas. Este modelo é chamado de simbiose, embora pode também ser interpretado que as espécies não tem grande sucesso em evitar uma a outra. Este tipo de situação pode ocorrer entre planta daninha e cultura, mas o ideal é que isto ocorra em uma consorciação de culturas. Uma vez que, nos experimentos substitutivos, a densidade total das plantas é mantida constante enquanto que as proporções é que variam, então, estas duas variáveis são confundidas durante a análise dos dados proveniente dos experimentos. O arranjo espacial entre as plantas é uniforme. Desta forma, diversas informações podem ser derivadas à partir do estudo da interação entre as espécies em estudo. Na Ciência das Plantas Daninhas é possível estudar as tendências na mudança populacional das espécies, além da agressividade entre as espécies nos agroecossistemas. A segunda forma de interpretação dos dados de experimentos substitutivos é derivada de Joliffe et al. 1984, que permite a quantificação da contribuição da competição intra e interespecífica entre as espécies em mistura. Este tipo de análise foi derivada da curva de produção de biomassa em função da densidade descrita por Hozumi et al. (1956) e Shinozaki & Kira (1956) (citados por Roush et al. 1989), e com pequenas modificações por Wit (1960). Para uma espécie, a equação de resposta da produção em função da densidade das plantas formam:

$$Y = \frac{N}{K_n + N}$$

e da forma linearizada recíproca dupla.

$$\frac{1}{Y_{\max}} = \frac{1}{Y_{\max}} + \left(\frac{1}{N}\right)$$

Nestas equações, Y é produção/unidade de área, Ymax é a máxima produção obtida com um determinado estande de plantas em que a produção final é constante, N é a densidade das plantas, e Kn representa a densidade em que 50% da produção final constante (Ymax) é atingida. Por analogia, quando duas espécies estão em mistura temos a equação linear da seguinte forma:

$$\frac{1}{Y_1} = A_{1,0} + B_{1,1} x \frac{1}{N_1} + B_{1,2} x \frac{1}{N_2}$$

Onde $A_{1,0}$ = Ymax da espécie 1 em monocultura, $B_{1,j}$ = coeficiente de competição intraespecífica da espécie 1 e $B_{1,2}$ = coeficiente de competição interespecífica entre as espécies 1 e 2. Da mesma forma a equação da espécie 2 é:

$$\frac{1}{Y_2} = A_{2,0} + B_{2,1} x \frac{1}{N_1} + B_{2,2} x \frac{1}{N_2}$$

Através destas equações pode-se então calcular os seguintes índices:

Competitividade da spp1 (C_1), da espécie 2 (C_2), e o índice de diferenciação de nicho ecológico respectivamente:

$$C_1 = \frac{B_{1,1}}{B_{1,2}} \quad C_2 = \frac{B_{2,2}}{B_{2,1}} \quad IDN = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

Dentre as vantagens do método substitutivo destacam-se: a.) ideal para elaboração de modelos matemáticos de competição entre plantas; b.) normalmente é utilizado em estudos de casa-de-vegetação; c.) excelente para determinação da competitividade das espécies de plantas daninhas; d.) excelente para determinação de parâmetros específicos de competição entre plantas. Como desvantagens podem ser citados: a.) não é diretamente aplicável aos problemas de controle das plantas daninhas; b.) muito difícil de ser conduzido em condições de campo.

4.3. Método sistemático

A densidade e a proporção entre as espécies é variável, porém o arranjo espacial entre as espécies é mantido constante. Uma das formas simples de representar este delineamento experimental com duas espécies de plantas é o que se apresenta na tabela 01.

O método sistemático é excelente para o estudo de competição intraespecífica, além de ser possível estudar uma série de densidades sem mudar o padrão de plantio. É ideal para culturas transplantadas e nos estudos de culturas intercalares. A grande dificuldade do método é a instalação do experimento no campo, além do fato de não ser prontamente adaptável para o estudo da competição interespecífica.

Tabela 01. Representação dos tratamentos de um experimento sistemático

Densidade da espécie B	Densidade da espécie A				
	0	10	20	30	40
0	---	10/0	20/0	30/0	40/0
10	0/10	10/10	20/10	30/10	40/10
20	0/20	10/20	20/20	30/20	40/20
30	0/30	10/30	20/30	30/30	40/30
40	0/40	10/40	20/40	30/40	40/40

5. TIPOS DE MODELOS MATEMÁTICOS E SUA APLICAÇÃO EM COMPETIÇÃO DE PLANTAS DANINHAS

5.1. Modelos de regressão descritivos (empíricos)

A equação hiperbólica que relaciona produção e densidade para descrever perdas de produção em relação à densidade de uma espécie de planta daninha é o modelo de regressão mais amplamente utilizado para descrever os efeitos da competição em dado momento (Cousens, Spitters et al., citados por Kropff & Lotz, 1992).

Numa revisão apresentada por Kropff & Lotz (1992), foram mencionadas quatro modelos de perda na produção da cultura (Y_L). No primeiro, Y_L é função da densidade da planta daninha (N_w) e tem como parâmetro, a perda de produção causada pela adição da primeira planta daninha por m^2 (a) (eq. 1); no segundo, há um parâmetro adicional que descreve a perda máxima de produção (m) (eq. 2), no terceiro, a perda na produção (Y_L) é função da área foliar relativa da planta daninha (L_w , expressa como área foliar da planta daninha dividida pela soma da área foliar da cultura e da planta daninha) logo após a emergência da cultura, e um coeficiente de dano relativo (q) (eq. 3) e, no quarto, uma versão ampliada da eq. 3, desenvolvido em analogia com a eq. 2, também explica uma perda máxima de produção (m), causada pelas plantas daninhas.

$$\frac{c/N_w}{1 + i/N_w} \quad (1)$$

$$Y_L = \frac{aN_w}{1 + \frac{a}{m} N_w} \quad (2)$$

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + (q-1)L_w} \quad (3)$$

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + \left(\frac{q}{m} - 1\right)L_w} \quad (4)$$

Segundo os autores, as equações 1 e 2 ajustam bem os dados dos experimentos quando somente a densidade da planta daninha varia. Entretanto, demonstram com exemplos que os parâmetros a e m variam de forma acentuada entre os experimentos, devido aos efeitos de outros fatores sobre os processos de competição. Mencionam que, analisando os dados com um modelo ecofisiológico, observou-se que o período entre a emergência da cultura e da plantas daninha foi um dos fatores mais importantes responsáveis pela variação nos parâmetros. Acrescentam que, se ambos, densidade da planta daninha e período entre a emergência da cultura e da plantas daninha determinam a relação de competitividade entre cultura e plantas daninhas, esses dois fatores são fundamentais para uma previsão exata da perda de produção, quando as observações são feitas bem no início da cultura. A desvantagem é que, na prática, a emergência das plantas daninhas ocorre em fluxos e cada fluxo tem que ser considerado como uma espécie diferente (Kropff & Lotz, 1992).

O modelo da eq. 3 foi matematicamente derivado do modelo da eq. 1, portanto considera a densidade das plantas daninhas. Além disso, aqueles autores mencionam que, teoricamente e empiricamente, foi demonstrado que o modelo da eq. 3 também considera o período entre a emergência da cultura e das plantas daninhas o que lhe confere uma grande vantagem pois dessa forma, os fluxos de emergência da planta daninha não precisam ser manuseados separadamente.

Na mesma revisão bibliográfica, Kropff & Lotz (1992) mencionam que Kropff et al compararam os resultados da análise de dados através dos modelos descritos pelas equações 3 e 4 e observaram que a eq. 4 proporcionou uma descrição mais precisa dos efeitos da competição. Os autores concluíram que o modelo de regressão que relaciona a perda de produção com cobertura foliar relativa considera o efeito da densidade de plantas daninhas, fluxos de emergência da planta daninha e o período entre a emergência da cultura e de plantas daninhas e que, no entanto, o efeito de outros fatores como choque causado pelo transplante das mudas ou estresse severo de água, não é considerado.

5.2. Modelos ecofisiológicos

Os modelos ecofisiológicos utilizados para descrever a competição interespecífica por luz água e fontes de nutrientes foram introduzidos por Spitters & Aerts (citados por Kropff & Lotz, 1992), em 1983. Esse modelo e os que foram desenvolvidos em estudos subsequentes são baseados no princípio de que a competição é um processo dinâmico que pode ser compreendido através da distribuição dos recursos determinantes do crescimento (luz) ou dos recursos limitantes do crescimento (água e nutrientes) entre as espécies e a eficiência com que cada espécie usa esses recursos.

As entradas específicas e necessárias para os modelos ecofisiológicos incluem latitude geográfica, dados padrão diários de clima, propriedades físicas do solo, datas de emergência da cultura e planta daninha e densidade da planta daninha (Kropff & Lotz, 1992).

Os modelos ecofisiológicos descritos por Spitters & Aerts e por Kropff (citados por Kropff & Lotz, 1992) consistem em uma associação de modelos de crescimento em número igual ao de espécies que estão competindo. Sob condições favoráveis, a luz é o principal fator que determina a taxa de crescimento da cultura e suas plantas daninhas associadas. A partir do índice de área foliar (IAF) da espécie, da distribuição vertical de sua área foliar e de suas propriedades de

extinção da luz, calcula-se o perfil de luz dentro do dossel. Assume-se que a distribuição horizontal das folhas é homogênea. Com base nas características da espécie quanto a resposta fotossintética de folhas isoladas à luz, obtêm-se o perfil vertical da fotossíntese de cada espécie na mistura do dossel. A integração da altura do dossel e do dia resulta na taxa de assimilação diária para cada espécie. Após subtrair a respiração necessária para a manutenção, a taxa de crescimento líquida diária, em kg de matéria seca /ha por dia é obtida usando um fator para a transformação de carboidratos em matéria seca estrutural. A matéria seca produzida é distribuída entre os vários órgãos da planta, usando coeficientes de partição que são introduzidos como função dos estádios de desenvolvimento fenológicos da espécie. A taxa de desenvolvimento fenológico é acoplada ao modelo como uma função da temperatura média diária do ambiente. Quando o dossel ainda não está fechado, o aumento da área foliar é calculado pela temperatura média diária, uma vez que a expansão é dreno-limitada. Quando o dossel se fecha, o aumento na área foliar é obtida a partir do aumento no peso da folha, usando a área foliar específica (SLA m² folha/kg folha), uma vez que a expansão foliar é fonte-limitada nesse estágio. Integrando as taxas de crescimento diárias dos órgãos e área foliar resulta no "time course" do IAF e do peso seco durante a estação de crescimento. A taxa de crescimento em altura é calculada em função da temperatura.

Kropff & Lotz (1992) mencionam que, para considerar os efeitos de estresse por falta de água, foi introduzido no modelo, um balanço de água simples para um perfil de solo drenando livremente.

Na revisão apresentada pelos autores acima citados, foram destacados alguns pontos importantes quando da avaliação de modelos ecofisiológicos:

faltam informações dos efeitos de estresse extremo por falta de água sobre os processos fisiológicos;

a data da emergência planta daninha em relação à da cultura explicaram 96% da variação na perda de produção;

a temperatura tem efeito pronunciado nos efeitos das plantas daninhas quando estas emergem após a cultura (em baixas temperaturas, a vantagem da cultura é reduzida quando o período relativo entre a emergência da cultura e planta daninha é longo uma vez que a produção de área foliar é mais lento);

em condições favoráveis as características morfológicas (desenvolvimento do crescimento em altura e desenvolvimento da área foliar) são mais importantes que as fisiológicas (taxa de fotossíntese e respiração).

5.3. Modelos bioeconômicos

Para incentivar os produtores a implantarem sistemas de manejo de plantas daninhas, é necessário proporcionar informações que lhes permitam reduzir o custo total do manejo e, ao mesmo tempo, manter produções economicamente viáveis (Bosnic & Swanton, 1997). Um dos métodos, segundo os autores, seria o de proporcionar regras econômicas de decisão para o controle de plantas daninhas em pós-emergência.

Um modelo de decisão bioeconômico utiliza resultados experimentais, dados de campo e a opinião de especialistas para definir as relações entre plantas daninhas e culturas. Essa relação é incorporada em um modelo de otimização econômico. A maioria dos estudos de manejo econômico concentram-se em uma única espécie de plantas daninhas em uma única cultura. Alguns estudos envolveram várias espécies de plantas daninhas em uma única cultura.

Um dos problemas críticos na modelagem de várias espécies é a construção de um único índice de competição formado de múltiplos índices de plantas daninhas. Kwon et al. (1995) mencionam que dados insuficientes da dispersão para estimativas e a excessiva complexidade para a otimização matemática torna impraticável a entrada de densidades múltiplas de plantas daninhas na função, a não ser que existam algumas poucas espécies relevantes, entretanto, esse método não reflete a variação da capacidade competitiva das espécies.

6. LITERATURA CITADA

- BOSNIC, A C.; SWANTON, C.J. Economic decision rules for postemergence herbicide control of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in corn (*Zea mays*). *Weed Science*, v.45, p.557-563, 1997.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. Controle de *Brachiaria decumbens* Stapf. e de *Cyperus rotundus* L. em área de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp) através da técnica de rotação com amendoim (*Arachis hypogaea*) integrada ao uso de herbicidas. Piracicaba: ESALQ/USP, 1988, 117 p. Dissertação de Mestrado. 1988.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. ; R. VICTORIA FILHO, R. Efeitos da densidade e proporção de plantas de milho (*Zea mays* L.) e caruru (*Amaranthus retroflexus* L.) em competição. *Planta Daninha*, v.14, n.1. 1996.
- GOLDBERG, D.E.; P.A. WERNER. Equivalence of competitors in plant communities, a null hypothesis and a field experimental approach. *Am J. Bot.* v.70, n.7 p. 1098-1104. 1983.
- HARPER, J.L. Mixtures of species. I. Space and Proportions. In: H.L. HARPER. *Population Biology of Plants*. Cap. 8., Academic Press, London, 8a ed. p. 237-276. 1977.
- JOLLIFE, P A.; A N. NINJAS; V.C. RONECKLES. A reinterpretation of yield relationships in replacement series experiments. *Journal of Applied Ecology*, v.21, p. 227-243. 1984.
- KWON, T.; YOUNG, D.L.;YOUNG, F.L.; BOERBOOM, C.R. PALEED.WHEAT: A bioeconomic decision model for postemergence weed management in winter wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, v.43,p.595-603, 1995.
- KROPFF, M.J.; LOTZ, L A P. Systems approaches to quantify crop-weed interactions and their application in weed management. *Agricultural Systems*, v 40, p. 265-282, 1992.

- McGILCHRIST, C.A.; TRENBATH, B.R. A revised analysis of plant competition experiments
Biometrics, v. 27, p. 659-671. 1974.
- OLIVER, L.R.; G.A. BUCHANAN. Weed competition and economic thresholds. In: CAMPER, N D.
Research methods in weed science. Southern Weed Science Society of America, Chapter IV.
p 72- 97. 1986.
- PITELLI, R.A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. Informe Agropecuário
v.11, n.129, p.16-27, 1985.
- RADOSEVICH, S.R. Methods to study interactions among crops and weeds. Weed Technology, v.
1, p. 190-198. 1987.
- ROLIM, J.C.; P.J. CHRISTOFFOLETI. Período crítico de competição com a cana-planta de ano.
Saccharum APC, São Paulo, v.5, n 2, p. 21-26. 1982.
- ROUSH, M L.; S. RADOSEVISH; R.G. WAGNER; B. MAXWELL; T.D. PETERSON. A comparison
of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments.
Weed Science, v.37, n.2, p.268-275, 1989.
- SPITTERS, C.J.T. An alternative approach to analysis of mixed cropping experiments. I.
Estimation of competition effects. Neth. J. Agric. Sci. v. 31, p. 1-11. 1983.
- WIT, C.T. On Competition. Versl. Landbouwk. D. Onderz. v. 66, n. 8, p. 1-82. 1960
- WIT, C.T.; J. P. VAN DEN BERG. Competition between herbage plants. Neth. J. Agric. Sci. v 13,
p. 212-221. 1965.
- ZIMDAHL, R.L. Weed Crop Competition: a review. International Protection Centre - IPC, Corvallis,
Oregon 197 p. 1980.