

IMPLEMENTAÇÃO DA SELEÇÃO RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE PLANTAS AUTÓGAMAS ATRAVÉS DA MACHO-ESTERILIDADE

IMPLEMENTATION OF RECURRENT SELECTION IN PLANT BREEDING OF AUTOGAMOUS CROPS THROUGH MALE STERILITY

Paulo Cesar Canci¹ José Fernandes Barbosa Neto² Fernando Irajá Félix de Carvalho³

- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

Os sistemas de melhoramento convencionais baseados no método genealógico, utilizados principalmente em cereais de estação fria, determinam a redução da variabilidade e da capacidade de recombinação, devido a utilização de um número de genitores limitado nos cruzamentos. O incremento da probabilidade de recombinação através da seleção recorrente pelo aumento do número de cruzamentos pode ser a saída para este problema. A utilização da macho-esterilidade representa uma alternativa viável para propiciar o cruzamento natural em espécies de autofecundação, favorecendo a utilização da seleção recorrente como uma importante ferramenta para o melhoramento de plantas autógamas.

Palavras-chave: *melhoramento de populações, macho-esterilidade, polinização cruzada.*

SUMMARY

The mechanism of pedigree system used in small grain cereals reduce genetic variability and recombination capacity due to the limited number of parent used in crosses. The increase in recombination through recurrent selection by maximizing number of crosses may be a solution for this problem. The use of male sterility may overcome the difficult of performing artificial crosses.

supporting recurrent selection as a viable and important tool for autogamous crops breeding.

Key words: *population breeding, male sterility, cross polinization.*

INTRODUÇÃO

Os procedimentos utilizados rotineiramente nos programas de melhoramento têm determinado um estreitamento da base genética, tornando muitas variedades vulneráveis a condições de estresse de ambiente. Segundo JENSEN (1970), os sistemas de melhoramento convencionais baseados no método genealógico, utilizados principalmente para espécies autógamas, apresentam algumas restrições como a limitação no número de genitores empregado nos cruzamentos artificiais, causando o decréscimo da variabilidade e da capacidade de recombinação. A utilização de um número limitado de genitores resulta na formação de um pequeno "pool" gênico podendo contribuir para a eliminação de genes importantes. Da mesma forma, em populações pequenas, a variabilidade genética é baixa e a ligação de genes torna a

¹Engenheiro Agrônomo, aluno do Curso de Pós-graduação em Agronomia. Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

²Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor do Departamento de Plantas de Lavoura - Faculdade de Agronomia, UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Porto Alegre-RS, Caixa Postal 776. Autor para correspondência.

³Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor do Departamento de Fitotecnia - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, RS.

recombinação potencial muito reduzida. De maneira geral, o melhoramento convencional tem favorecido a formação de blocos de ligação através da autofecundação, reduzindo grandemente a oportunidade para a recombinação. A preocupação com a manutenção da variabilidade genética tem levado muitos autores a propor esquemas para a utilização da macho-esterilidade no melhoramento de populações de plantas autógamas e alógamas (BRIM & STUBER, 1973; SORRELS & FRITZ, 1982; PIPER & FEHR, 1987; RAO *et al.*, 1990; COX *et al.*, 1991; TINIUS *et al.*, 1992; HORNER & PALMER, 1995; KANNEMBERG & FALK, 1995). Um dos mais importantes componentes de uma população em intercruzamento é o ganho na variabilidade genética, associada a quebra de blocos de ligação, crossing over e recombinação genética (HANSON, 1959). O incremento da probabilidade de recombinação, aumentando a chance de identificar indivíduos superiores e a manutenção da variabilidade genética por um período maior de seleção são as principais vantagens da seleção recorrente (ALLARD, 1960). Com este intuito a utilização da seleção recorrente no melhoramento de plantas autógamas tem sido sugerida como alternativa para promover a recombinação genética (SORRELS & FRITZ, 1982; COX *et al.*, 1991; TINIUS *et al.*, 1992). Entretanto, a dificuldade de realizar um grande número de cruzamentos tem limitado o emprego da seleção recorrente em populações de plantas autógamas (SORRELS & FRITZ, 1982). Desta forma, a utilização de técnicas que possam incrementar o cruzamento natural em espécies de autofecundação são de grande relevância no sentido de flexibilizar a escolha de diferentes procedimentos de melhoramento. Diversos autores têm proposto a utilização da macho-esterilidade como método auxiliar na seleção recorrente para o melhoramento de diversos caracteres em plantas autógamas (BRIM & STUBER, 1973; SORRELS & FRITZ, 1982; COX *et al.*, 1991; TINIUS *et al.*, 1992). Com a utilização da macho esterilidade, isto é, a obtenção de plantas que não produzem pólen viável, seja ela obtida geneticamente ou pelo emprego de produtos gametocidas, é possível adaptar procedimentos como a seleção recorrente em plantas autógamas, vencendo as dificuldades básicas nos cruzamentos que envolvem um grande número de genitores, e deste modo, auxiliar a obtenção de genótipos superiores em programas de melhoramento. Várias revisões sobre a macho-esterilidade e o seu uso no melhoramento de plantas têm sido realizadas (HANSON & CONDE, 1985; KAUL, 1988; RAO *et al.*, 1990; HORNER & PALMER, 1995). Entretanto, a preocupação dos melhoristas ao longo das últimas décadas

tem sido voltada principalmente para a produção de sementes híbridas em plantas autógamas, e não para o desenvolvimento e uso de práticas visando a manutenção da variabilidade e o melhoramento de populações.

O objetivo deste trabalho é discutir alguns fatores importantes para a implementação da seleção recorrente em programas de melhoramento de plantas autógamas através da utilização da macho-esterilidade como técnica auxiliar no cruzamento entre um grande número de genitores.

Utilização da macho-esterilidade no melhoramento de plantas autógamas

A macho-esterilidade pode ser uma ferramenta de grande utilidade para o melhoristas de plantas em diferentes vias (PHOELMANM, 1983): (a) eliminação da emasculação, facilitando a realização de cruzamentos artificiais necessários no processo de hibridação em plantas autógamas; (b) incremento da polinização cruzada natural em plantas de autopolinização. Com a polinização manual o melhorista é muito limitado, altamente dependente de recursos e o número de polinizações possíveis de ser realizadas em uma estação de cultivo é pequena. O uso de plantas macho-estéreis pode promover grandemente a recombinação entre cruzamentos, principalmente em populações segregantes; (c) produção de sementes híbridas.

A macho-esterilidade pode ser dividida em (a) macho esterilidade nuclear, genética ou Mendeliana, na qual a macho-esterilidade é determinada por genes do núcleo; (b) macho esterilidade genético-citoplasmática, na qual a macho-esterilidade é resultante da interação de genes do núcleo e citoplasma e (c) macho-esterilidade não herdável, na qual a macho esterilidade resulta da ação de agentes químicos e físicos denominados como gametocidas.

Muitos estudos têm indicado que a macho-esterilidade pode ser controlada por genes nucleares (KAUL, 1988; OKAMURO *et al.*, 1993). Este tipo de macho-esterilidade está presente em sistemas naturais e tem sido identificada em mutantes de arroz, ervilha, tomate, algodão, soja, cevada e outras espécies (KAUL, 1988; ALBESTSEN & PALMER, 1979; HU & RUTGER, 1992; PALMER *et al.*, 1992). A macho-esterilidade genética é condicionada predominantemente por genes recessivos; entretanto, diversos exemplos de macho esterilidade controlada por genes de ação dominante têm sido descritos (ALLISON & FISCHER, 1964; WEAVER & ASHLEY, 1971; BOWMAN & WEAVER, 1979; SASAKUMA *et al.*, 1978). O controle genético desta característica está relacionado geralmente a um gene, porém, casos com

mais de um gene atuando sobre o caráter têm sido descritos (HORNER & PALMER, 1995). A macho-esterilidade dominante apresenta duas importantes características que a difere da condicionada por genes recessivos (SORRELS & FRITZ, 1982). A geração de autofecundação não é requerida para a obtenção dos segregantes estéreis e as progênie de plantas heterozigotas sempre segregam na proporção 1:1 para os alelos dominantes de macho-esterilidade. Como consequência, o uso de genes dominantes proporciona a obtenção de 50% de progênie estéril na geração F1, enquanto que na utilização de genes recessivos a proporção é de somente 25% na geração F2 (Figura 1). Desta forma a manutenção da linha macho estéril condicionada por genes recessivos é mais trabalhosa e demorada.

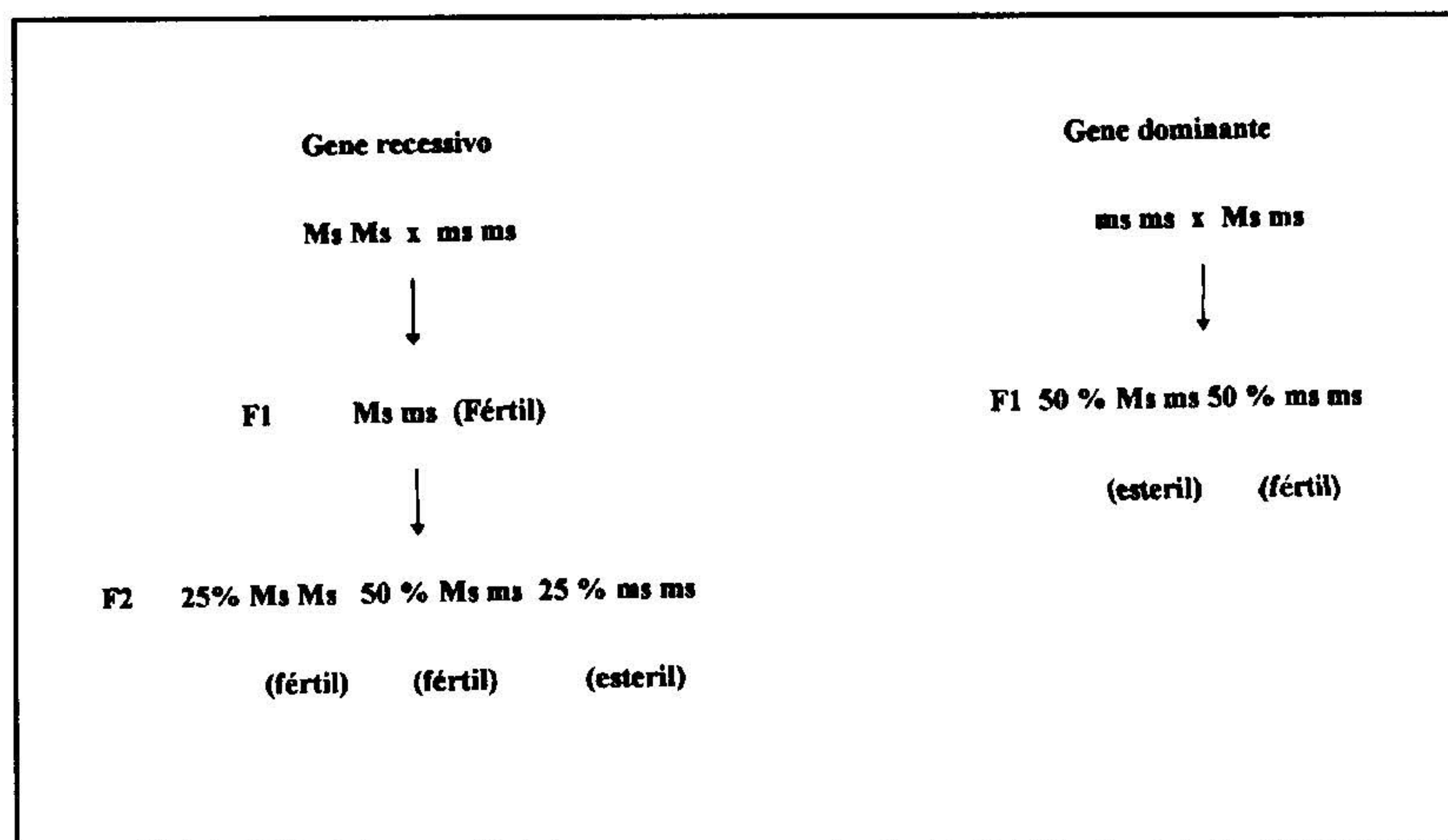


Figura 1 - Segregação para a macho-esterilidade genética controlada por genes do núcleo dominantes ou recessivos.

A macho-esterilidade genético-citoplasmática resulta da interação de genes nucleares e genes de organelas citoplasmáticas de herança não Mendeliana (HANSON & CONDE, 1985; WILLIAMS & LEVINGS, 1992). Um grande número de plantas que apresentam este tipo de macho-esterilidade possuem genes restauradores da fertilidade podendo reverter a condição macho-estéril. Neste tipo de macho-esterilidade a presença de genes restauradores da fertilidade é fundamental para a sua utilização. Esta exigência dificulta o processo de uso deste tipo de macho-esterilidade a curto prazo, dada a necessidade de utilização de várias linhas diferentes. A linha macho estéril, a qual contém os genes de macho esterilidade, a linhagem mantenedora da linhagem macho-estéril já melhorada e por último, no caso de produção de sementes híbridas, a linhagem paternal. A utilização

de mecanismos genéticos para evitar a autofecundação implicaria em uma série de procedimentos adicionais para o melhoristas, como manter linhas macho-estéreis ou transferir genes de macho esterilidade para genótipos de melhor valor agrônômico. Além disso as linhagens macho-estéreis, em menor número, serão portadoras dos mesmos genes, o que poderia levar a vulnerabilidade genética.

Os genes de macho-esterilidade presentes nos programas de melhoramento geralmente estão associados a materiais não adaptados que apresentam características agrônômicas indesejáveis. A incorporação da macho-esterilidade em materiais elite, tem sido pouco trabalhada e poucas linhagens macho-estéreis estão em processo de melhoramento, o que dificulta a incorporação e utilização destes genes em programas de melhoramento de plantas autógamas.

As dificuldades existentes na utilização da macho-esterilidade determinada geneticamente incentivou a busca de outros meios capazes de induzir a macho-esterilidade. Vários produtos ionizantes e químicos têm sido empregados na indução da macho-esterilidade com resultados variáveis. Os raios gama utilizados em trigo não têm apresentado resultados satisfatórios mostrando a produção de muitos efeitos deletérios inviabilizando a sua utilização como indutores de macho-esterilidade (PIENAR & VAN NIEKERK, 1973). Diversos produtos químicos têm sido testados para a indução da macho-esterilidade em trigo apresentando eficiência variada. Para PORTER &

WIESE (1961) a hidrazida malêica apresentou baixa eficiência em induzir a macho-esterilidade; o ácido giberélico não induziu a formação de pólen anormal; o produto sódio 2,3-dicloroisobutirato trouxe danos as plantas e o Dalapon e ácido triiodobenzóico não revelaram boa eficiência na indução da macho-esterilidade. Dentre os produtos químicos, o Ethrel (ácido 2-chloroetilfosfônico) é um dos produtos utilizados com maior sucesso na indução da macho-esterilidade. O efeito da utilização de Ethrel foi relatado por ROWELL & MILLER (1971), envolvendo enrugamento e redução da antera, que não produz pólen semelhante a macho-esterilidade citoplasmática. O sucesso dos gametocidas depende de várias aplicações em determinados estágios do florescimento para induzir a macho-esterilidade. Para estes autores a aplicação de Ethrel foi mais efetiva em causar a macho-esterilidade

com aplicações realizadas, antes, durante e após a antese com 1000, 2000 e 3000ppm, respectivamente. Para BARBOSA *et al.* (1987), o Ethrel foi eficiente para induzir a macho-esterilidade, sendo a época do pré-emborrachamento o período mais indicado para a aplicação na cultura do trigo. Para estes autores, o produto pode ser utilizado em programas de melhoramento onde não são requeridas grandes quantidades de sementes híbridas, devido a redução na produção de grãos das plantas tratadas. Resultados significativos da aplicação do Ethrel na indução de androsterilidade em aveia foi relatado por PINTO *et al.* (1988).

Com a utilização de gametocidas não há a necessidade de trabalhar com genes para a macho-esterilidade ou para a restauração da fertilidade e sua grande vantagem é a de evitar o estreitamento da base genética da espécie, uma vez que os genótipos macho-estéreis continuam possuindo a mesma constituição genética das plantas não estéreis e com a utilização de gametocidas podemos ter genitores macho-estéreis diferenciados a cada ciclo de cruzamento.

O maior problema do uso de gametocidas é a efetividade da esterilização masculina, podendo ser parcial e fitotóxica. O ponto exato de aplicação, a ação do agente químico e a sua permanência por um período longo de tempo atingindo todos os afilhos são de extrema importância para a eficiência da macho-esterilidade induzido. Para JAN & ROWELL (1981) a efetividade do gametocida está centrada na atuação sobre o colmo e sobre seus afilhos. Outro fator limitante é o curto espaço de tempo de aplicação devido as oscilações das condições climáticas promoverem variações na eficácia do produto (McRAE, 1985). Novos estudos devem ser realizados para verificar as doses aplicadas e o momento de aplicação já que a interação entre genótipo e aplicação é significativa (BARBOSA *et al.*, 1987). Grande esforço da pesquisa tem sido destinada a obtenção de novas substâncias com efeito gametocida satisfatório na indução da macho-esterilidade, principalmente para a produção de sementes híbridas.

A polinização cruzada em sistemas autógamos

O sucesso da produção de sementes híbridas depende de vários fatores genéticos e de ambiente envolvidos na polinização cruzada em sistemas autógamos. A eficiência na utilização da macho-esterilidade nestes sistemas é dependente de uma boa dispersão de pólen para produção de sementes nas plantas macho-estéreis. Nas espécies autógamas a frequência de polinização cruzada é muito baixa, sendo no sorgo e no algodão as maiores proporções,

podendo chegar a 30-50% com o auxílio de polinizadores. No trigo, aveia, cevada, soja e feijão a taxa de cruzamento natural geralmente não ultrapassa a 1%. No arroz a taxa de cruzamento natural chega a 3% (PHOELMAN, 1983). Diversos estudos têm verificado a taxa de polinização cruzada e produção de sementes em diversas espécies (BITZER & PATTERSON, 1967; DEVRIES, 1974; AZZINI & RUTGER, 1982; GILES, 1989). Entretanto, seus estudos estão voltados para a produção de semente híbrida comercial, e não para utilização no processo de seleção recorrente, onde a produção de semente a nível comercial não é o objetivo. A menor produção de sementes híbridas neste sistema, não seria apropriado para a produção híbrida comercial, mas de grande importância para a efetivação do processo de seleção recorrente. O rendimento de 240kg de grãos obtido por BEEK (1977) com trigo, utilizando 18 genitores em 0,5ha, exemplifica este ponto de vista.

As variações de ambiente e estrutura floral são causas bem conhecidas do desvio da autopolinização em cereais. As características varietais que mais influenciam o cruzamento natural são o comportamento no florescimento e características botânicas que favorecem a autopolinização, bem exemplificado pela variação morfológica presente em cevada (GILES, 1989). A eficiência da polinização cruzada está relacionada à concentração de grãos de pólen no ar e a concentração de pólen é dependente do número de grãos de pólen produzido na antera, da porcentagem de extrusão das anteras e do número de anteras por unidade de área (JOPPA *et al.*, 1968). A variabilidade genética para capacidade de polinização aberta tem sido demonstrada para trigo (ZEVEN, 1968) e outras espécies (GILES, 1989; AZZINI & RUTGER, 1982), sendo possível a seleção de genótipos com características que favoreçam a polinização cruzada. Da mesma forma a existência de variabilidade para capacidade do estigma em receber pólen foi observada por BITZER & PATTERSON (1967) e pode ser incorporada nas linhas macho-férteis. Ganhos na seleção de indivíduos com maior produção de pólen foram observadas por DAVID & PHAM (1993) em seis ciclos de seleção natural. Estes autores verificaram o desaparecimento de indivíduos com baixa produção de pólen e o aumento na produção de pólen fértil nas espigas de plantas férteis acompanhadas de modificações morfológicas. Através da indução de mutações FOSTER & FOTHERGILL (1982) modificaram a estrutura floral favorecendo a polinização cruzada.

A influência do ambiente na taxa de polinização cruzada e produção de grãos nas linhas macho-estéreis é marcante. Em condições de ambiente

favoráveis, taxas significativas de polinização cruzada podem ser observadas. A distância da fonte polinizadora e a sincronização da época de florescimento é de extrema importância para a coincidência de maturação dos órgãos reprodutivos (ZEVEN, 1968). Em soja a semeadura em diferentes épocas com variedades de sensibilidade ao fotoperíodo diferenciado podem ser utilizadas. Na cultura do arroz, a utilização de linhagens macho-estéreis sensíveis ao fotoperíodo semeadas em diferentes épocas, facilita o cruzamento e manutenção da linhagem macho estéreis. As reações de mutantes sensíveis ao fotoperíodo descritas em arroz por YUAN *et al.* (1993), mostram que a variação na temperatura e dias longos podem induzir a macho-esterilidade, e a semeadura em dias curtos pode levar à produção de sementes híbridas, alternando plantas estéreis com as férteis; este processo tem favorecido a produção de semente híbrida conjuntamente com alterações nas características botânicas dos genitores favorecendo a polinização cruzada em países como a China. Além da temperatura e o fotoperíodo, o estresse hídrico pode induzir a macho-esterilidade (SAINI & ASPINALL, 1981). A variação na época de semeadura pode favorecer o cruzamento natural pelas modificações que ocorrem no comportamento da cultura, como no caso de semeadura precoces em cevada que tem levado ao incremento na taxa de cruzamento natural a valores de 12% (GILES, 1989). A proporção de macho-férteis e estéreis exerce grande influência na polinização cruzada. A utilização da mistura mecânica de sementes de plantas macho-estéreis e férteis pode ser empregada quando é possível identificar as sementes após a colheita através de marcadores morfológicos presente nos grãos associados a característica. Outro fator importante na determinação da taxa de polinização cruzada em plantas autógamas é a presença de inseto polinizadores. O desvio do processo normal da polinização em culturas como o tomate e feijão exemplificam a importância destes agentes na modificação do modo normal de reprodução.

Estes resultados indicam a possibilidade de melhoria das características morfológicas nos genitores e modificações de ambiente visando o aumento na taxa de polinização cruzada facilitando a aplicação da seleção recorrente através da macho-esterilidade.

A seleção recorrente no melhoramento de plantas autógamas

A macho-esterilidade foi inicialmente utilizada para a produção de semente híbrida, e nos últimos anos tem sido investigada como ferramenta

para facilitar a utilização da seleção recorrente em plantas de autofecundação. Este processo consiste em três etapas: a seleção de genitores; intercruzamento entre os genitores escolhidos e o teste de progênie. Inúmeras investigações têm sido conduzidas e diversas estratégias de melhoramento utilizando ou não a macho-esterilidade têm sido utilizadas. Estudos visando a determinação do número de gerações de intercruzamento e a quantidade mais efetiva de testes para implantação da seleção recorrente em soja foram propostos por PIPER & FEHR (1987). Um esquema não envolvendo a avaliação da macho esterilidade foi sugerido por COMPTON (1968). Nesse trabalho foi utilizado o método semente única por planta (SSD) e após três ciclos de seleção as linhas foram testadas para produção e intercruzadas num sistema de dialélico para formar a nova população. Por outro lado, McNEAL (1978) utilizou a seleção recorrente para aumentar o teor de proteína em trigo, através de linhas com alto teor de proteína selecionadas e intercruzadas para a formação da nova população; da geração F_1 até F_4 , as plantas foram autofecundadas e as linhas superiores em proteína foram selecionadas e intercruzadas formando uma nova população. Outra proposta, baseado na utilização de genes dominantes de macho-esterilidade em trigo foi feita por SORRELS & FRITZ (1982). Utilizando a estrutura de famílias de meio-irmãos e aplicando ciclos de seleção recorrente, os autores incrementaram a média do caráter, sem reduzir a variabilidade genética existente inicialmente. Estes autores ainda enfatizaram que a população melhorada poderia ser uma fonte de variabilidade para os sistemas de melhoramento convencional. A utilização de sistema dialélico com a formação de populações de três ou quatro híbridos para a seleção massal e recorrente foi proposto por JENSEN (1970). Na cultura da soja foram obtidos incrementos na percentagem de óleo em sementes (BURTON & BRIM, 1981) utilizando a macho-esterilidade em soja. Já KENWORTHY & BRIM (1979) obtiveram incremento na produção de soja após vários ciclos de seleção recorrente. Investigando efeitos de seleção indireta para tamanho de semente, proteína e óleo em populações segregantes de soja, TINNIUS *et al.* (1991) relataram o aumento da proteína total sem diminuir o teor de proteína e óleo, sugerindo como prática a seleção recorrente para o melhoramento destas características. Quatro estratégias de seleção recorrente foram estudadas por GUIMARÃES & FEHR (1989) e seus resultados sugeriram que a melhor estratégia para seleção recorrente para produção de grãos em soja poderia envolver dois estágios de testes de produção das linhas superiores identificadas e uma geração de intercruzamento entre

as linhas selecionadas para formar a nova população. Em trigo, a seleção recorrente para peso de grão proporcionou a seleção de linhas com alto peso de grãos (BUSCH & KOFOID, 1982). Resultados positivos também foram obtidos por BRANSON & FREY (1989) para promover o incremento no conteúdo de óleo do grão em cultivares de aveia.

A resposta à seleção recorrente para incremento do tamanho e produção de sementes em plantas macho-estéreis e repetibilidade da resposta a seleção foi avaliada por TINIUŠ *et al.*, (1991). Os autores concluíram que a seleção recorrente massal utilizando a macho-esterilidade pode ser de grande importância no melhoramento convencional para incrementar o potencial produtivo das populações, requerendo menor quantidade de recursos. A introgressão de novos complexos gênicos em populações elites de cevada, servindo como fonte potencial para novas cultivares foi proposto por KANNEMBERG & FALK (1995) utilizando a macho esterilidade.

Estes resultados positivos da utilização do processo de seleção recorrente com o uso ou não da macho-esterilidade em plantas autógamas ressalta a efetividade e a importância deste processo no melhoramento de populações para diversos caracteres de importância agrônômica.

CONCLUSÃO

Apesar da seleção recorrente ser recente em trabalhos com plantas autógamas, inúmeros exemplos ressaltam sua importância junto a programas de melhoramento. Múltiplas são as suas vantagens, que incluem a manutenção da variabilidade genética e seleção por um período maior de tempo, incrementando a frequência de alelos desejáveis e seus ajustes as condições de ambiente existente. Muitos outros fatores devem ser observados para a utilização em programas de melhoramento destas duas técnicas; a seleção dos genitores, a criação e melhoramento da população fonte baseados na utilização da macho esterilidade, avaliação das características agrônômicas importantes e fatores a elas relacionados.

A avaliação de que a macho-esterilidade é eficaz para propiciar a polinização cruzada entre diversos genitores de interesse em um programa de seleção recorrente, permite pensar na elaboração de um esquema paralelo ao melhoramento convencional baseados nestas duas técnicas. Dois esquemas gerais para utilização da macho esterilidade e a seleção recorrente em plantas autógamas pode ser estabelecido utilizando a macho-esterilidade herdável e não herdável (Figura 2). No primeiro, as linhas macho férteis e

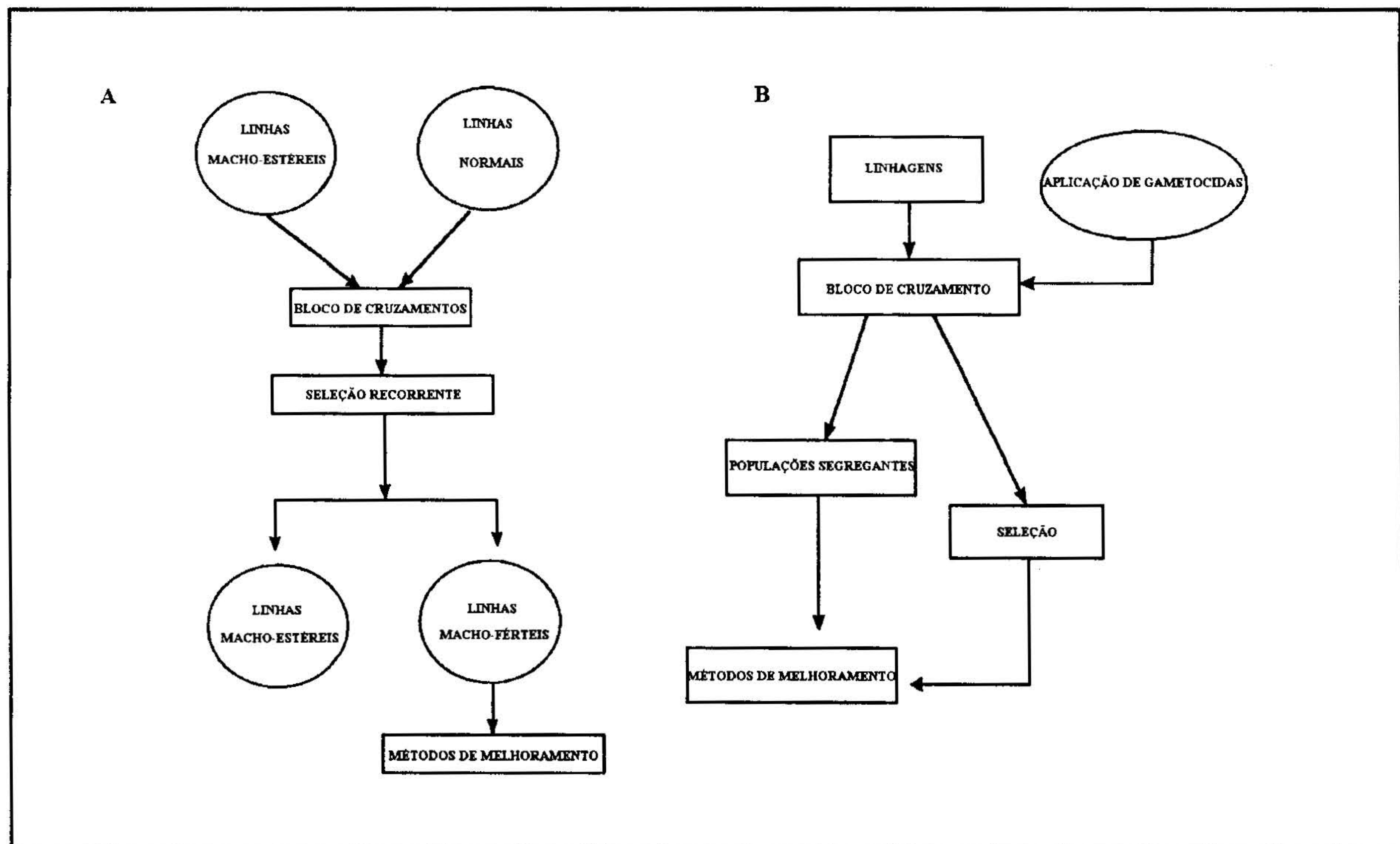


Figura 2 - Proposta de utilização da macho-esterilidade herdável (A) e não herdável (B) e a seleção recorrente no melhoramento de plantas autógamas.

linhas macho-estéreis conferidas por genes nucleares ou citoplasmáticos podem ser agrupadas em um bloco de cruzamentos. As linhagens macho-férteis podem ser selecionadas para caracteres de interesse e vários ciclos de cruzamento podem ser realizados para que ocorra a recombinação genética. Na população formada podem ser selecionadas plantas com características agrônomicas e características que propiciam a polinização cruzada nas novas plantas macho-estéreis retornando ao bloco de cruzamentos. Da mesma forma, plantas macho-férteis podem ser selecionadas e retornar ao bloco de cruzamentos ou seguir sob o melhoramento convencional. Assim formamos um sistema autoalimentador com o objetivo de fornecer ao programa de melhoramento combinações genéticas não possíveis de serem obtidas no sistema de melhoramento utilizando a recombinação entre um número pequeno de genitores. É preciso lembrar, que o processo de incorporação de genes de macho-esterilidade nos programas de melhoramento é difícil devido estes genes estarem geralmente associados a materiais não adaptados. A necessidade de incorporar os genes de macho-esterilidade em materiais elite torna o processo demorado principalmente por utilizar métodos de melhoramento como o retrocruzamento. Outro fator limitante é a permanência de alelos indesejáveis incorporados nas linhagens junto com os genes de macho-esterilidade. Apesar das dificuldades, o processo pode ser conduzido paralelamente aos programas de melhoramento e com o advento da biologia molecular e a utilização de marcadores moleculares, a seleção de linhagens macho-estéreis com menor incorporação de material indesejável, provenientes dos retrocruzamentos possa ser obtido.

No segundo, a macho-esterilidade conseguida pelo uso de produtos gametocidas difere do primeiro, pela maior simplicidade e a variabilidade do material genético usado como genitor feminino. As linhagens selecionadas farão parte do bloco de cruzamentos onde o gametocida será aplicado no material escolhido como genitor feminino. Os híbridos obtidos podem originar as populações segregantes conduzidas pelos procedimentos convencionais ou seguir por vários ciclos de seleção recorrente com a finalidade de fornecer novas combinações genéticas da mesma forma que no primeiro esquema.

A macho-esterilidade é uma alternativa viável para facilitar a implementação de técnicas como a seleção recorrente em programas de melhoramento de plantas autógamas. A adequação das técnicas a rotina de um programa de melhoramento deve ser uma preocupação dos melhoristas, que a longo prazo possam desfrutar dos benefícios oferecidos pelo processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W. *Principles of plant breeding*. 3. ed. New Yor, J. Willey, 1960, 485 p.
- ALBERSTEN, M.C., PALMER, R.G. A comparative light - and electron-microscopic study of microsporogenesis in male sterile (ms1) and male fertile soybeans (*Glicine max* (L.) Merrill.) *American Journal of Botany*. Baltimore, v. 66, p. 253-265, 1979.
- ALLISON, D.C., FISHER, W.D. A dominant gene for male sterility in upland cotton. *Crop Science*, Madison, v. 4, p. 548-549, 1964.
- AZZINI, L.E., RUTGER, J.N. Amount of outcrossing on different male steriles of rice. *Crop Science*, Madison, v. 22, p. 905-907, 1982.
- BARBOSA, J.F., CARVALHO, F.I.F. de, TAVARES, M.J.C.M.S. Esterilidade do pólen de trigo induzida pelo ácido 2-cloroetilfosfônico (Ethrel). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 3, p. 265-274, 1987.
- BEEK, M.A. Resumo do progresso do programa de resistência horizontal em trigo. IN: REUNIÃO SOBRE RESISTÊNCIA HORIZONTAL E DETERMINAÇÃO DE PERDAS DAS CULTURAS, 1977. Passo Fundo, RS. *Ata...* Passo Fundo, EMBRAPA, 1977, P. 45-53.
- BITZER, M.J., PATTERSON, F.L. Pollen dispersal and cross pollination of soft red winter wheat. *Crop Science*, Madison, v. 7, p. 482-484, 1967.
- BRIM, C.A., STUBER, C.W. Application of male sterility to recurrent selection schemes in soybeans. *Crop Science*. Madison, v. 13, p. 528-530, 1973.
- BOWMAN, D.T., WEAVER, J.B. Jr. Analyses off a dominant male sterile character in upland cotton. II. Genetics studies. *Crop Science*, Madison, v. 19, p. 628-630, 1979.
- BRANSON, C.V., FREY, K.J. Recurrent ?Selection for groat oil content in oat. *Crop Science*. Madison, v. 29, p. 1282-1387, 1989.
- BURTON, J.W., BRIM, C.A. Recurrent selection in soybeans. III. Selection for increased percent oil in seeds. *Crop Science*, Madison, v. 21, p. 31-34, 1981.
- BUSCH, R.H., KOFOID, K. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat. *Crop Science*. Madison, v. 22, p. 568-572, 1982.
- COX, T.S., SEARS, R.G., GILL, B.S. Registration of KS87UP9, a winter wheat germplasm segregating for a dominant male-sterility gene. *Crop Science*, Madison, v. 31, p. 247. 1991.
- COMPTON, W.A. Recurrent selection in self-pollinated crops without extensive crossing. *Crop Science*, Madison, v. 8, p. 773-776, 1968.
- DAVID, J.L., PHAM, J.L. Rapid changes in pollen production in experimental outcrossing populations of wheat. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 6, p. 659-676, 1993.

- DEVRIES, A. Some aspects of cross-pollination in Wheat (*Triticum aestivum* L.) for seed set on male sterile plants as influenced by distance from pollen source pollinator: male sterile ratio and width of the male sterile strip. *Euphytica*, Wageningen, v. 23, p. 601-622, 1974.
- FOSTER, C.A., FOTHERGILL, M. Breeding F1 hybrid barley. In: ASHER, M.J.C. (ed.), *Barley Genetics IV. Proc. 4th Int. Barley Genet. Symp.* 1981. Edinburgh: U.K. Edinburgh Univ. Press, p. 776-778, 1982.
- GILES, R.J. The frequency of natural cross-fertilization in sequential sowings of winter barley. *Euphytica*, Wageningen, v. 43, p. 125-134, 1989.
- GUIMARÃES, E.P., FEHR, R. Alternative strategies of recurrent selection for seed yield of soybean. *Euphytica*, Wageningen, v. 40, p. 111-120, 1989.
- HANSON, W.D. The breakup of initial linkage blocks under select mating systems. *Genetics*. Austin, v. 44, p. 857-868, 1959.
- HANSON, M.R., CONDE, M.F. Functioning and variation of cytoplasmic genomes: lessons from cytoplasmic-nuclear interactions affecting male fertility in plants. *Int Rev Cytol*, v. 94, p. 213-267, 1985.
- HORNER, H.T., PALMER, R.G. Mechanisms of genetic male sterility. *Crop Science*. Madison, v. 35, p. 1527-1535, 1995.
- HU, J., RUTGER, J.N. Pollen characteristics and genetics of induced and spontaneous genetic male-sterile mutants in rice. *Plant Breed*, Berlin and Hanburg, v. 109, p. 97-107, 1992.
- JAN, C.C., ROWELL, P.L. Response of wheat delers at different growing stages to gametocide treatment. *Euphytica*, Wageningen, v. 30, p. 501-504, 1981.
- JENSEN, N.F. A diallel selective mating system for cereal breeding. *Crop Science*, Madison, v. 10, p. 629-635, 1970.
- JOPPA, L.R., McNEAL, F.H., BERG, M.A. Pollen production and pollen shedding of hard red spring (*Triticum aestivum* L.) and durum (*T. durum* D.) wheats. *Crop Science*, Madison, v. 8, p. 487-490, 1968.
- KANNEMBERG, L.W., FALK, D.E. Models for activation of plant genetics resources for crop breeding programs. *Canadian Journal of Plant Science*. Ontário, v. 75, n. 1, p. 45-53, 1995.
- KAUL, M.L.H. Male sterility in higher plants. *Monographs on Theoretical and Applied Genetics 10*. New York, 1988.
- KENWORTHY, W.J., BRIM, C.A. Recurrent selection in soybeans. I. Seed Yield. *Crop Science*, Madison, v. 19, p. 315-318, 1979.
- McRAE, D.H. Advances in chemical hybridization. *Plant Breeding Rev*, v. 3, p. 169-191, 1985.
- OKAMURO, J.K., DEM BOER, B.G.W., JOFUKU, K.D. Regulation of arabdopsis flower development. *Plant Cell*. Rockville, v. 5, p. 1183-1193, 1993.
- PALMER, R.G., ALBERTSEN, M.C., HORNER, H.T., *et al.* Male sterility in soybean and maize: developmental comparisons. *The Nucleus*. v. 35, p. 1-18, 1992.
- PINTO, R.J.B., CARVALHO, F.I.F. de, TAVARES, M.J.C. de, *et al.* Induction of male sterility in oats by foliar application of 2-chloro ethyl phosphonic acid (Ethrel). *Revista Brasileira de Genética*. Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 369-378, 1988.
- PIENAAR, R.V., VAN NIEKERK, H.A. The effect of gamma-irradiation on wheat gametophytes. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETIC SYMPOSIUM, 4th, Columbia, August 6-11, 1973. *Proceedings...* Columbia, E.r. Sears & L.M.S. Sears. p. 289-294, 1973.
- PIPER, T.E., FEHR, W.R. Yield impronment in soybean poopulation by utilizing alternative strategies of recurrent selections. *Crop Science*. Madison, v. 27, p. 172-178, 1987.
- POEHLMAN, J.M. *Breeding field crops*. 2^a ed. Westport, Connecticut: Avi. Publishing Companhy, 1983, 486 p.
- PORTER, R.B., WIESE, A.F. Evaluation of certain chemicals as selective gametocidas for wheat. *Crop Science*. Madison, v. 1, p. 381-382, 1961.
- RAO, M.K., DEVI, K.U., ARUNDHATI, A. Applications of genic male sterility in plant breeding. *Plant Breeding*, Berlin and Hanburg., v. 105, p. 1-25, 1990.
- ROWELL, L.P., MILLER, D.G. Induction of male sterility in wheat with two chlorothylphosphonic acid (Ethrel). *Crop Science*, Madison, v. 11, p. 629-631, 1971.
- SASAKUMA, T., MAAN, S.S., WILLIANS, N.D. EMS-induced male sterile mutants in euplasmic and alloplasmic common wheat. *Crop Science*, Madison, v. 18, p. 850-853, 1978.
- SAINI, H.S., ASPINALL, D. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany*, London, v. 48, p. 623-633, 1981.
- SORRELS, M.E., FRITZ, S.E. Aplication of a dominant male-sterile allele to the improvement of self-pollinated crops. *Crop Science*, Madison, v. 22, p. 1033-1035, 1982.
- TINIUS, C.N., BURTON, J.W., CARTER, T.E.Jr. Recurrent selection for seed in soybean. I. Response to selection in replicate populations. *Crop Science*, Madison, v. 31, p. 1137-1141, 1991.
- TINIUS, C.N., BURTON, J.W., CARTER, T.E. Jr. Recurrent selection for seed size in soybean: II Indirect effects on seed growth rate. *Crop Science*, Madison, v. 32, p. 1480-1483, 1992.
- WEAVER, J.R., ASHLEY, T. Analysis of a dominat gene for male sterility in upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Crop Science*. Madison, v. 11, p. 596-598, 1971.
- WILLIANS, M.E., LEVINGS, C.S. Molecular biology of cytoplasmic male sterility. In: J. Janick (ed.) *Plant Breeding Reviews*, John Wiley and Sons. New York, v. 10, p. 23-51, 1992.
- YUAN, S.C., ZHANG, Z.G., HE, H.H., *et al.* Two photoperiodic-reactions in photoperiodic-sensitive genic male-sterile rice. *Crop Science*, Madison, v. 33, p. 651-660, 1993.
- ZEVEN, A.C. Cross pollination and sources of restores genes in wheat and semi-hybrid variety. *Euphytica*, Wageningen, suppl., v. 1, p. 75-81, 1968.