



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**IDEÓTIPO DE PLANTA E SEU PAPEL NO  
MELHORAMENTO DE CEREAIS**

**JOÃO PAULO CENCI**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA-DF  
DEZEMBRO/2014**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

# **IDEÓTIPO DE PLANTA E SEU PAPEL NO MELHORAMENTO DE CEREAIS**

**JOÃO PAULO CENCI**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Fagioli**

**BRASÍLIA-DF  
DEZEMBRO/2014**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

## **IDEÓTIPO DE PLANTA E SEU PAPEL NO MELHORAMENTO DE CEREAIS**

**JOÃO PAULO CENCI**

Monografia submetida à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como registro parcial a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Fagioli**

**APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_**

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Marcelo Fagioli; Universidade de Brasília – UnB, CPF: 729.409.306-78,  
mfagioli@unb.br (Orientador)

---

Dr. Renato Fernando Amabile; Embrapa Cerrados, CPF: 239.382.421-91,  
renato.amabile@embrapa.br (Examinador externo)

---

MSc. Ricardo Meneses Sayd, Doutorando, Universidade de Brasília - UnB, CPF:  
012.657.211-90, ricardo\_sayd@hotmail.com (Examinador Externo)

**BRASÍLIA-DF  
DEZEMBRO/2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Cenci, João Paulo

“IDEÓTIPO DE PLANTA E SEU PAPEL NO MELHORAMENTO DE CEREAIS”

Orientação: Marcelo Fagioli, Brasília 2014. 42 folhas.

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

1. Modelo de planta. 2. Modelo de cereais. 3. Melhoramento de plantas. 4. Características morfoagronômicas.

I. Fagioli, M. II. Título.

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CENCI, J.P. **Ideótipo de planta e seu papel no melhoramento de cereais**. 2014. 42f. Trabalho de graduação (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2014.

### CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** JOÃO PAULO CENCI

**Título da Monografia de Conclusão de Curso:** IDEÓTIPO DE PLANTA E SEU PAPEL NO MELHORAMENTO DE CEREAIS.

**Grau:** 3º      **Ano:** 2014.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

JOÃO PAULO CENCI  
CPF: 020.666.621-78  
SQN 405 Bloco Q Apt. 108  
Asa Norte, Brasília-DF, CEP: 70846-170  
(61) 96441990 / e-mail: jpcenci@gmail.com

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Ivaldo Cenci (*in memoriam*) e especialmente a minha mãe Venilde Cozza Cenci pelo enorme suporte durante todos estes anos de graduação sem o qual a vida acadêmica se tornaria muito mais difícil.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a toda a minha família: Venilde, Vanessa e Victório. Pelos momentos de descontração nos finais de semana e pelo apoio a minha graduação.

Aos meus tios Elodi e Dileta pelos conselhos e exemplo de dedicação à vida e ao trabalho.

Ao meu primo Ricardo Cenci pela paciência e ajuda de transporte durante vários fins de semana para a fazenda.

Aos meus amigos de graduação por acreditar na minha formação.

Aos professores que realmente fazem a diferença dentro dessa universidade, especialmente ao meu orientador Marcelo Fagioli pelos conhecimentos transmitidos e grande ajuda na conclusão desse trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Conceito de Ideótipo de planta .....	3
3.2 Fundamentos do ideótipo .....	5
3.2.1 Baixa competitividade .....	6
3.2.2 Alto índice de colheita .....	7
3.2.3 Ambiente definido .....	7
3.3 Características gerais modelo em um ideótipo de planta.....	8
3.3.1 Porte baixo e caule forte .....	8
3.3.2 Folhas eretas .....	8
3.3.3 Folhagem reduzida (pequenas, estreitas ou poucas folhas) .....	10
3.3.4 Colmo único (ausência de ramificações e perfilhos).....	10
3.4 Potenciais e limitações do uso de ideótipos .....	11
3.5 Alternativas ao uso de melhoramento por ideótipos.....	16
3.6 Exemplos de ideótipos de plantas na bibliografia científica .....	18
3.6.1 Ideótipo de trigo .....	18
3.6.2 Ideótipo de milho.....	20
3.6.3 Ideótipo de cevada.....	21
2.6.4 Ideótipos de arroz .....	23
4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	30
6. REFERÊNCIAS.....	31

## RESUMO

O melhoramento por ideótipos surge como complemento ao melhoramento tradicional buscando explicar e implementar características morfofisiológicas que desempenham papel positivo no rendimento de cereais. A produtividade é muitas vezes analisada isoladamente e de forma empírica pela maioria dos programas de melhoramento; a análise de produtividade em ideótipos demonstra métodos mais diretos e menos empíricos. A presente revisão tem por objetivo apresentar os fundamentos por trás da definição de ideótipo e algumas das características modelos consideradas importantes de serem incorporadas em plantas de cereais quando cultivadas em comunidade, através da integração de conhecimentos de cultivo, fisiologia, botânica e melhoramento. Além disso, estão apresentadas as principais limitações que atrasam o uso de ideótipos dentro do melhoramento tradicional e duas alternativas ao uso de ideótipos. Por último, ideótipos de trigo, milho, cevada e arroz são apresentados. O melhoramento por ideótipos traz vantagens ao melhorista no estabelecimento de objetivos para cada característica da planta; promove a pesquisa na geração de hipóteses para atingir maiores produtividades e pode ser aprimorado através do uso de marcadores moleculares e do maior conhecimento de fisiologia. O uso concomitante de ideótipos e melhoramento tradicional pode promover o aumento direto do potencial de produtividade de cereais e também aumento no ganho de produtividade por unidade de tempo.

**Palavras-chave:** modelo de planta, modelo de cereais, melhoramento de plantas, características morfoagronômicas.



## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional é evidente nos últimos anos, principalmente, nos países classificados como em desenvolvimento. Tendo isso em mente, sabe-se que a produção de alimentos deve acompanhar esse crescimento e que o melhoramento de plantas, as práticas agrícolas e recentemente a biotecnologia desempenharão papel primordial nessa produção.

Apesar da produtividade de cereais de importância econômica ter aumentado substancialmente nas últimas décadas devido as melhores práticas agrônômicas e ao melhoramento genético, atualmente o aumento de produtividade está sendo obtido principalmente indiretamente via seleção de plantas tolerantes a estresses. Nesse contexto, novas técnicas de melhoramento como uso de ideótipo e marcadores moleculares tem se tornado importantes em programas de melhoramento como uma forma de incremento no potencial direto de produtividade.

O melhoramento de plantas abrange um amplo campo de estudos que é de extrema importância para obtenção dos objetivos de aumento de rendimento e qualidade de grãos. As principais áreas envolvidas são: agronomia/horticultura; genética/biotecnologia; bioquímica de plantas; entomologia; fitopatologia; estatística/ciências da computação; fisiologia de plantas e botânica. O foco deste trabalho está no uso da fisiologia e da botânica mais especificamente da morfologia de plantas como fator de seleção junto ao melhoramento tradicional de forma a aumentar o potencial produtivo por unidade de área e tempo dos cereais de importância econômica. Resistência a doenças; insetos e fatores abióticos; e maturidade são características importantes na seleção de ideótipos dependendo do ambiente, mas não serão o foco desse trabalho.

O conceito de ideótipo de planta é baseado no estabelecimento de um modelo biológico ideal de planta utilizando-se da fisiologia e da morfologia da planta para o aumento do potencial de produtividade. Muitas vezes o melhorista do melhoramento tradicional não sabe explicar as características pelas quais sua cultivar é mais produtiva, pois a “seleção por produtividade” é quase invariável e basicamente empírica. Em meio a essas questões, o ideótipo de planta surge como uma alternativa ao melhoramento tradicional.

## **2. OBJETIVO**

Descrever os principais aspectos presentes na bibliografia relacionados a ideótipo de planta, tais como: conceito, características morfológicas desejáveis para os cereais, pontos a serem considerados antes do uso de ideótipo, exemplos de ideótipos já estudados, aplicações práticas dentro do melhoramento tradicional de plantas e alternativas ao uso de ideótipos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Conceito de Ideótipo de planta

O conceito formal de ideótipo e suas principais características foram apresentadas primeiramente por Donald (1968). Segundo esse autor ideótipo de planta é: “[...] plantas com características modelos conhecidas por influenciar fotosíntese, crescimento e (em cereais) produção de grãos.” (DONALD, 1968, v. 17, p. 385); “[...] uma planta modelo que se espera produzir maior quantidade ou qualidade de grãos, óleo ou outro produto útil quando desenvolvida como uma cultivar.” (DONALD, 1968, v. 17, p. 389). Ou seja, ideótipo de planta teoricamente apresenta maior produtividade em relação as cultivares que irá substituir devido a presença de características modelos individuais (morfológicas e fisiológicas) previstas a contribuir para a produção. Este trabalho serviu de base para o uso de melhoramento por ideótipos ao longo do tempo. A Tabela 1 proposta por Sedgley (1991) classifica os ideótipos de acordo com a definição geral.

Tabela 1. Classificação de ideótipos, baseado na definição geral de Donald (1968).

<b>Caracteres do Ideótipo</b>				
Mercado	Estresses <sup>1/</sup>			
	Abióticos		Bióticos	
	Climáticos	Solo	Comum	Pestes/Doenças
Coloração e tamanho do grão; Qualidade de cozimento; Toxicidade.	Maturidade precoce; Termoperíodo; Tolerância ao inverno; Tolerância a altas temperaturas; Fotoperíodo; Requerimento de vernalização; Tolerância a seca.	Tolerância a salinidade; Tolerância a metais pesados; Tolerância a herbicidas; Tolerância a baixo pH.	Atura da planta; Hábito de crescimento; Capacidade de perfilhamento; Orientação foliar e tamanho da folha; Presença de aristas.	Resistência a ferrugem; Resistência a afídeos.

<sup>1/</sup> Donald (1968) geralmente excluía doenças e pestes da sua discussão e agrupava estresses sobre o ambiente, que incluía fatores regionais e culturais.  
FONTE: Sedgley (1991).

O uso de modelos para solução de problemas é utilizado pelo homem em diversas áreas. Conhecimento, experiência e imaginação são importantes no desenvolvimento de qualquer modelo. Porém, não é certeza que modelos desenvolvidos tenham o sucesso esperado de imediato; é um investimento a longo prazo. Para que modelos de plantas sejam desenvolvidos devem se considerar os seguintes fatores: a) ser capaz de maior produtividade em relação a cultivar que será substituída; b) pode ser obtida através do material de germoplasma disponível. Esses fatores são dependentes da diversidade genética disponível, conhecimento e técnicas adequadas de melhoramento (DONALD, 1968).

As três etapas básicas para o estabelecimento do melhoramento por ideótipo foram descritas por Mock e Pearce (1975): a) definir o ambiente de produção da cultivar; b) desenvolver um modelo de planta, baseado nos aspectos morfológicos e nos princípios fisiológicos conhecidos por influenciar a produtividade naquele ambiente de produção; c) todos os aspectos precisam ser combinados em uma única cultivar através das técnicas de melhoramento. Estimativas de variabilidade genética, correlações genéticas e herdabilidade para essas características são necessárias para maximizar o ganho genético por unidade de tempo e para que se possa escolher as características que são possíveis de se selecionar (MOCK; PEARCE, 1975).

Rasmusson (1991) explicou a diferença entre melhoramento tradicional e melhoramento por ideótipos. Melhoramento por ideótipos leva em conta a descrição e a modificação das características individuais de interesse da planta para aumentar o potencial de produtividade, em que o objetivo de cada característica é especificado. Essa diferença se baseia em um nível conceitual apenas, já que ambas as estratégias utilizam os mesmos métodos de melhoramento (GIL-MUNOZ, 1998). Melhoristas podem então se beneficiar criando também um objetivo geral para a planta dentro do programa de melhoramento (RASMUSSON, 1991).

Em resumo, quatro dimensões precisam ser consideradas quando se define o uso de melhoramento por ideótipos: a) modelo: definir o modelo ideal de planta; b) genético: características modelos podem ser selecionadas e alteradas geneticamente através de técnicas de melhoramento; c) agrônomo: definir ambiente agrônomo e as práticas agrícolas; d) sócio econômico: atender a demanda e a qualidade final do produto ao consumidor (ADRIVON et al., 2013).

Algumas limitações foram apresentadas por Donald (1968) tais como: conhecimento insuficiente de fisiologia para maior produtividade; a definição de características ideais pode limitar a diversidade do material trabalhado pelo melhorista a um nível muito baixo e afetar a seleção de materiais potencialmente bons em produtividade; e por último, mais de um modelo de planta deveria ser testado para que ao final se defina o modelo preferencial.

Rasmusson (1991) descreveu que diferentes modelos para cada cultura ou área ecológica precisam ser desenvolvidos para obtenção de sucesso. Além disso, esse mesmo autor explicou a questão de que melhoramento por ideótipos reduz o germoplasma trabalhado pelo melhorista, não é real, já que a introdução de novas características modelos resultará em maior diversidade de fenótipos que podem ser sujeitos a seleção do que a diversidade que estava disponível em programas tradicionais.

Características modelos provaram ser de grande valor por alguns melhoristas: caule forte para resistência a acamamento; presença de arista na espiga do trigo e cevada para aumento da fotossíntese e produtividade; e folhas eretas e baixa estatura e associação com alta produtividade. O desenvolvimento dessas características individuais serve de base para o melhorista agrupá-las em conjunto em um modelo final de planta. A partir disso, a seleção que antes era baseada em “eliminação de defeitos” passa a ter a ideia de “incorporação de caracteres” (DONALD, 1968).

Além da incorporação de novas características a planta, outros atributos como resistência a doenças e maturidade devem ser incorporadas durante o melhoramento para atender as peculiaridades de cada ambiente. Junto com isso, e por causa da interação genética dessas características com produtividade, os modelos devem ser rigorosamente selecionados para produtividade. Assim, os modelos que obtêm sucesso após essa seleção por produtividade terão maiores produtividades do que as cultivares tradicionais existentes (DONALD, 1968).

### **3.2 Fundamentos do ideótipo**

O desenvolvimento de um modelo biológico de planta proposto estabelece três categorias chave para o seu sucesso: a) baixa competitividade: que a planta seja um competidor fraco em relação as plantas vizinhas em condições de cultivo; b) alto índice de colheita: razão maior de matéria seca colhida (grãos) por matéria seca

total da planta acima do solo e c) ambiente definido: não só o ambiente natural, mas aquele gerado pelas práticas agronômicas (DONALD, 1968).

### **3.2.1 Baixa competitividade**

Competitividade acontece quando cada um de dois ou mais organismos procura a quantidade que deseja de um fator particular ou coisa e quando a disponibilidade imediata do fator ou coisa está abaixo da demanda combinada dos organismos. Os principais fatores de competição entre plantas são: água, nutrientes, luz, oxigênio, dióxido de carbono e agentes polinizadores nas fases de reprodução. (DONALD; HAMBLIN, 1983)

Cooperação acontece quando existe um benefício mútuo entre dois ou mais organismos. Cooperação entre plantas pode ser observada no efeito da densidade de plantio na altura da planta (DONALD; HAMBLIN, 1983). O aumento da densidade favorece o crescimento maior da planta devido a busca por luminosidade.

A produtividade de uma planta, com genótipo específico, em um ambiente agronômico de alta densidade de plantas pode ser reduzida a 20%, 10% ou menos em relação ao mesmo genótipo crescendo em condição isolada. Desse modo, o potencial de produtividade de cada planta é máximo quando essa sofre menor interferência de seus vizinhos. Busca-se assim um ideótipo com baixa habilidade competitiva (DONALD, 1968).

Elevada habilidade de competição pode ser vantajoso contra plantas espontâneas e outros genótipos, mas em um ambiente de monocultura, levam a intensa competição e depressão mutua entre as plantas sobre altas densidades de plantio. Isso gera uma contradição, pois o critério de seleção para maior produtividade em ambientes com misturas de genótipos (por exemplo geração F4 em autógamias) seria aquelas plantas mais fracas do que as que se sobressaem. Apesar disso ser verdade, o desenvolvimento do ideótipo deve depender principalmente do reconhecimento de características modelos e não na sua habilidade de competir com outros genótipos (DONALD, 1968).

Associado a baixa competitividade, cada planta ideal em alta densidade de plantio deve usar o mínimo de recursos disponíveis no ambiente em relação a matéria seca total produzida pela mesma. Porém, a população como um todo no ambiente agronômico deve usar todos os recursos disponíveis no ambiente. Sendo assim, a planta ideal deve ser muito eficiente em relação ao uso dos recursos do

ambiente e apresentar baixa habilidade competitiva em relação a sua massa seca total (DONALD, 1968).

### 3.2.2 Alto índice de colheita

Índice de colheita (IC) foi introduzido por DONALD (1962) e se refere a razão entre a massa seca colhida (grãos) em relação a massa seca total da planta acima do solo (produtividade biológica).

$$IC = \frac{\text{massa seca colhida (grãos)}}{\text{massa seca total}}$$

IC alto tem como objetivo maior massa seca colhida em relação a massa seca total produzida. Não depende somente do número e tamanho dos frutos da planta mas sim da elevada massa desses órgãos (DONALD, 1968). Waddington et al. (1986) ressaltaram a importância do aumento do número de grãos por espiga para o rendimento de trigo, como resultado do aumento da fitomassa e não do IC.

O aumento do índice de colheita é a base para o aumento da produtividade em diversas culturas (HAMID et al., 1978; AUSTIN et al., 1980; GYMER, 1981). Porém, a maioria das espécies cultivadas em lavoura apresentam IC próximo ao seu limite máximo, que se situa entre 45 e 50% (AUSTIN et al., 1980). Portanto, a utilização dessa característica pode ser limitada em programas que visem futuros incrementos em produtividade (ALMEIDA et al., 1998).

### 3.2.3 Ambiente definido

Donald (1968) sugeriu que o melhorista, em um primeiro momento, defina um ambiente simples e ideal para concepção do ideótipo básico e posteriormente ajuste esse ambiente as variantes locais modificando os parâmetros estabelecidos anteriormente para o ideótipo básico. A escolha de um ambiente geral não definido faz com que a escolha do ideótipo seja difícil e sem retorno financeiro pois as variantes de cada ambiente ajudam a determinar as especificidades de cada ideótipo. O ambiente simples escolhido por Donald (1968) teve água e nutrientes ilimitados durante todo o cultivo e ênfase na eficiência fotossintetizante do sistema como um todo para maximização da produtividade.

O estabelecimento de ideótipos deve levar em consideração modificações ou a criação de um novo ambiente. O desenvolvimento de novos ambientes

agronômicos deve ser feito alterando-se principalmente os elementos controlados pelo homem como: densidade de plantio, espaçamento e nível de fertilidade. Além disso, o ideótipo não é estático, e deve ser modificado ao longo do tempo para atender as modificações ambientais (DONALD, 1968).

Uma limitação ao melhoramento de ideótipos está na incapacidade de se definir um ambiente ótimo para a produção de cereais. Em geral este ambiente será aquele em que o ideótipo apresenta produtividade máxima (MOCK; PEARCE, 1975).

### **3.3 Características gerais modelo em um ideótipo de planta**

Donald e Hamblin (1983) propuseram características modelos para qualquer tipo de cereal anual, os caracteres básicos selecionados foram: a) hábito anual; b) crescimento ereto; c) porte baixo; d) caule forte; e) ausência de ramificações ou perfilhos; f) folhagem reduzida; g) folhas eretas; h) hábito determinado; i) alto índice de colheita e j) florescimento precoce para maioria das situações. A razão para o ideótipo proposto está clara para algumas das características, enquanto outras precisam de explicação. Estão apresentados a seguir as características que precisam de explicação e sua principal contribuição no aumento do potencial produtivo dos cereais.

#### **3.3.1 Porte baixo e caule forte**

Foi a característica chave no início da Revolução Verde, em 1956, para trigo e arroz. Ambas as características de porte baixo e caule forte tem importância na redução do acamamento em densidades de plantio elevadas e áreas com incidência frequente de ventos laterais. Além disso, plantas mais baixas proporcionam maior índice de colheita. O caule não deve ser tão curto a ponto de as folhas sombrearem umas as outras, portanto o caule deve proporcionar uma distribuição suficiente das folhas no dossel. A ausência de acamamento e o aumento do índice de colheita proporcionarão maior produtividade e facilidade de colheita (DOWSWELL, 2009).

#### **3.3.2 Folhas eretas**

O uso de folhas eretas (Figura 1) é uma das características mais estudadas e utilizada com frequência por melhoristas de diversas culturas. Seu papel já foi comprovado ser vantajoso em áreas com alta densidade de plantas e se baseia na maior interceptação luminosa das folhas como um todo no dossel levando a maior



taxa fotossintética e conseqüente maior taxa de crescimento e produtividade por planta (DONALD, 1968).

Para que maior produtividade seja atingida com folhas eretas, o nível de densidade de plantas deve ser considerado. Plantas com folhas eretas devem ser plantadas em espaçamento reduzido e em elevada densidade pois não apresentam o mesmo alcance que folhas horizontais. Para determinação dessa vantagem utiliza-se o índice de área foliar (IAF = razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo e é referido como x:1); altos IAF (maior que 4:1 para *Zea mays*) estão associados a melhor aproveitamento da energia solar por parte das folhas eretas e conseqüente incremento na produtividade (MOCK; PEARCE, 1975).

Folhas eretas podem ser ineficientes no incremento de produtividade se os seguintes fatores estiverem presentes: a) incorreta orientação das folhas: folhas devem ser eretas em toda a sua extensão para evitar o sombreamento de folhas inferiores; b) densidade de plantio não for suficientemente alta: como já foi dito, níveis altos de IAF devem ser priorizados para expressão total do potencial de produtividade (MOCK; PEARCE, 1975); c) genótipos não tolerantes a altas densidades: não terão produtividade diferencial apesar de folhas eretas estarem presentes (PEPPER, 1974).

Folhas longas, horizontais, arqueadas ou decumbentes proporcionam maior sombreamento as folhas na parte inferior da planta, reduzindo sua eficiência fotossintética. Folhas eretas estão de acordo com o conceito de maior produção por unidade de ambiente e baixa habilidade competitiva já descrito nesse trabalho. Folhas eretas proporcionam menor competição mútua entre plantas em ambientes de alta densidade de plantas do que folhas horizontais. Plantas com folhas horizontais tem baixa produtividade e se tornam dominantes em misturas de genótipos, essa característica era dominante antigamente antes da seleção devido ao maior controle de plantas espontâneas e outros genótipos (DONALD, 1968).



Figura 1. Diferença no ângulo foliar entre duas variedades de trigo: 86 – Variedade com folhas horizontais. 82 – Variedade com folhas eretas.

FONTE: Donald (1962).

### 3.3.3 Folhagem reduzida (pequenas, estreitas ou poucas folhas)

Vantagem do uso de folhagem pequena é baseada em considerações teóricas. Acredita-se que pequenas folhas tenham maior vantagem em comunidades sobre incidência solar total em contraste com folhas largas mais eficientes em ambientes sombreados. Além disso, a melhor distribuição proporcionada por folhas pequenas no dossel favorecem a maior taxa de crescimento da planta. Em trigo, folhas menores e curtas tem tendência de serem mais eretas do que folhas longas. Outra vantagem, já que se buscam folhas eretas também (DONALD, 1968).

O maior número de folhas por planta é favorável quando se pensa que a quantidade de fotoassimilados produzidos por cada folha seja maior que a soma de sua própria massa seca contribuindo para a formação de outras folhas, caule e potencialmente maior quantidade de grãos. Porém, isso geralmente não ocorre e só é verdade se as folhas adicionais permitem maior exploração do ambiente como por exemplo maior interceptação luminosa (DONALD, 1968).

### 3.3.4 Colmo único (ausência de ramificações e perfilhos)

Número de caules de uma planta não é característica de uma espécie mas sim consequência do processo de melhoramento e seleção para melhor atender as necessidades do homem. Genótipos com características de ramificação são selecionados para espaçamentos maiores, para que o espaço disponível seja ocupado. Donald (1968) propôs um único caule para trigo para atingir maiores produtividades. As principais razões para tal escolha são: esterilidade presente em perfilhos; competição existente entre a espiga principal e perfilhos novos; recursos do ambiente perdidos por perfilhos estéreis; controle do número de espigas por planta e por unidade de área; definição da densidade ótima de plantio para produção de grãos; e maior período de formação da espiga e enchimento de grãos.

### **3.4 Potenciais e limitações do uso de ideótipos**

O potencial para uso de ideótipos no melhoramento é preconizado a longo prazo em vários trabalhos, porém várias dificuldades foram apresentadas principalmente no trabalho de Rasmusson (1991) e Marshall (1991). Antes de apresentar essas limitações quatro fatores são considerados no papel do melhoramento por ideótipos:

- 1) Melhoramento tradicional continuará a exercer papel fundamental e dominante na busca do potencial genético de produtividade; melhoramento por ideótipos serve como complemento ao melhoramento tradicional (RASMUSSON, 1991);
- 2) Melhoristas vem selecionando cultivares com características modelos há muito tempo (número de sementes, peso de sementes, ângulo foliar). A partir do uso de ideótipos estes melhoristas terão a vantagem de especificar o objetivo desejado para cada característica. E também estabelecer hipóteses para explicar como o maior rendimento é alcançado dentro do programa de melhoramento (RASMUSSON, 1991);
- 3) Melhoramento por ideótipos também considera a introdução de características modelo (folhas eretas por exemplo) em cultivares elites já disponíveis no mercado através de retrocruzamento (RASMUSSON, 1991);
- 4) Potencial de produtividade pode ser aumentado alterando-se geneticamente as características morfológicas e fisiológicas da planta. O desafio está em encontrar quais características são fáceis de modificar e definir o seu papel/objetivo no aumento do potencial de produtividade (RASMUSSON, 1991);

Experiência prática do uso de ideótipos foi descrita por Rasmusson (1991). As principais dificuldades encontradas foram: presença de harmonia de tamanho entre as partes da planta; pleiotropia, compensação de características e germoplasma doador inferior (com ligação genética para baixa produtividade). Essas limitações atrasam o progresso do melhoramento por ideótipo, mas por outro lado várias características se mostraram promissoras. As características que se mostram promissoras a longo prazo em cevada foram: estatura baixa; alto número de grãos; peso elevado de grãos e folhas eretas.

A presença de harmonia de tamanho entre as partes da planta é observada na incapacidade de se selecionar espigas grandes e folhas pequenas na mesma planta por exemplo. Grafius (1978) demonstrou que as plantas tendem a apresentar um alto nível de proporcionalidade de tamanho entre os diferentes órgãos e que existem restrições em relação a forma que a planta pode adquirir. Baseado nisso, os esforços para melhoramento devem levar em consideração a presença de simetria (harmonia) de tamanho entre as diferentes partes da planta.

Pleiotropia acontece quando um par de genes controla mais de uma característica na planta. O provável exemplo de pleiotropia estudado foi a presença de aristas múltiplas na espiga de cevada que estaria associado a maior fotosíntese líquida para a espiga do que plantas sem as aristas (JOHNSON et al., 1975). Porém, após a seleção de linhas com aristas múltiplas através de retrocruzamento, apenas 50 a 88% da produtividade do pai recorrente foi obtida (RASMUSSON; CROOKSTON, 1977), mostrando que espigas com aristas múltiplas apresentavam menor número de grãos e os grãos eram mais leves.

Compensação de caracteres acontece quando a seleção para uma determinada característica provoca alterações indesejáveis em outra característica. O exemplo estudado foi número de estômatos na folha de cevada. A seleção para maior número de estômatos na folha levou a redução no tamanho de cada estômato. A média de frequência estomatal e o comprimento de cada estômato na folha apresentam compensação e estão negativamente relacionadas ( $r = -0.86$ ) (MISKIN; RASMUSSON, 1970).

Germoplasma inferior para produtividade foi observado na hibridização para obtenção de folhas eretas em cevada. A cultivar fonte de folhas eretas apresentava apenas 59% da produtividade da cultivar padrão de controle. Após cinco ciclos de melhoramento, linhagens com folhas eretas apresentaram produtividades similares a

da cultivar controle, e com resistência a acamamento. Além disso, foram observadas alterações como redução na qualidade do malte, aumento da largura da folha e atraso na antese (RASMUSSEN, 1991).

A identificação de características que realmente valem a pena o investimento dentro do melhoramento por ideótipos é um grande desafio ao melhorista. Essa decisão deve ser feita pelo grupo de melhoramento levando em consideração não só os aspectos morfológicos e fisiológicos que afetam a produtividade, mas principalmente os fatores genéticos como germoplasma disponível para hibridização, herdabilidade da característica, pleiotropia, compensação e ligação com baixa produtividade. A obtenção de incremento em produtividade utilizando-se melhoramento por ideótipos pode não ser alcançada, ou é alcançada apenas depois de muita persistência (RASMUSSEN, 1991).

Marshall (1991) propôs a divisão da discussão das limitações de ideótipos como segue:

#### I. Problemas conceituais:

a) *O modelo diz que existe apenas um único genótipo/fenótipo ideal para um determinado ambiente.* A questão principal deste problema é que se um único genótipo ideal quase nunca emerge em populações naturais depois de anos de evolução, é improvável que estes genótipos existam. Porém, Hamblin (1993) afirmou que isso é apenas uma leitura mal feita do trabalho de Donald (1968), já que a sugestão inicial foi que para um determinado ambiente provavelmente existiria um único modelo ideal. Como já foi dito, experiência de melhoristas também confirmam que para a obtenção de sucesso, diferentes modelos de planta para cada cultura e ambiente devem ser desenvolvidos (RASMUSSEN, 1991). Além disso, o desenvolvimento do ideótipo deve ser dinâmico com o passar do tempo, levando em consideração as mudanças em conhecimento biológico, meio ambiente, práticas culturais e demanda de alimentos (DICKMANN et al., 1994).

b) *Dificuldade na definição de quais características são mais importantes ao modelo.* A base para escolha das características está na sua vantagem para a produtividade da planta, porém até mesmo características bem estudadas apresentam resultados contraditórios. A dificuldade é maior para características quantitativas (controladas por muitos genes) tais como comprimento da folha, largura, espessura, peso específico e ângulo (MARSHALL, 1991). Rasmusson (1984) mostrou que apesar de obter resultados contraditórios em diferentes estudos,

é possível definir características que poderiam ser melhoradas. Dickmann et al. (1994) reconheceram que a identificação de características a serem consideradas em um modelo era de difícil escolha, mas sugeriram que um trabalho em conjunto de melhoristas, geneticistas e fisiologistas poderia levar a uma definição dos melhores caracteres para seleção.

c) *Dificuldade na quantificação da habilidade competitiva da planta.* Para que uma comunidade de monocultura tenha alta produtividade, as plantas individuais devem ser competidores fracos, porém não se sabe como indivíduos de baixa competitividade poderiam ser identificados ou selecionados na segregação de uma população. Hamblin (1993) sugeriu duas opções para que a seleção pudesse ser feita: identificação de características que são universalmente relacionadas a baixa competitividade, ou avaliando a habilidade competitiva do genótipo contra outros genótipos. Existe pouco esforço por parte de fisiologistas em criar procedimentos para avaliação da habilidade competitiva em monoculturas que poderiam ser utilizados nessa seleção (MARSHALL, 1991). Donald (1968) deixou claro que o desenvolvimento do modelo não poderia ser baseado em sua habilidade de competição com outros genótipos mas sim no reconhecimento das características modelos presentes no ideótipo que contribuem para essa menor competitividade.

## II. Problemas práticos:

a) *Falta de diversidade genética.* Para que características modelo sejam incorporadas em cultivares elite é necessário que estas características existam no germoplasma disponível ao melhorista. Donald (1968), Rasmusson (1987) e Hamblin (1993) concordaram que a ausência de diversidade no germoplasma compromete o desenvolvimento do modelo e seria inviável economicamente tentar desenvolver características que não são encontradas no germoplasma atual disponível. Um bom exemplo para isso é a dificuldade de se encontrar cultivares de caule único em pequenos cereais. Mutantes naturais de caule único foram identificados em cevada e trigo. Outra técnica que pode ser utilizada para obtenção de caule único é a mutação artificial, porém efeitos deletérios de pleiotropia limitam o seu uso na prática e muito trabalho é necessário para a obtenção de cultivares que são viáveis. Melhoristas não irão considerar características que apesar de contribuírem para aumento de produtividade não apresentam a variabilidade genética necessária para a seleção (MARSHALL, 1991).

b) *Interação entre características.* Está claro que a interação entre características atrasa o desenvolvimento do ideótipo, como foi dito, Rasmusson (1991) encontrou efeitos de requerimento de simetria em tamanho das partes da planta, pleiotropia, compensação e principalmente germoplasma doador inferior. Marshall (1991) comparou o uso de caule único ao tamanho da inflorescência da planta e sugeriu que a característica de caule único fosse usada apenas para espécies em que o número de sementes produzida por planta fosse alto. Dessa forma espécies com alto número de sementes por planta tais como milho, sorgo, milheto e girassol concordam com a teoria de caule único, já plantas com baixo número de sementes (50-100 sementes) por planta tais como trigo e cevada não justificaria o uso de caule único mais sim o perfilhamento da planta para maior produção. Rasmusson (1987) propôs que pesquisadores deveriam priorizar características de acordo com simetria de tamanho, tomar a decisão de melhorar ou não características que são correlacionadas, levar em conta a herdabilidade e examinar o potencial de cada caractere à associação com efeitos negativos indesejáveis.

c) *A seleção de muitas características ao mesmo tempo torna-se impraticável.* O número de características listadas para incorporação em um modelo de planta pode ser muito grande, por exemplo Rasmusson (1987) listou 14 características (dentre as 27 estudadas) que tinham vantagem em produtividade para cevada de primavera no centro-oeste dos Estados Unidos. Este é um número expressivo de características e para cada caractere adicionado controlado por um único gene, o tamanho da população para seleção deve duplicar se o mesmo progresso para as duas características for mantido. Para características controladas por dois genes a população deve quadruplicar e assim por diante.

Para se ter uma ideia mais real deste número Marshall (1991) considerou duas linhas parentais que diferem entre si por 20 loci e que especificam caracteres de interesse pelo melhorista. Considerando-se o número de caracteres selecionado por melhorista de ideótipos entre 10-15, 20 loci são quantias modestas de genes. Assumindo que todos os loci sejam independentes, menos de 1 planta em um milhão [ $= (1/2)^{20}$ ] na população F2 de um cruzamento entre os pais teria os alelos desejados para cada um dos 20 loci. Para ter quase certeza de se encontrar uma planta com o genótipo desejado, a população teria que ser de 5 milhões de plantas.

Apesar de ser um exemplo extremo, o melhorista deve levar em conta o número de caracteres e fazer uma seleção criteriosa de poucas características conhecidas por influenciar positivamente a produtividade (MARSHALL, 1991). Por outro lado, Donald (1968) e Hamblin (1993) afirmaram que o processo de melhoramento deve ser feito em etapas, em que os caracteres são incorporados aos poucos e não tudo ao mesmo tempo; sendo assim, poderia ser possível selecionar progressivamente para diferentes caracteres em determinado ideótipo.

### **3.5 Alternativas ao uso de melhoramento por ideótipos**

A partir dessas desvantagens e devido ao avanço tecnológico na genética e no melhoramento, Marshall (1991) propôs duas alternativas ao uso de melhoramento por ideótipos:

1) *A avaliação de híbridos F1 como base para a seleção parental e seleção de cruzamentos em programas de melhoramentos de autógamias.* Sistemas que exploram heterose através do uso comercial de híbridos F1 foram desenvolvidos em um número grande de espécies incluindo sorgo e arroz. O sucesso desse sistema depende da produção eficiente de semente híbrida F1 em quantidades comerciais. O ganho de produtividade devido a heterose em trigo é cerca de 5-10% maior do que as cultivares de linhas puras, e é dificilmente suficiente para cobrir os custos de produção de sementes híbridas comercialmente. Consequentemente, híbridos de trigo ocupam apenas uma pequena parte do mercado e são incapazes de se desenvolver a não ser que o ganho de produtividade aumente ou o custo de produção diminua. Desse modo, a exploração indireta da heterose em trigo pode ser de grande vantagem ao melhorista para a decisão de seleção parental e quais cruzamentos merecem prioridade no programa de melhoramento. Para isso, a performance de produtividade de plantas F1 (de trigo por exemplo) é avaliada para tomada de decisão.

A grande dificuldade desse sistema está na obtenção de grande número de sementes híbridas suficientes para avaliação em testes a campo, o tempo e o custo de produção são consideráveis em espécies polinizadas manualmente. Além disso, é difícil de se obter dados confiáveis nas estimativas de produtividade de híbridos F1 em densidades comerciais com pequeno número de sementes. Espera-se que com advento de novas tecnologias e uso de agentes químicos de hibridização se consiga



facilitar a obtenção de sementes híbridas de espécies autógamas (MARSHALL, 1991).

2) *O uso de marcadores moleculares para seleção e manipulação de loci que controlam produtividade.* O desenvolvimento das técnicas de mapeamento genético tem passado por grandes avanços nas últimas duas décadas devido a redução de custo de sequenciamento de genomas. Marshall (1991) sugeriu o uso de marcadores baseados em polimorfismo de comprimento de fragmentos de restrição (Restriction fragment length polymorphism - RFLP) para o mapeamento de genes relacionados a produtividade. Atualmente a escolha de marcadores é baseada principalmente na sua facilidade de trabalho e na quantidade de polimorfismos encontrada no genoma. Sendo assim, o marcador preferencial escolhido é o de polimorfismo em uma única base nitrogenada de DNA (Single Nucleotide Polymorphism - SNP). A vantagem do uso de marcadores moleculares é que eles podem localizar genes ligados a efeitos negativos e auxiliar na seleção de genes favoráveis a planta.

A maioria das características importantes no melhoramento são controladas quantitativamente (controladas por um grande número de genes, cada um responsável por uma pequena contribuição para o fenótipo final) cada um desses genes recebe a denominação de *loci* de característica quantitativa (Quantitative Trait Loci - QTL). Dentre essas características quantitativas está a produtividade.

O argumento para o uso de ideótipos é que o uso de características bem definidas, com efeito positivo em produtividade, seria mais eficiente no desenvolvimento de cultivares mais produtivas do que tentar manipular um grande número de genes controlando produtividade apenas através de combinação aleatória e seleção convencional. Nesse contexto, o uso de marcadores moleculares tem objetivo de facilitar a identificação e o estudo de genes individuais que controlam características quantitativas (MARSHALL, 1991).

Apesar do uso de marcadores ser promissor nesse sentido, vários problemas práticos de identificação de genes e seleção de plantas devem ser superados. Primeiro, a identificação de QTL se dá através da avaliação de uma população F2 derivada da hibridização de duas linhas puras. Marcadores SNP são usados na população F2 junto com avaliação fenotípica de cada planta; correlaciona-se, assim, marcadores SNP ligados a QTL que demonstram efeito sobre a característica fenotípica de interesse. Dentre os problemas relacionados a QTL estão: as

estimativas de efeitos de QTL para características complexas são frequentemente inconsistentes; localização de QTL ou efeitos do QTL por si só não revelam informação biológica; as estimativas de localização, número e efeito de QTL estão sujeitas a erro estatístico; somente QTL que são polimórficos entre os dois pais podem ser identificados; marcadores moleculares ligados a um QTL podem se recombinar durante meiose levando a identificação de falsos positivos; a segregação de QTL não é a mesma dentro de diferentes populações (ou diferentes hibridizações); efeitos de QTL, em produtividade por exemplo, apresentam limitação quanto a sua transferência dentro de diferentes populações; e a piramidização de QTL em uma única cultivar se torna cada vez mais difícil com o aumento de número de QTL controlando uma característica. A inconsistência de QTL em diversos trabalhos se deve principalmente a dificuldade de identificação de QTL que são significantes para determinado caractere e predição do efeito de cada QTL para a característica desejada (BERNARDO, 2008).

Segundo a seleção assistida de plantas para características quantitativas, como a produtividade, tem se mostrado ineficiente pois essas características são controladas por vários QTL cujo efeito de cada QTL é bem pequeno. Porém, para características controladas por poucos QTL cujo efeito de cada QTL na definição do caractere é grande; bons resultados tem sido obtido na seleção, como por exemplo resistência ao nematoide do cisto da soja (Soybean Cyst Nematode - SCN) (BERNARDO, 2008).

### **3.6 Exemplos de ideótipos de plantas na bibliografia científica**

#### **3.6.1 Ideótipo de trigo**

O ideótipo de trigo apresentado por Donald (1968) (Figura 2) foi descrito para a regiões do norte da Europa. As características apresentadas por este autor são todas morfológicas, porém são baseadas em considerações fisiológicas.

As características selecionadas foram: caule baixo e forte; poucas folhas, pequenas e eretas; espiga grande e ereta; presença de arista; colmo único; entre outras. A maioria das vantagens dessas características já foi discutida nesse trabalho, exceto a presença de espigas grandes e eretas.

A espiga do trigo é um dos principais drenos da planta na demanda por fotoassimilados. Essa demanda é controlada pelo tamanho do dreno e sua força em relação as outras partes da planta. Sendo assim, o aumento do tamanho da espiga

resulta em uma maior demanda por fotoassimilados e conseqüentemente maior produtividade. Na ausência de demanda por fotoassimilados a planta apresenta mecanismos de redução na produção destes produtos através de uma cascata de eventos que tem início na redução de aproveitamento da energia luminosa pelos complexos antena nos centros de reação da fotossíntese. Portanto, geralmente as folhas não trabalham em capacidade máxima na ausência de demanda por fotoassimilados.

Entenda-se por espiga grande, uma espiga com número grande de flores férteis em relação a matéria seca total da planta para que não ocorra limitação na demanda de fotoassimilados. Já a espiga ereta proporciona melhor interceptação luminosa por todos os lados da espiga, esta conformação é a mais comum em trigo embora cultivares com espigas decumbentes possam ser encontradas.

Outras características importantes são: resistência a doenças; uso de cultivares de alta produtividade adaptadas ao local dentro do programa de melhoramento; florescimento precoce para maximização do número de flores por unidade de matéria seca durante o florescimento e também para o prolongamento do período de enchimento de grãos; persistência de tecido verde fotossintetizante nos estágios finais da cultura principalmente na região superior da planta; desejável acúmulo de açúcares no caule da planta; e alta proporção de raízes primárias.

Este modelo primário foi desenvolvido com base na modificação do ambiente pelas seguintes práticas agrícolas: a) alta densidade de plantio: como uma planta produzirá apenas uma espiga, a densidade de plantio deve aumentar por um fator que iguale ou supere a quantidade média de espigas existentes em variedades comerciais já que o modelo é adaptado a altas densidades; b) nível de fertilidade: altos níveis de fertilidade são recomendados para o modelo para que a planta tenha baixa esterilidade, máximo aproveitamento luminoso e o mínimo de acamamento. A medida que a fertilidade diminui, características como folhas eretas e espiga grande apresentam uma vantagem menor; c) espaçamento entre linhas: deve ser curto e de preferência em forma de quadrado (4,2 cm x 4,2 cm) para aproveitamento máximo do ambiente; d) controle de plantas espontâneas: é essencial o controle de plantas espontâneas pois o modelo é um competidor fraco em relação àquelas. Isso se deve principalmente a presença de folhas eretas na planta que permitem maior penetração luminosa utilizada pelas plantas espontâneas; e) disponibilidade de

água: de preferência em áreas irrigadas em que o suprimento de água é constante durante todo o ciclo da cultura (DONALD, 1968).

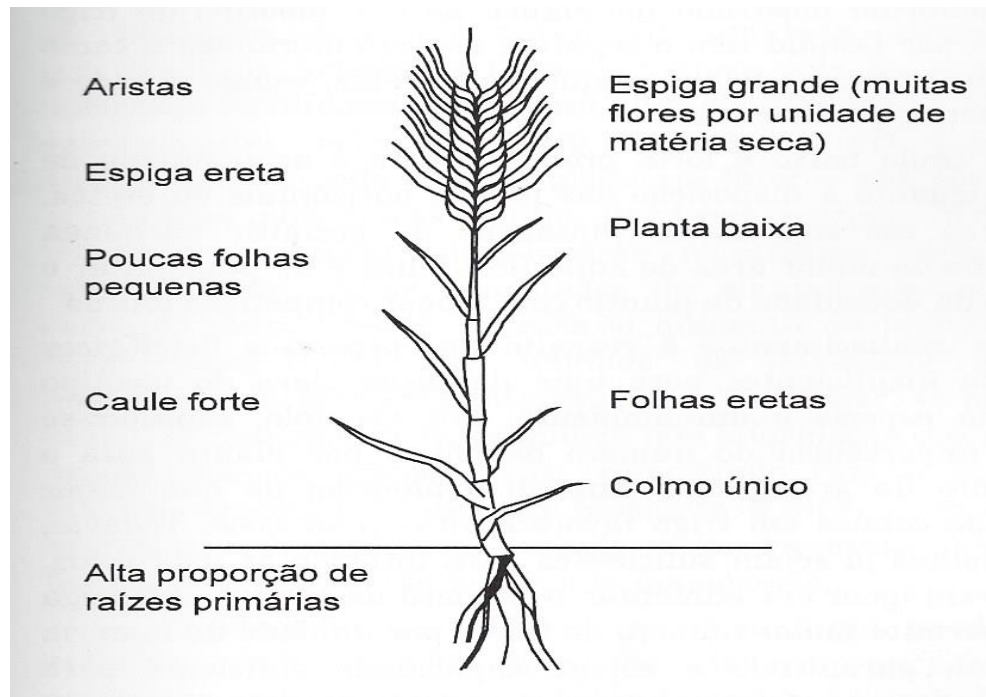


Figura 2. Ideótipo básico de trigo apresentado por Donald (1968).

FONTE: Borém e Miranda (2009).

### 3.6.2 Ideótipo de milho

Um ideótipo de milho foi proposto por Mock e Pearce (1975) para ambientes ótimos e que preconizam a máxima produção. Esse ambiente ótimo deve incluir: a) presença adequada de água; b) temperaturas favoráveis durante todo o período de crescimento da planta; c) fertilidade adequada; d) alta densidade de plantio; e) espaço entre linhas curto; e f) antecipação das datas de plantio. Os três primeiros fatores são óbvios para maior crescimento da planta, já os três últimos favorecem a máxima utilização luminosa durante todo o ciclo da cultura. A antecipação do plantio tem por objetivo antecipar a época de florescimento e proporcionar um período maior de enchimento de grãos na época de maior incidência luminosa (Junho a Julho para o cinturão do milho nos EUA).

As características morfológicas e fisiológicas descritas para o milho foram: a) orientação vertical das folhas acima da espiga (folhas abaixo da espiga devem ser orientadas horizontalmente), com densidades de plantio que proporcionem um IAF maior ou igual a quatro; b) taxas de fotossíntese altas e eficientes (por meio da

seleção de genótipos); c) alta eficiência na conversão de fotoassimilados em grão; d) consistência e rápida abertura floral feminina e coincidência entre antese e estigma receptivo (curto período entre antese e estigma receptivo); e) presença de prolificidade nas plantas de milho para aumento do dreno de fotoassimilados e redução da esterilidade das plantas; f) redução no tamanho do pendão do milho para não sombrear as folhas inferiores e para reduzir a competição por fotoassimilados em relação as outras partes da planta; g) tolerância ao frio durante a germinação de sementes e crescimento das plântulas (para áreas onde o plantio antecipado requer plantio em solos frios e encharcados – norte dos EUA); h) plantas insensíveis ao fotoperíodo (para que o plantio antecipado não interfira no atraso do florescimento); i) maior período de enchimento de grãos (quanto maior esse período melhor para o incremento em produtividade); e j) atraso na senescência das folhas (a permanência de tecido verde fotossintetizante nas fases de maturação fisiológica promovem maior enchimento do grão).

Mock e Pearce (1975) afirmam que essas características podem ser selecionadas e modificadas geneticamente através dos métodos de melhoramento, mas ressaltam a importância do estudo da variabilidade genética, correlações entre caracteres e herdabilidade de cada característica.

### **3.6.3 Ideótipo de cevada**

O ideótipo de cevada foi apresentado por Rasmusson (1987) baseado em 20 anos de pesquisa e seleção de linhagens modelos. No começo do seu trabalho foram consideradas 27 características que, com o passar do tempo, se reduziram a 14 (Tabela 2). A redução no número de características se deu em razão da seleção de caracteres com alta herdabilidade e devido aos problemas já apresentados como pleiotropia, compensação de caracteres e germoplasma doador inferior.

A manutenção do número de espigas por m<sup>2</sup>, a redução da altura da planta e o maior diâmetro do colmo foram definidas para que se tenha uma maior resistência a acamamento. Sendo que a redução na altura também está associada a um maior índice de colheita. Presença de aristas múltiplas não foi considerado devido aos seus efeitos negativos de menor número de grãos por espiga, menor peso de grãos e menor produtividade (JOHNSON et al., 1975).

A escolha de folhas mais largas entra em conflito com a proposta de Donald (1968), porém essa escolha foi baseada em maior área foliar por planta e na

harmonia com o objetivo de uma espiga grande. Essa proposta de ideótipo assim como o ideótipo de trigo de Donald (1968) são hipóteses a serem testadas e que serão modificadas com o advento de conhecimentos mais detalhados da fisiologia vegetal, herdabilidade, inter e intra relacionamento das diversas partes da planta e melhoramento molecular.

Tabela 2. Ideótipo de cevada proposto para 14 características para o Centro-Oeste dos EUA.

<b>Característica</b>	<b>Fenótipo Padrão<sup>1/</sup></b>	<b>Nível Atual Preferido</b>	<b>Fenótipo Sugerido</b>
<b>Colmo</b>			
Número de perfilhos/m <sup>2</sup>	450	Sim	
Diâmetro (mm)	5,0	Não	5,2
Comprimento (cm)	86	Não	80
<b>Espiga</b>			
Número/m <sup>2</sup>	350	Sim	
Grãos/espiga (número)	54	Não	60
Peso médio dos grãos (mg)	34	Não	40
Comprimento da arista (mm)	13	Sim	
<b>Folha</b>			
Comprimento (cm)	20	Sim	
Largura (mm)	16	Não	18
Ângulo (folhas superiores)	-	-	semiereto
<b>Ciclo</b>			
Enchimento de grãos (dias)	30	Não	32
Período vegetativo (dias)	52	Não	54
<b>Outros</b>			
Biomassa (Mg/ha)	4,5	Não	5,2
Índice de colheita (%)	47	Sim	

<sup>1/</sup> Com base em dois cultivares-padrão de 1987.

FONTE: Rasmusson (1987).

No centro-oeste do Brasil destaca-se a cultivar BRS Savanna devido ao seu alto rendimento e boa qualidade malteira. Essa cultivar apresenta rendimento médio

de 5.908 kg ha<sup>-1</sup>; peso médio de mil grãos de 47,5 g; resistência a acamamento; folha bandeira curta com disposição ereta; espiga longa com média de 9,27 cm e com disposição ereta na maturação; média de 72,3 grãos por espiga; e aristas longas. A qualidade do malte da cultivar BRS Savanna atende a maioria das especificações da indústria cervejeira, característica essa muito importante na seleção de ideótipos de cevada (AMABILE, 2013).

#### **2.6.4 Ideótipos de arroz**

Devido a estagnação de produtividade observada em arroz causada principalmente pela presença de elevado número de perfilhos inférteis e de panículas pequenas; o Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz (IRRI) começou o melhoramento por ideótipos em 1989, para tentar superar esses problemas. As características iniciais consideradas são todas morfológicas devido a facilidade de observação quando comparado com caracteres fisiológicos. A primeira proposta para um novo tipo de planta (New Plant Type - NPT) foi: baixa capacidade de perfilhamento (3-4 perfilhos quando em plantio direto); poucos perfilhos inférteis; 200-250 grãos por panícula; altura da planta entre 90 e 100 cm; caule grosso e forte; folhas grossas, verdes escuras, e eretas; sistema de raízes vigorosas; 100-130 dias para fechamento de ciclo; e elevado índice de colheita (PENG et al., 1994).

A primeira geração NPT obtida em 1993 através de germoplasma tropical japônica tinha panículas grandes, poucos perfilhos inférteis, e resistência a acamamento. Porém, apresentavam baixa produtividade devido a baixa produção de biomassa e fraco enchimento de grãos. O fraco enchimento de grãos se deu provavelmente devido a falta de dominância apical dentro da panícula (YAMAGISHI et al. 1996), a compacta organização das espigas na panícula (KRUSH; PENG, 1996), um número limitado de vasos de floema, e a limitação na fonte de fotoassimilados devido a senescência precoce das folhas (LADHA et al., 1998). Além disso, apresentavam susceptibilidade a doenças e insetos e baixa qualidade de grão.

Segunda geração NPT começou em 1995 através do cruzamento de primeira geração NPT tropical *Japonica* com linhas elite de subespécie *Indica*. Os objetivos principais eram aumento na capacidade de perfilhamento pra aumento da biomassa produzida e pequena redução no tamanho da panícula sem alterar o seu comprimento. A segunda geração NPT foi maior em produtividade comparando-se a

primeira geração, tendo uma cultivar lançada no mercado em 2007, porém, não foi encontrada diferença significativa de produtividade entre segunda geração NPT e variedades padrões de controle *Indica*. Sendo assim, novos objetivos foram descritos para um incremento de 10% na produtividade de segunda geração: 330 panículas por m<sup>2</sup>; 150 espiguetas por panícula; 80% de enchimento de grão; 25 mg para a massa de um grão (seco em forno), 22 t ha<sup>-1</sup> de biomassa total acima do solo (para 14% de umidade), e 50% de índice de colheita (PENG; KHUSH, 2003).

Estimulados pelo programa de melhoramento por ideótipos no IRRI, a China estabeleceu um projeto para o desenvolvimento do “super arroz”. O programa de melhoramento começou em 1998 com o objetivo de usar o melhoramento por ideótipos junto ao aproveitamento da heterose em arroz. O “super arroz” seria proveniente da combinação entre um intermediário *Indica* e *Japonica* com um pai *Indica* para a formação de um híbrido F1 e seria utilizado em áreas irrigadas de arroz na China (YUAN, 2001).

O ideótipo de arroz híbrido F1 idealizado apresentaria as seguintes características: a) moderada capacidade de perfilhamento (270-300 panículas m<sup>-2</sup>); b) panículas de elevada massa (5 g por panícula) e com caimento na maturidade; c) altura da planta de pelo menos 100 cm (da superfície do solo até a ponta superior da planta não dobrada) e altura da panícula de 60 cm (da superfície do solo até a ponta superior da panícula em sua posição natural) na maturidade da planta; d) as três folhas superiores: comprimento de 50 cm para folha-bandeira e de 55 cm para folha secundária e terciária. Devem permanecer eretas até o final do ciclo com ângulos de 5°, 10° e 20° para folha bandeira, folha secundária e folha terciária, respectivamente. Folhas estreitas e em forma de “V” (2 cm de largura). Folhas grossas (peso específico das três folhas superiores deve ser de 55 g m<sup>-2</sup>). IAF das três folhas superiores é aproximadamente 6:1; e e) índice de colheita de aproximadamente 55%.

Várias cultivares do “super arroz” foram lançadas no mercado no período entre 1998-2005 (MIN et al., 2002; CHENG et al., 2007). Dentre essas destacam-se duas: Xieyou 9308 e Liangyoupeijiu, ambas com altas produtividades e boa qualidade de grão. As características morfológicas do híbrido Xieyou 9308 são: a) Altura de planta de 120-135 cm; b) 45, 55 e 60 cm de comprimento de folha e ângulos menores que 10°, 20° e 30° para folha bandeira, folha secundária e folha terciária, respectivamente; c) 2,5; 2,1 e 2,1 cm de largura de folha e 15%, 10% e



10% para curvatura da folha bandeira, folha secundária e folha terciária, respectivamente; d) 26-28 cm de comprimento da panícula; e) 170-190 espiguetas por panícula; f) 250 panículas  $m^{-2}$ ; g) 90% de enchimento de grãos; h) peso de 1000 grãos de 28 g; e i) peso da panícula de 4 g.

Xieyou 9308 produziu  $11,53 t ha^{-1}$  no campo com ciclo de 150 dias enquanto que o híbrido padrão para comparação (Xieyou 63) apresentou produtividade de  $9,82 t ha^{-1}$  (ZHU et al., 2002). A maior produtividade foi decorrente de uma panícula de maior tamanho e também maior enchimento de grãos em relação a Xieyou 63. Além disso, Xieyou 9308 apresentou maior número de perfilhos férteis e maior biomassa total acima do solo durante florescimento e maturidade fisiológica. O elevado enchimento de grãos está associado a uma maior taxa fotossintética da folha-bandeira, atraso na senescência das folhas, eficiente remobilização de nutrientes e boa atividade das raízes. (WANG et al., 2002; ZHAI et al., 2002).

Liangyoupeijiu atingiu uma produtividade máxima de  $12,11 t ha^{-1}$  com ciclo de 135 dias em experimentos a campo no ano de 2000. As características morfológicas do híbrido Liangyoupeijiu são: a) altura de planta de 115-125 cm; b) 35-45 cm de comprimento da folha bandeira; c) 24-26 cm de comprimento de panícula; d) 190-210 espigas por panícula; e) 200-250 panículas  $m^{-2}$ ; f) 85% de enchimento de grãos; e g) peso de 1000 grãos de 26-27 g (YU; LEI, 2001).

O híbrido Liangyoupeijiu produziu  $11,3 t ha^{-1}$  em uma demonstração de experimento, 28,6% a mais que a cultivar padrão de controle Shanyou 63 (ZONG et al., 2000). Liangyoupeijiu teve biomassa aérea 12,1% maior que Shanyou 63. A produção de maior biomassa está associada ao alto IAF (IAF de 9,10 para Liangyoupeijiu e de 8,42 para Shanyou 63); atraso na senescência das folhas; folhas grossas e eretas; alto conteúdo de clorofila; e alta taxa fotossintética. A alta produtividade está também relacionada ao alto índice de colheita que foi de 56% para Liangyoupeijiu e de 49% para Shanyou 63.

Ambos os projetos IRRI e “super arroz” na China preconizam panículas grandes e pesadas; redução do perfilhamento e resistência a acamamento. Porém algumas características foram melhoradas nas plantas de “super arroz”. Em plantas híbridas do “super arroz” as panículas são mantidas dentro do dossel diferentemente das plantas originais NPT pois o benefício de panículas com alturas menores para aumento da fotossíntese e do potencial de produtividade foi descoberto somente em 1995 (SETTER et al., 1995; 1996). Além disso; o híbrido de “super arroz” tem ênfase

nas três folhas superiores da planta: comprimento; ângulo; forma; espessura; e área são definidas em detalhes na concepção do modelo (PENG et al., 2008).

No Brasil o arroz de sequeiro de terras altas para não perder espaço no campo foi melhorado para apresentar características de grão longo e fino; porte baixo; folhas eretas; e redução do perfilhamento. Dentre as cultivares lançadas destacam-se a cultivar Maravilha e a cultivar Primavera. A cultivar Primavera foi lançada ao mercado em 1997, possui média de 7 perfilhos por planta e apresenta excelente qualidade culinária. Essa cultivar é atualmente a mais plantada na região do Mato Grosso para arroz sequeiro (HEINEMANN et al., 2008).

Atualmente existe também no Brasil a empresa de origem americana Ricetec que disponibiliza híbridos de arroz ao mercado brasileiro. Os híbridos apresentam produtividades de 11,5 a 14,0 t ha<sup>-1</sup>; altura de planta de 80 a 100 cm e alta capacidade de perfilhamento (RICETEC, 2014).

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O ideótipo de Donald (1968) tem estimulado a pesquisa na possibilidade de exploração de um método mais definido e menos empírico no melhoramento por maior produtividade em cereais; tanto em relação a escolha da forma da planta, quanto na adaptação ao ambiente de cultivo. Bom progresso tem sido feito e alguns problemas surgiram, especialmente no que se refere ao desenvolvimento do germoplasma necessário para a manipulação da forma da planta (SEDGLEY, 1991).

Descoberta, criação e avaliação de novos bancos germoplasma será de grande importância para o estabelecimento de características modelo nos ideótipos. Isso só será possível através da realização de vários cruzamentos, uso de germoplasma exótico e uso de engenharia genética. Essa pesquisa com germoplasma contribui para o desenvolvimento de uma gama maior de materiais genéticos com a variabilidade necessária para o melhoramento da produtividade e da adaptação em ambientes agrônômicos de alta competição entre plantas.

O compartilhamento de germoplasma elite com características modelos entre os melhoristas, pode gerar um banco de germoplasma com as características de interesse e facilitar a pesquisa futura, assim como existem bancos de germoplasma com materiais tolerantes a doenças (RASMUSSEN, 1991).

Não existe evidência experimental que contradiz o uso do conceito de ideótipo de planta dentro do melhoramento tradicional (SEDGLEY, 1991). Porém, a sua implementação enfrenta problemas que precisam ser superados para que o custo/benefício seja favorável dentro do programa de melhoramento. Vários fatores devem ser considerados antes da sua implementação para cada cultura e ambiente tais como: genéticos, de cultivo e de seleção de características.

É importante que características individuais com efeito positivo em produtividade sejam experimentadas em diferentes combinações durante vários ciclos de melhoramento. A partir do momento em que uma dessas características é incorporada em um germoplasma elite de alta produtividade; o progresso com melhoramento se torna mais fácil, pois essa característica poderá ser testada repetitivamente em cruzamentos com vários objetivos a um custo moderado.

Poucas características, conhecidas por terem maior vantagem no incremento de produtividade, devem ser consideradas. Com base nesse trabalho, entre as características que se podem destacar estão: folhas eretas; baixa estatura; tamanho

(número e peso de grãos) da espiga; índice de colheita e biomassa total; maior período de enchimento de grãos; e atraso na senescência das folhas. Essas características podem ser alteradas geneticamente desde que haja disponibilidade de variabilidade genética para seleção. Além disso, para que o programa de melhoramento seja rápido, de baixo custo e mais eficiente; deve-se dar prioridade a características morfológicas que são de fácil visualização, que apresentam alta herdabilidade e que já estão inseridas em genótipos elite adaptados a região de interesse.

Conforme Fagioli (2014)<sup>1</sup> o milho moderno, por exemplo, mostra tendência a apresentar as seguintes características: a) atraso na senescência das folhas e caule; b) espiga decumbente após maturação; c) uma espiga por planta (não prolífero); d) grão duro e vermelho; e) elevada pressão de palha da espiga; f) altura de planta reduzida; g) inserção da espiga a 1,0 m de altura; h) pendão reduzido; i) espiga cilíndrica e grãos profundos; j) resistência a doenças de colmo; e k) transgenia para resistência à insetos, herbicidas e à seca.

Cabe ao agrônomo e melhorista otimizar o ambiente e o tipo de planta para garantir máxima produção de grãos dentro do ambiente. Para que o uso de características modelos tenham vantagem em maior rendimento de cereais, essas devem ser utilizadas junto com práticas agrônômicas corretas tais como: época de plantio; espaçamento entre linhas; e densidade de plantas.

Apesar do uso de melhoramento por ideótipos só ser vantajoso se uma nova cultivar apresentando as características modelos for competitiva com as novas cultivares lançadas pelo melhoramento tradicional; o melhorista poderá ser beneficiado pela incorporação de ideótipos uma vez que o mesmo poderá estabelecer objetivos para cada característica da planta; facilitando sua tomada de decisão sobre a estrutura do programa de melhoramento, o tipo de germoplasma a ser introduzido e a avaliação de estratégias para a análise do rendimento dos materiais (RASMUSSEN, 1991).

Outra contribuição de ideótipos está na geração de hipóteses para pesquisa futura, particularmente na identificação de características e métodos para o aumento direto do potencial de produtividade. No nível fisiológico ainda carecem muitas informações sobre o papel dos caracteres da planta no incremento de rendimento

---

<sup>1</sup> FAGIOLI, M. (UnB/Curso de Agronomia). Comunicação pessoal, 2014.

em cereais, sendo assim o conceito de ideótipo promove a busca dessas informações que no futuro poderão contribuir para maiores produtividades.

Por outro lado, o melhoramento por ideótipos, em que a maior parte das características consideradas são morfológicas, apresenta limitações e provavelmente não substituirá o melhoramento tradicional na busca por maiores produtividades em cereais. Pleiotropia, compensação e principalmente germoplasma doador inferior atrasam o progresso na busca por ideótipos com maior produtividade. Sendo assim, melhoramento por ideótipos não deve ser considerado em programas que visam lançamento de cultivares a curto prazo, pois geralmente as características de interesse estão presentes em cultivares de baixa produtividade não adaptadas a região e que necessitam de vários ciclos de melhoramento.

Características conhecidas por influenciar estresse e tolerância a doenças podem ampliar o conceito de ideótipo e serem bastante utilizadas no futuro. Ênfase em “eliminação de defeitos” (como por exemplo seleção de plantas resistentes a doenças) para aumento de produtividade continuará a exercer papel fundamental em ambientes com altas incidências de doenças e pragas como o Brasil, onde o estabelecimento de maior produtividade é frequentemente limitado por condições ambientais e de manejo do que pelo potencial genético para produtividade por si só.

Existe ainda uma grande demanda de estudos sobre os ambientes agrônômicos e como as plantas se adaptam a eles. A falta de conhecimento sobre a interação entre esses fatores é uma das maiores limitações ao aumento direto da produtividade. O uso de marcadores moleculares entra como complemento ao melhoramento tradicional para a caracterização da variabilidade genética e associação entre o genótipo e o ambiente. Apesar do uso de marcadores moleculares ser limitado na seleção de características quantitativas a identificação de genes individuais pode ser de grande importância no futuro, pois assim pode-se ter a demonstração biológica de como uma maior produtividade pode ser alcançada. Espera-se que no futuro o uso de marcadores moleculares ajudem na seleção por produtividade e por características modelos assim como eles vem sendo usados na seleção de plantas transgênicas e resistentes a doenças.

Deve-se haver interação e colaboração entre melhoristas, fisiologistas e geneticistas para o estabelecimento de um modelo adequado de planta. A identificação apropriada de caracteres se tornará mais fácil a partir da pesquisa sobre os recursos genéticos disponíveis para a variabilidade de uma ou mais

características. Posteriormente deve ser feita a elaboração de uma estratégia de melhoramento para a descrição de um ideótipo dinâmico final. Espera-se com isso promover o aumento direto do potencial de produtividade de cereais e também aumento no ganho de produtividade por unidade de tempo.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tendo em vista as informações apresentadas nesse trabalho pode-se concluir que:

- Melhoramento por ideótipos deve ser usado como um complemento ao melhoramento tradicional;
- A continuidade e longevidade de um programa de melhoramento é essencial para um bom progresso tanto no melhoramento tradicional quanto no melhoramento por ideótipo;
- Diferentes modelos para cada cereal ou ambiente produtivo precisam ser desenvolvidos para obtenção de sucesso;
- O uso de marcadores moleculares fará com que determinadas características sejam alcançadas a curto prazo e mais facilmente;
- Existe a necessidade de completar o melhoramento com base em caracteres morfoagronômicos usando-se também estudos fisiológicos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADRIVON, D.; GIORGETTI, C.; BARANGER, A.; CALONNEE, A.; CARTOLARO, P.; FAIVRE, R.; GUYADER, S.; LAURI, P.E.; LESCOURRET, F.; PARISI, L.; NEY, B.; TIVOLI, B.; SACHE, I. Defining and designing plant architectural ideotypes to control epidemics? **European Journal of Plant Pathology**, v.135, p.611-617, 2013.
- ALMEIDA, M.L.; MUNDSTOCK, C.M.; SANGOI, L. Conceito de ideótipo e seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, v.28, n.2, p.325-332, 1998.
- AMABILE, R.F. **Caracterização molecular, morfoagronômica e de qualidade de grãos de genótipos elite de cevada irrigada no Cerrado**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 220f. Tese de Doutorado.
- AUSTIN, R.B.; BINGHAM, J.; BLACKWELL, R.D. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. **Journal of Agricultural Science**, v.94, p.675-690, 1980.
- BERNARDO, R. Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years. **Crop Science**, v.48, p.1649-1664, 2008.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de Plantas**. 5.ed., Viçosa: UFV, p.362-373, 2009.
- CHENG, S.; CAO, L.; ZHUANG, J.; CHEN, S.; ZHAN, X.; FAN, Y.; ZHU, D.; MIN, S. Super hybrid rice breeding in China: achievements and prospects. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, p.805-810, 2007.
- DICKMANN, D.I.; GOLD, M.A.; FLORE, J.A. **The ideotype concept and the genetic improvement of tree crops**. John Wiley and Sons Inc., Westpoint Conn, v.12, p.163-193, 1994.
- DONALD, C.M. In search of yield. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v.28, p.171-178, 1962.
- DONALD, C.M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, v.17, p.385-403, 1968.
- DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The convergente evolution of anual seed crops in agriculture. **Advances in Agronomy**, v.36, p.97-139, 1983.
- DOWSWELL, C. Norman Ernest Borlaug (1914-2009). **Science**, v.326, p.381, 2009.
- GIL-MUNOZ, A. **Characterization of the apical ear mutante of maize: Preliminary steps toward an ideotype**. PhD Dissertation, Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 1998, 150p.

GRAFIUS, J.E. Multiple characters and correlated response. **Crop Science**, v.18, p.931-934, 1978.

GYMER, P.T. The achievements of 100 years of barley breeding. In: ASHER, M.J.C. (Ed.). **Barley Genetics**, Edinburgh: EUP, 1981, p.112-117.

HAMBLIN, J. The ideotype concept: useful or outdated? In: **International Crop Science I**, 1993, Ames, EUA. Crop Science Society of America, Ames, p.589-598, 1993.

HAMID, Z.A.; GRAFIUS, J.E. Developmental allometry and its implication to grain yield in barley. **Crop Science**, v.18, p.83-86, 1978.

HEINEMANN, A.B.; CASTRO, L.M.; STONE, L.F.; BRESEGHELLO, F. Caracteres morfológicos do crescimento e desenvolvimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Embrapa Arroz e Feijão**, v.229, 2008, 28p.

JOHNSON, R.R.; WILLMER, C.M.; MOSS, D.N. Role of awns in photosynthesis, respiration, and transpiration of barley spikes. **Crop Science**, v.15, p.217-221, 1975.

KHUSH, G.S.; PENG, S. Breaking the yield frontier of rice. In: REYNOLDS, M.P.; RAJARAM, S.; MCNAB, A. **Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers**. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico, p.36-51, 1996.

LADHA, J.K.; KIRK, G.J.D.; BENNETT, J.; PENG, S.; REDDY, C.K.; REDDY, P.M.; SINGH, U. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved lowland rice germplasm. **Field Crops Research**, v.56, p.41-71, 1998.

MARSHALL, D.R. Alternative approaches and perspectives in breeding for higher yields. **Field Crops Research**, v.26, p.171-190, 1991.

MIN, S.; CHENG, S.; ZHU, D. China's "super" rice breeding and demonstration in the rice production fields: an overview. **China Rice** 2, p.5-7, 2002.

MISKIN, K.E.; RASMUSSEN, D.C. Frequency and distribution of stomata in barley. **Crop Science**, v.10, p.575-578, 1970.

MOCK, J.J.; PEARCE, R.B. An ideotype of maize. **Euphytica**, v.24, p.613-623, 1975.

PENG, S.; KHUSH, G.S. Four decades of breeding for varietal improvement of irrigated lowland rice in the International Rice Research Institute. **Plant Production Science**, v.6, p.5-20, 2003.

PENG, S.; KHUSH, G.S.; CASSMAN, K.G. Evaluation of a new plant ideotype for increased yield potential. In: CASSMAN, K.G. **Breaking the Yield Barrier: Proceedings**, Workshop on Rice Yield Potential in Favourable Environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, p.5-20, 1994.



PENG, S.; KHUSH, G.S.; VIRK, P.; TANG, Q.; ZOU, Y. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. **Field Crops Research**, v.108, p.32-38, 2008.

PEPPER, G.E. **The effect of leaf orientation and plant density on the yield of maize (*Zea mays* L.)**. Ph.D. Dissertation, Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 1974, 97p.

RASMUSSEN, D.C.; CROOKSTON, R.K. Role of multiple awns in determining barley yields. **Crop Science**, v.17, p.135-140, 1977.

RASMUSSEN, D.C. **Ideotype research and plant breeding**. In: STADLER GENETICS SYMPOSIUM, 1984. v.16.

RASMUSSEN, D.C. An evaluation of ideotype breeding. **Crop Science**, v.27, p.1140-1146, 1987.

RASMUSSEN, D.C. A plant breeder's experience with ideotype breeding. **Field Crops Research**, v.26, p.191-200, 1991.

RICETEC. **Híbridos de arroz**. Disponível em: <[http://www.ricetec.com.br/hibridos\\_arroz.php](http://www.ricetec.com.br/hibridos_arroz.php)>. Acesso em: 03 dez. 2014.

SEDGLEY, R.H. An appraisal of the Donald ideotype after 21 years. **Field Crops Research**, v.26, p.93-112, 1991.

SETTER, T.L.; CONOCONO, E.A.; EGDANE, J.A. Possibility of increasing yield potential of rice by reducing panicle height in the canopy. Canopy photosynthesis and yield of isogenic lines. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, p.161-169, 1996.

SETTER, T.L.; CONOCONO, E.A.; EGDANE, J.A.; KROPFF, M.J. Possibility of increasing yield potential of rice by reducing panicle height in the canopy. Effects of panicles on light interception and canopy photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.441-451, 1995.

WADDINGTON, S.R.; RANSOM, J.K.; OSMANZAI, M.; SAUNDERS, D.A. Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to north-west Mexico. **Crop Science**, v.26, p.698-703, 1986.

WANG, X.; TAO, L.; YU, M. Physiological characteristics of "super" hybrid rice variety, Xieyou9308. **Chinese Journal of Rice Science**, v.16, p.38-44, 2002.

YAMAGISHI, T.; PENG, S.; CASSMAN, K. G.; ISHII, R. Studies on grain filling characteristics in "New Plant Type" rice lines developed in IRRI. **Japanese Journal of Crop Science**, v.65 (Extra issue n° 2), p.169-170, 1996.

YU, C.; LEI, J. Theory and practice of super rice breeding in China. **Acta Agriculture Jiangxi**, v.13, p.51-59, 2001.

YUAN, L. Breeding of super hybrid rice. In: PENG, S.; HARDY, B. **Rice research for food security and poverty alleviation**. Los Baños: IRRI, 2001. p.143-149.

ZHAI, H.; CAO, S.; WAN, J.; ZHANG, R.; LU, W.; LI, L.; KUANG, T.; MIN, S.; ZHU, D.; CHENG, S. Relationship between leaf photosynthetic function at grain filling stage and yield in super high-yielding hybrid rice. **Science China Series C-Life Science**, v.45, p.637-646, 2002.

ZHU, D.; LIN, X.; CHEN, W.; SUN, Y.; LU, W.; DUAN, B.; ZHANG, Y. Nutritional characteristics and fertilizer management strategies for “super” rice variety, Xieyou 9308. **China Rice 2**, p.18-19, 2002.

ZONG, S.; LU, C.; ZHAO, L.; WANG, C.; DAI, Q.; ZOU, J. Physiological basis of high yield of an intersubspecific hybrid rice, Liangyoupeijiu. **Journal of Nanjing Agriculture and Technology College**, v.16, p.8-12, 2000.