

ULISSES VIEIRA GUIMARÃES

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E PERNAMBUCO**

RECIFE-PE – FEVEREIRO/2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Modelagem Estatística e Computacional

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RECIFE-PE – FEVEREIRO/2010

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM ALAGOAS E PERNAMBUCO

ULISSES VIEIRA GUIMARÃES

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 10/02/2010 pela Comissão Examinadora.

Orientador:

Profº. Dr. José Antônio Aleixo da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Profº. Dr. Clodoaldo José da Anunciação Filho
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª. Dra. Tatijana Stosic
Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profº. Dr. Kléber Régis Santoro
Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Agradecimentos

No decorrer da vida fazemos várias escolhas, mas nem sempre a fazemos sozinhos. A realização deste trabalho foi uma destas escolhas. Chegou a hora de agradecer a todos que contribuíram, de qualquer forma, para que esta etapa de minha vida fosse concluída com sucesso.

Da Universidade Federal Rural de Pernambuco tenho muito a quem agradecer. Primeiramente ao Prof. José Antônio Aleixo da Silva, pelo conhecimento que adquiri durante duas disciplinas em que fui seu aluno, pela sugestão do tema dessa dissertação e pela orientação.

Ao Prof. Eufrázio Santos que me deu a oportunidade de conhecer o Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada, durante uma palestra ministrada na UFS.

Aos professores do programa, em especial ao Prof. Borko Stosic e a Prof^a Tatijana Stosic, pelos importantes ensinamentos que enriqueceram a minha qualificação acadêmica e profissional.

Ao amigo Marco Santos, competente e dedicado técnico-administrativo “multifuncional” e à Zuleide pela amizade, carinho e proteção.

Ao Dr. Cauby, da Usina Trapiche, que cedeu gentilmente os dados necessários para a realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

Aos colegas do mestrado, pelos momentos em que passamos juntos, pelas ajudas que demos uns aos outros. Que a formação adquirida nesse curso possa contribuir para a realização de mais conquistas.

Agradeço a minha mãe, Nadja, pela educação, amor, lições e pelas interferências feitas em minha vida. Pelo exemplo de seriedade, competência e dedicação à nossa família. À minha segunda mãe, Cenira, pelos cuidados e paciência com este filho. À Ingrid, minha irmã, e Marcelo, meu cunhado, pelos conselhos e incentivos, pela amizade e companheirismo. Muito obrigado! À minha prima-irmã Flávia pelos

momentos de descontração. Livinha, minha namorada, obrigado pela companhia, paciência, cuidado, carinho e amor que você tem por mim. Parecia uma eternidade e dois anos se passaram, tenho certeza que o sacrifício de ficar esse tempo longe de você valerá à pena.

Pela formação acadêmica, conselhos, incentivos, orientações e apoio que me foi dado, agradeço aos professores que compõem o Departamento de Estatística e Ciências Atuariais da Universidade Federal de Sergipe em especial a Manuel L. Figueirôa, Lázaro de S. Araújo, Daniel F. N. Castañeda, Samuel de O. Ribeiro, Suzana L. Russo, Marcela V. A. de S. Bernardes e Kleber F. de Oliveira. Pela formação profissional, não posso deixar de agradecer a todos que fazem parte da Coordenação de Concurso Vestibular da UFS, onde trabalhei durante minha graduação, pela compreensão que me propiciou conciliar o emprego com o estudo, e pela amizade construída pelos dias de convivência que espero levar para toda a vida.

Aos amigos Renato e Gustavo, pela convivência, conversas e por tudo o que passamos juntos durante esses dois anos.

Agradeço a Deus pela criação, por me dar saúde e determinação para alcançar meus objetivos e me fazer cruzar os caminhos de pessoas especiais em minha vida.

“Não viajo lugares
Viajo pessoas”

Iara Vieira

Resumo

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a magnitude da interação entre genótipos de cana-de-açúcar e ambientes e a adaptabilidade e estabilidade para o caráter açúcares totais recuperados (ATR) por meio dos métodos propostos por Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Annicchiarico (1992). Foram avaliados oito genótipos de cana-de-açúcar cultivados na Usina Trapiche no Estado de Pernambuco e Usina Serra Grande no Estado de Alagoas. O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições durante o período de 2004 a 2008, referentes aos cortes: cana-planta, cana-soca, cana-ressoca e quarta folha, respectivamente. Verificou-se a existência de diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada ambiente. Dos genótipos avaliados, tem-se em destaque o genótipo G8 por obter a média de produtividade de ATR acima da média geral, adaptável e recomendado para todos os tipos de ambientes, segundo os métodos Eberhart e Russel (1966), Cruz *et al.* (1989) e Annichiarico (1992), e alta estabilidade segundo os métodos já citados e Wricke (1965). O G5 foi o mais produtivo, adaptável a todos os tipos de ambientes, no entanto apresenta baixa estabilidade, isto é, seu comportamento é imprevisível. Em ambientes desfavoráveis, se destaca o genótipo G4, com alta produtividade e responde bem às mudanças ambientais. Notou-se uma forte associação entre os resultados dos métodos Eberhart e Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989), sendo estes baseados em análise de regressão linear simples e regressão linear bissegmentada, respectivamente. A utilização de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade de forma combinada pode ser interessante e agregar informações a respeito do comportamento dos genótipos avaliados, no entanto, o uso desses métodos, baseados em mesma estatística, é desaconselhável.

Palavras-chave: interação genótipo x ambiente, melhoramento genético, Açúcares Totais Recuperados (ATR).

Abstract

The objective of this study was to assess the magnitude of the interaction between genotypes of cane sugar and environments and the adaptability and stability to the character of total sugar recovered (TSR) using the methodology proposed by Wricke (1965), Eberhart and Russell (1966), Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and Annicchiarico (1992). It was evaluated eight genotypes of sugar cane cultivated in Usina Trapiche in the State of Pernambuco and Usina Serra Grande in the State of Alagoas. The experimental design was a randomized block design with four blocks during the period 2004 to 2008, referring to cuts, sugarcane, ratoon, second ratoon cane and fourth leaf, respectively. It was observed differences among genotypes within each environment. The evaluation of genotypes, has highlighted the G8 genotype to obtain the average productivity of TSR above the overall average, adaptable and suitable for all types of environments, according to Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989) and Annicchiarico (1992), and high stability by the methods listed above and Wricke (1965). The G5 was the most productive, adaptable to all types of environments, but as it presents low stability, its behavior is unpredictable. At unfavorable environments, the genotype G4 was the best, with high productivity and good response to environmental changes. It was noted a strong association between the results of the methods Eberhart and Russell (1966) and Cruz et al. (1989), which are based on linear regression analysis and simple linear regression bissegmented respectively. The use of methods of adaptability and stability in combination can be interesting and add information about the performance of genotypes evaluated, however, the use of these methods, based on the same statistic is not recommendable.

Keywords: Interaction genotypes X environments, breeding, Total Sugar Recovered (TSR)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização das plantações de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: UNICA, 2010)	15
Figura 2 – Série histórica da área plantada dos principais países de cana-de-açúcar, em milhões de hectares. (Fonte: Brasil, 2009)	16
Figura 3 – Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em toneladas. (Fonte: Brasil, 2009)	16
Figura 4 – Série histórica da produtividade dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em toneladas/ha. (Fonte: Brasil, 2009)	17
Figura 5 – Interação genótipo x ambiente (A – sem interação; B – interação simples; C – interação complexa), conforme Robertson (1959), citado por Cruz e Carneiro (2006).	21
Figura 6 – Estimativa da Ecovalência de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes, quanto a variável ATR, segundo método proposto por Wricke (1965) e produtividade em ATR (Kg/tc).	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema da análise de variância conjunta de um modelo em blocos casualizados com interação de primeira ordem.	23
Tabela 2 – Graus de liberdade, esperanças dos quadrados médios e estatística F para as fontes de variação de um modelo para análise conjunta, em blocos casualizados, com interação de primera ordem.....	24
Tabela 3 – Genótipos avaliados e instituições obtentoras	35
Tabela 4 – Médias do ATR (Kg/tc) dos ambientes considerados, índices ambientais codificados e classificação dos ambientes.	37
Tabela 5 – Média do ATR (Kg/tc) dos genótipos avaliados considerando todos os ambientes, somente os ambientes desfavoráveis e somente os ambientes favoráveis, respectivamente.	38
Tabela 6 – Quadrados médios das análises de variâncias, médias e coeficientes de variação para a variável ATR, em cada ambiente.....	39
Tabela 7 – Análise de variância conjunta para a ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar cultivados em oito ambientes.	39
Tabela 8 – Estimativa da ecovalência de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes, segundo método proposto por Wricke (1965).....	40
Tabela 9 – Estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes.....	42
Tabela 10– Média de produtividade ATR (Kg/tc) de cana-de-açúcar, índice ambiental codificado, I_j , e a transformação do I_j , $T(I_j)$, nos oito ambientes avaliados.	43
Tabela 11–Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes.	43
Tabela 12–Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
ATR	Açúcares Totais Recuperado
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FV	Fonte de Variação
GL	Graus de Liberdade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
QM	Quadrados Médios
RB	República do Brasil
RIDESA	Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro
SPAEE	Secretaria de Produção e Agroenergia
SQ	Soma de Quadrados
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. A cana de açúcar: Características, origem e expansão.....	14
2.2. Importância Econômica	15
2.3. Melhoramento Genético.....	17
2.4. Interação Genótipo x Ambiente	19
2.5. Adaptabilidade e Estabilidade.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1. Instalação e locais de condução.....	34
3.2. Genótipos Avaliados.....	35
3.3. Delineamento estatístico e caráter avaliado	35
3.4. Procedimentos Estatísticos.....	36
4. RESULTADOS.....	37
4.1. Análise de Variância (ANOVA)	38
4.2. Metodologia de Wricke (1965)	40
4.3. Metodologia de Eberhart e Russell (1966).....	42
4.4. Metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....	43
4.5. Metodologia de Annicchiarico (1992).....	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes economicamente em virtude dos seus derivados, principalmente o açúcar, o álcool e a utilização do bagaço para produção de energia, tornando as indústrias, praticamente, auto-suficientes. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus derivados e, segundo o IBGE, tem uma estimativa para a safra de 2009 de mais de 9 milhões de hectares destinados ao seu plantio e 700 milhões de toneladas de produção (IBGE, 2008).

O primeiro lugar no ranking mundial de produção de cana-de-açúcar se deve, principalmente, aos programas de melhoramento genético que têm como objetivo desenvolver variedades mais produtivas e resistentes às doenças e pragas. No entanto, quando essas variedades são testadas em ambientes distintos, pode ocorrer que elas sejam mais efetivas em uns e não em outros. Esse comportamento é devido à interação genótipo x ambiente.

Para Cruz e Carneiro (2006), a interação genótipo x ambiente se constitui num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na de recomendação dos cultivares. Uma das formas de amenizar a influência dessa interação tem sido a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade.

Na literatura se encontram várias definições para adaptabilidade e estabilidade. A mais atual é dada por Verma *et al.* (1978) que definiram a adaptabilidade como a capacidade dos genótipos apresentarem rendimentos elevados e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com habilidade de responder à melhoria das condições ambientais e Cruz e Carneiro (2006) que recomendam utilizar o termo geral *performance genotípica* para designar o desempenho, o comportamento e as flutuações de um genótipo quando desenvolvido em vários ambientes. Utiliza-se o termo

desempenho quando relacionado a caracteres como produtividade de grãos e comportamento que se refere a caracteres como resistência a doenças.

Existem diversas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, a escolha do método varia de acordo com os dados experimentais, o número de ambientes envolvidos, a precisão requerida e o tipo de informação desejada (SILVA, 2004).

Este trabalho tem como objetivo quantificar o efeito da interação genótipo x ambiente e realizar o estudo da adaptabilidade e estabilidade de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em usinas dos Estados de Alagoas e Pernambuco por meio dos métodos propostos por Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e pelo método proposto por Annicchiarico (1992).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cana de açúcar: Características, origem e expansão.

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, da família Gramineae (Poaceae) e do gênero *Saccharum* que ocorre em seis espécies: *S. officinarum* L., *S. spontaneum* L., *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl, *S. sinense* Roxb., *S. barberi* Jeswiet e *S. edule* Hassk. As variedades de cana-de-açúcar, plantadas atualmente, são todas híbridas, geralmente de 6ª a 10ª geração, em cujas constituições genéticas predominam a contribuição de *S. officinarum*, com menor participação de *S. spontaneum*, *S. sinense* e *S. barberi*, e, em alguns, de *S. robustum* (MATSUOKA *et al.*, 2005). Apresenta alta capacidade fotossintética e elevado desenvolvimento em regiões com temperaturas elevadas, justamente por possuir o metabolismo de carbono C₄ (MACHADO *et al.*, 1982; LARCHER, 2000 *apud* SILVA, 2008).

A maioria das publicações cita que a cana-de-açúcar é originária de Nova Guiné, por volta de 2.500 a.C., utilizada, naquela época, tanto para a construção de cercados como para apreciar o seu caldo açucarado, e depois propagada para a Índia, China e regiões vizinhas, entre 1.500 a.C. e 1.000 a.C. (MATSUOKA *et al.*, 2005). Cultivada em uma extensa área territorial compreendida entre os paralelos 35º de latitudes Norte e Sul, apresenta melhor rendimento em climas tropicais.

No Brasil, as primeiras mudas foram trazidas da Ilha da Madeira, Portugal, por Martim Afonso de Souza, em 1532, para a capitania de São Vicente, onde foi instalado o primeiro engenho. Inicialmente, o principal centro de produção era a Zona da Mata da região Nordeste, logo depois, expandiu-se pela região Sudeste. Atualmente, as plantações estão presentes nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste, com destaque para o Estado de São Paulo que é responsável por aproximadamente 60% da produção nacional (Figura 1).

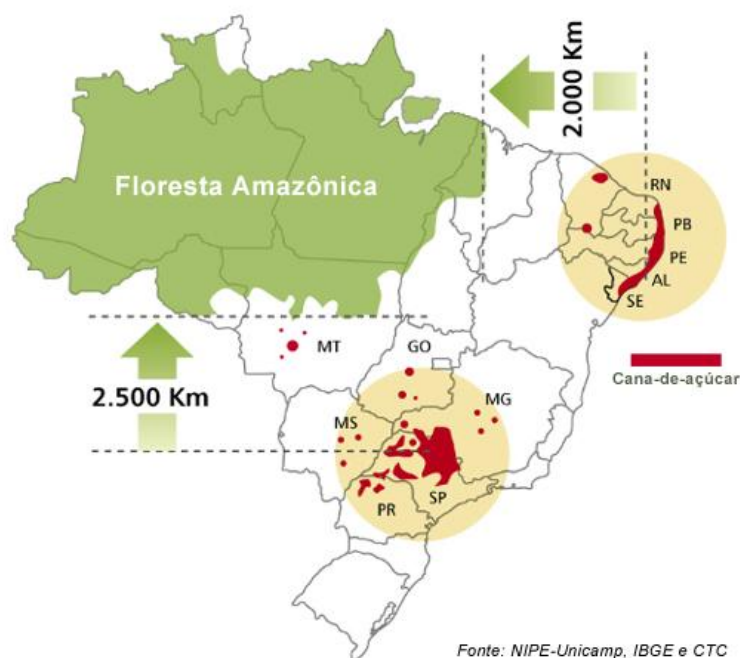


Figura 1 – Mapa da localização das plantações de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: UNICA, 2010)

2.2. Importância Econômica

O Brasil possui uma matriz energética com 46% de fontes renováveis, enquanto nos demais países essa participação é de aproximadamente 15%. Depois da geração hidroelétrica de energia, a cana-de-açúcar e seus derivados ocupam uma posição de destaque por representar 15% dessa fonte renovável (BRASIL, 2009).

A participação da cana-de-açúcar leva em consideração não apenas o açúcar, onde o Brasil é o maior produtor e exportador mundial, e o álcool consumido pelos veículos automotores, mas também a utilização do bagaço (resíduo sólido da produção de açúcar e álcool) para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica. Essa energia é capaz de atender toda a demanda das usinas e ainda gerar excedentes exportáveis à rede elétrica (BRASIL, 2007).

O setor sucroalcooleiro brasileiro vive um período de expansão. Levando-se em consideração a área destinada ao plantio da cana-de-açúcar, o IBGE faz uma estimativa que, em 2009, deveria ultrapassar os nove milhões de hectares, sendo superior aos demais países produtores de cana-de-açúcar (Figura 2).

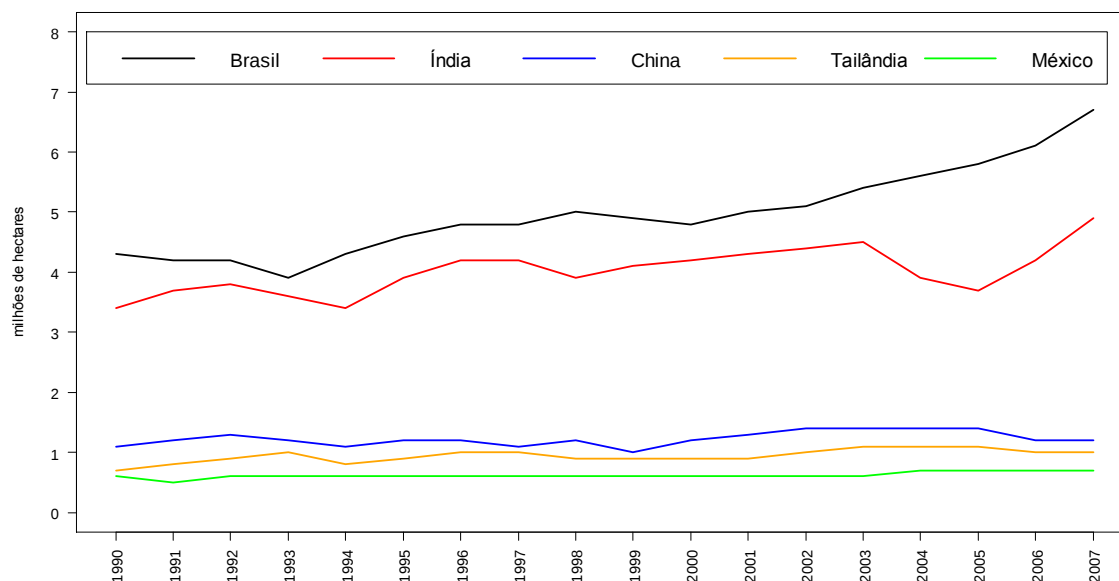


Figura 2 – Série histórica da área plantada dos principais países de cana-de-açúcar, em milhões de hectares. (Fonte: Brasil, 2009)

Como isso, o Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção, em 2008, de aproximadamente 650 milhões de toneladas e estimativa de ultrapassar os 700 milhões de toneladas na safra de 2009 (IBGE, 2008).

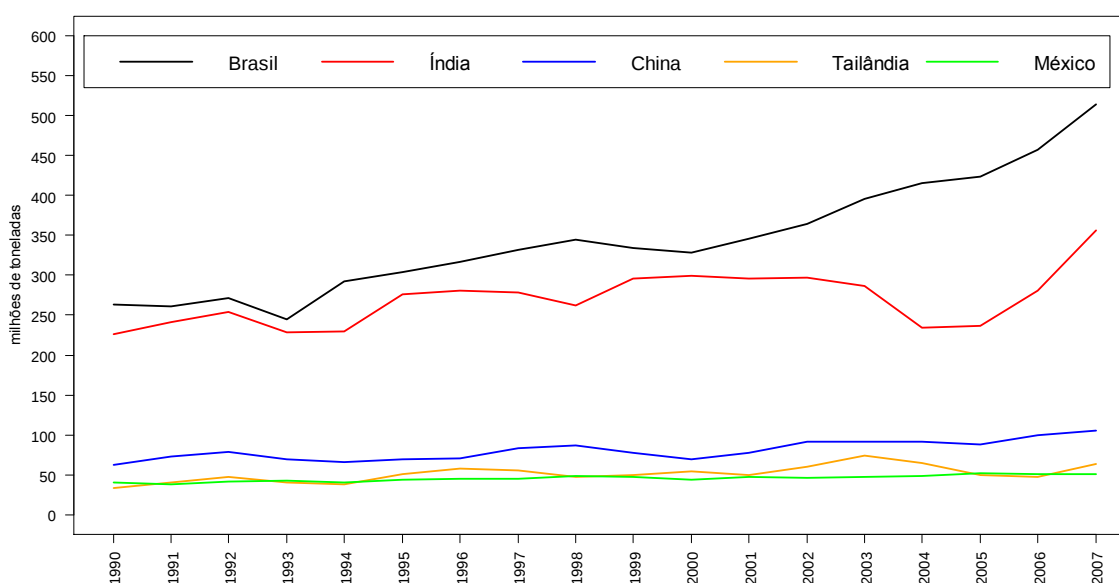


Figura 3 – Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em toneladas. (Fonte: Brasil, 2009)

Na Figura 4 é apresentada a produtividade dos principais países produtores de cana-de-açúcar dada em toneladas/ha.

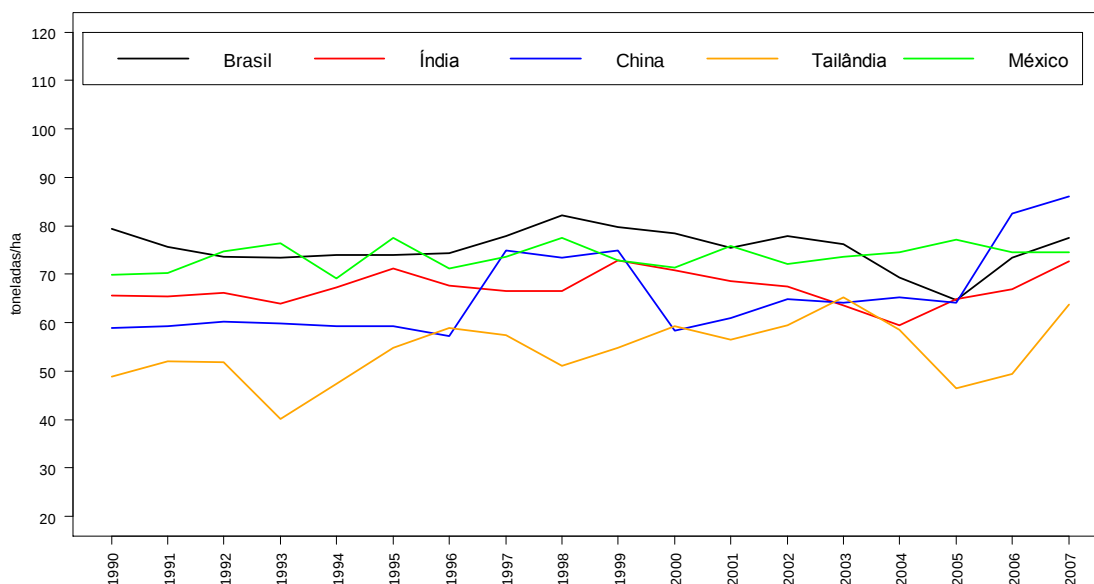


Figura 4 – Série histórica da produtividade dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em toneladas/ha. (Fonte: Brasil, 2009)

Apesar da grande área destinada ao plantio por parte do Brasil, o mercado é competitivo e outros investimentos devem ser feitos. O desenvolvimento tecnológico tem avançado muito, principalmente, no desenvolvimento de pesquisas em melhoramento genético da cana-de-açúcar, os quais contam com esforços tanto do setor privado quanto de órgãos governamentais.

2.3. Melhoramento Genético

Classicamente, o registro definitivo de que as plantas no campo cresciam a partir de sementes de cana-de-açúcar foi feito por um administrador de fazenda de Barbados, em maio de 1858 (DEERR, 1921; STEVENSON, 1965 citado por MATSUOKA *et al*, 2005). Segundo Deerr (1921) e Pinto (1965) também citados por Matsuoka *et al*. (2005), posteriormente, em 1869, ainda em Barbados relatou-se a reali-

zação de polinização artificial e antes disso, em 1862, em Java, foi registrada a germinação espontânea de sementes de cana-de-açúcar.

Dentre alguns trabalhos que definitivamente marcaram o início do melhoramento genético da cana-de-açúcar, citam-se os desenvolvidos por Soltwedel, em Java, a partir de 1885, quando conseguiu fazer germinar sementes de *S. spontaneum* primeiramente, e, em 1887, quando realizou cruzamentos entre aquela espécie e *S. officinarum*. Simultânea e independentemente, em Barbados, Harrison e Bovell, naquela época, tinham conseguido obter plântulas a partir de sementes de cana-de-açúcar coletadas no campo (DEERR, 1921; MANGELSDORF *apud* MATSUOKA *et al.*, 2005).

No Brasil, já em 1842, o médico Gervásio Caetano Peixoto Lima afirmou, quando defendeu a tese na Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro, o que parecia ser um conhecimento bastante estabelecido: que a cana-de-açúcar se reproduzia a partir de sementes sexuais nos locais de origem (PEIXOTO LIMA, 1842 *apud* MATSUOKA *et al.*, 2005).

Segundo Andrade (1985), em abril de 1892, o prefeito do Cabo, PE, também proprietário do engenho Carapu, fez uma circular aos agricultores, citando os trabalhos de Barbados e de Java, instigando-os a coletarem sementes de cana para que se procedesse à seleção de tipos com maior teor de sacarose.

De acordo com Matsuoka (1996), em meados do século passado, os canaviais do mundo todo passaram a apresentar graves problemas fitossanitários, com elevadas perdas de produção e, com isso, muitas indústrias foram à falência. Em virtude disso, e do conhecimento das leis da genética aliada à descoberta de que a cana produzia sementes, começaram os esforços para o melhoramento genético da cana-de-açúcar.

No Brasil, os programas de melhoramento genético foram, inicialmente, criados por produtores curiosos, no início do século passado. Atualmente, existem quatro programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar. O Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar – PLANALSUCAR, criado em 1972, extinto em 1990, passou a ser conduzido pelas Universidades Federais que compõem a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA). Atualmente, a RIDESA é composta por sete Universidades Federais (UFAL, UFS, UFR-

PE, UFRRJ, UFSCAR, UFV e UFPR). Essas instituições são responsáveis pelos cultivares de cana-de-açúcar com a sigla RB (República do Brasil). Filiadas a RIDE-SA têm-se a Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC)-PE, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e a Estação Experimental do Rio Largo-AL da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) (SANTOS *et al*, 2007).

O COPERSUCAR, programa iniciado em 1968, pela Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo, foi substituído pelo Centro de Tecnologia Canavieira Copersucar (SP-CTC), que concentra mais de 350 pesquisadores trabalhando em cana-de-açúcar. O Instituto Agrônomo de Campinas - IAC e o CANAVIALIS, empresa privada criada em 2003, quando cientistas com mais de 30 anos de experiência na produção de novas variedades de cana-de-açúcar se juntaram para desenvolver um grande programa de melhoramento genético e que trabalha em conjunto com a Allelyx e se dedica a variedades transgênicas.

Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar têm como objetivo desenvolver, selecionar e recomendar variedades (genótipos) mais produtivas, resistentes às pragas e doenças e adaptáveis às condições de cada região. Entretanto, quando os genótipos são testados em vários ambientes, a classificação relativa entre eles pode não ser coincidente, em virtude da interação genótipo x ambiente, dificultando a identificação daqueles efetivamente superiores (SILVA, 2004).

2.4. Interação Genótipo x Ambiente

Genótipo refere-se à constituição genética de um indivíduo, isto é, aos genes que ele possui em suas células e que foram herdados de seus pais (AMABIS, 1997).

Os programas de melhoramento genético de plantas consideram como ambiente os diferentes locais, épocas ou anos de plantio, diversos níveis tecnológicos etc. (CRUZ e REGAZZI, 2001).

A avaliação de cultivares, das diversas espécies, em vários ambientes tem sido realizada com o propósito de verificar o seu comportamento diferencial, em resposta às variações sistemáticas e casuais do ambiente. Esse comportamento diferencial é atribuído à interação genótipo x ambiente (CRUZ, 2006).

As causas dessa interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos específico de cada genótipo cultivado. Como os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, desde a semeadura até a maturação, existe geralmente um comportamento diferenciado dos mesmos em termos de resposta às variações ambientais (CRUZ e REGAZZI, 2001).

Allard e Bradshaw (1964), citado por Cruz e Carneiro (2006), definiram a resposta relativa dos genótipos em relação à variação dos ambientes em dois tipos: previsível e imprevisível. A primeira inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais do clima e do tipo de solo, e também as características do ambiente que variam de uma maneira sistemática, como o comprimento do dia. Inclui ainda os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem, como data de plantio, densidade, método de preparo do solo e colheita, entre outros. A segunda inclui as flutuações variáveis do ambiente, como quantidade e distribuição de chuvas, variações de temperatura, etc. Os autores afirmaram que as causas genéticas da interação genótipos x ambientes eram pouco conhecidas e que, diante de sua presença, não há tampouco um consenso quanto ao que deveria ser feito em relação a ela.

Robertson (1959), também citado por Cruz e Carneiro (2006), classifica a interação genótipo x ambiente em dois tipos: simples e complexa. A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, de forma que a posição relativa dos genótipos não é alterada. Esse tipo de interação não acarreta problemas ao melhorista, uma vez que os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros. A interação complexa ocorre pela falta de correlação entre os desempenhos dos genótipos, de modo que esses apresentam diferentes respostas às variações ambientais, causando alteração na sua classificação, considerando os diversos ambientes.

Considerando um par de genótipos, pode-se ilustrar a ocorrência ou não da interação por meio da Figura 5.

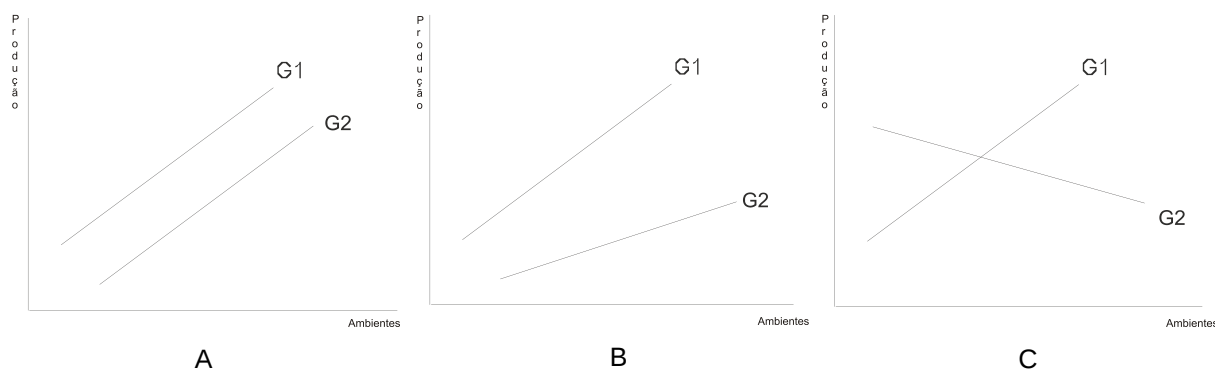


Figura 5 – Interação genótipo x ambiente (A – sem interação; B – interação simples; C – interação complexa), conforme Robertson (1959), citado por Cruz e Carneiro (2006).

Resende (2002) afirma que o valor fenotípico de um indivíduo ou espécie, quando avaliado em um único ambiente, é o resultado da ação do efeito genotípico sob a influência do meio ao qual é submetido. O modelo para esse valor pode ser dado por:

$$y_i = \mu + g_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que:

y_i : variável resposta (produção, volume etc.);

μ : efeito da média geral;

g_i : efeito genotípico;

ε_i : erro aleatório.

No entanto, ao avaliar o mesmo indivíduo em vários ambientes, surge, frequentemente, um componente adicional que influencia o seu valor fenotípico, que é denominado interação entre os efeitos genotípicos e os ambientais. Essa interação quantifica o comportamento diferenciado dos genótipos diante das variações ambientais (RESENDE, 2002).

$$y_{ij} = \mu^* + \ell_j + g_i^* + g^* \ell_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

em que:

μ^* : efeito da média geral livre do efeito local;

g_i^* : efeito genotípico, livre da interação genótipo x ambiente;

ℓ_j : efeito de local ou macroambiente;
 $g^* \ell_{ij}$: efeito da interação genótipo x ambiente.

Comparando o modelo (2) com o (1), tem-se que as igualdades: $\mu = \mu^* + \ell_j$; $g = g_i^* + g^* \ell_{ij}$. Assim, verifica-se que quando a avaliação é realizada em um único ambiente, a média é inflacionada pelo efeito de locais e o efeito genotípico, pelo efeito da interação genótipo x ambiente. Esse efeito é decorrente do comportamento diferencial dos diferentes genótipos nos diferentes ambientes e pode indicar que os melhores indivíduos em um ambiente podem não ser em outro ambiente. Assim, este pode ser um complicador na seleção, se não for considerado adequadamente.

Para que as indicações de genótipos sejam mais seguras, devem ser tomadas medidas que busquem controlar ou amenizar os efeitos da interação genótipo x ambiente (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

O método mais utilizado para a avaliação da interação genótipo x ambiente é a Análise de Variância (ANOVA), usando análise conjunta de experimentos sendo a magnitude dessa interação determinada por meio de teste estatístico adequado, normalmente o teste F (ROCHA, 2002 *apud* CORREIA, 2007).

Segundo modelo proposto por Cruz e Regazzi (2001) para avaliar a significância da interação genótipo x ambiente, cada observação fenotípica pode ser descrita pelo modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \alpha/\beta_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

em que:

Y_{ijk} : observação do i-ésimo genótipo no k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente;

μ : média geral

α_i : efeito do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, I$);

β_j : efeito do j-ésimo ambiente ($j = 1, 2, \dots, J$);

$\alpha\beta_{ij}$: efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

α/β_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente ($k = 1, 2, \dots, K$);

ε_{ijk} : erro aleatório

O esquema da Análise de Variância Conjunta, segundo o modelo estatístico (3), é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Esquema da análise de variância conjunta de um modelo em blocos casualizados com interação de primeira ordem.

FV	GL	SQ	QM
α/β	J (K - 1)	SQB	QMB
Genótipo (α)	I - 1	SQG	QMG
Ambiente (β)	J - 1	SQA	QMA
$\alpha \beta$	(J - 1) (I - 1)	SQGA	QMGA
Resíduo	J (K - 1) (I - 1)	SQR	QMR
Total	J I K - 1	SQT	

em que:

$$C = \frac{Y_{...}^2}{JIK}$$

$$SQB = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{jk}^2 - \frac{1}{IK} \sum_{j=1}^J Y_{j.}^2$$

$$SQA = \frac{1}{Ik} \sum_{j=1}^J Y_{j.}^2 - C$$

$$SQG = \frac{1}{JK} \sum_{i=1}^I Y_{i..}^2 - C$$

$$SQA = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Y_{ij.}^2 - \frac{1}{IK} \sum_{j=1}^J Y_{j.}^2 - \frac{1}{JK} \sum_{i=1}^I Y_{i..}^2 + C$$

$$SQT = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijk}^2 - C$$

$$SQR = SQT - (SQB + SQA + SQG + SQGA)$$

Os graus de liberdade, esperanças dos quadrados médios e o teste F para as fontes de variação descritas no modelo (3) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Graus de liberdade, esperanças dos quadrados médios e estatística F para as fontes de variação de um modelo para análise conjunta, em blocos casualizados, com interação de primeira ordem.

FV	GL	E(QM)	F
α/β	J (K - 1)	$\sigma^2 + I\sigma_b^2$	
Genótipo (α)	I - 1	$\sigma^2 + K\ell\sigma_{ga}^2 + JK\phi_g$	QMG / QMGA
Ambiente (β)	J - 1	$\sigma^2 + I\sigma_b^2 + IK\sigma_a^2$	QMA / QMB
$\alpha \beta$	(J - 1) (I - 1)	$\sigma^2 + K\ell\sigma_{ga}^2$	QMGA / QMR
Resíduo	J (K - 1) (I - 1)	σ^2	
Total	J I K - 1		

$$\ell = I/(I - 1)$$

em que:

$$\hat{\sigma}^2 = \text{QMR}$$

$$\hat{\sigma}_{ga}^2 = \frac{\text{QMGA} - \text{QMR}}{K\ell}$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{\text{QMA} - \text{QMB}}{IK}$$

$$\hat{\phi}_g = \frac{\text{QMG} - \text{QMGA}}{JK}$$

$$\hat{\sigma}_b^2 = \frac{\text{QMB} - \text{QMR}}{I}$$

2.5. Adaptabilidade e Estabilidade

Estudos da interação entre cultivares e ambientes não proporcionam informações minuciosas sobre o comportamento de cultivares frente às variações ambientais (HOOGERHEIDE, 2004). Faz-se necessário realizar estudos da adaptabilidade e estabilidade, pelos quais se torna possível a identificação de cultivares de compor-

tamento previsível e que respondam às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, possibilitando fazer recomendações de cultivares com bastante critério (CRUZ e REGAZZI, 2001).

O significado dos termos adaptabilidade e estabilidade se tornou um problema devido às diversas definições e interpretações dados por diferentes autores.

Segundo Mariotti *et al.* (1976), citado por Cruz e Carneiro (2006), a adaptabilidade é a capacidade de os genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto a estabilidade refere-se à capacidade dos mesmos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. Segundo Cruz e Carneiro (2006), os autores Bonato (1978), Santos (1980), Leite (1988) e Cruz e Regazzi (1994) consideram essas definições as mais apropriadas.

Cruz e Carneiro (2006) ainda citaram Moraes (1980), que associa esta definição de estabilidade como estabilidade de comportamento, a qual define uma característica varietal e que não deve ser confundida com estabilidade fenotípica que, segundo alguns autores (EBERHART e RUSSEL, 1966, FREEMAN, 1973), se refere à capacidade de os genótipos apresentarem somente pequenas variações no seu comportamento geral, quando submetidos a diferentes ambientes.

Verma *et al.* (1978) definiram a adaptabilidade como a capacidade de os genótipos apresentarem rendimentos elevados e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com habilidade de responder à melhoria das condições ambientais. Para caracteres como produtividade (toneladas etc.) estes conceitos são os mais atuais. A estabilidade de comportamento de um genótipo também pode ser definida como a previsibilidade de sua adaptabilidade ou, em termos estatísticos, como o ajuste do genótipo ao modelo (linear, bissegmentado ou não-linear) adotado.

Cruz e Carneiro (2006) recomendam ainda utilizar o termo geral *performance genotípica* para designar o desempenho, o comportamento e as flutuações de um genótipo quando desenvolvido em vários ambientes. Utiliza-se o termo desempenho quando relacionado a caracteres como produtividade de grãos e comportamento que se refere a caracteres como resistência a doenças.

Atualmente, existe mais de uma dezena de metodologias para se avaliar a *performance genotípica*, usada com mais frequência no melhoramento de plantas. A escolha de um método de análise depende dos dados experimentais, principalmente

relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ e REGAZZI, 2001).

A metodologia mais antiga para avaliar a performance genotípica é a tradicional análise de grupos de experimentos. Neste método, a variação de ambientes dentro de cada genótipo é usada como estimador do parâmetro estabilidade, de modo que o genótipo que apresentar menor variância será considerado o mais estável (BONATO, 1978) citado por Cruz e Carneiro (2006). A mínima variância apresentada pelos genótipos nos ambientes expressa apenas a estabilidade fenotípica, isto é, não há estimativa da adaptabilidade dos cultivares nem informação do direcionamento de suas respostas aos diferentes tipos de ambientes. Esta é a principal desvantagem deste método, pois os cultivares que apresentam as menores variâncias entre ambientes são, em geral, os menos produtivos. No entanto, apresenta a vantagem de poder ser aplicado nas situações em que se dispõe de um número restrito de ambientes e proporcionam resultados de fácil interpretação (CRUZ e REGAZZI, 2001; CRUZ, 2006).

Outros métodos baseados em Análise de Variância são: Plaisted e Peterson (1959) e Wricke (1965) que calcularam a contribuição individual dos genótipos para a interação genótipos x ambientes.

O parâmetro de estabilidade proposto por Wricke (1965), denominado ecovalência, representado por W_i , se refere à estabilidade fenotípica e é estimado decompondo a soma de quadrados da interação genótipos x ambientes nas partes devidas a cada genótipo. O genótipo mais estável, segundo esta metodologia, é aquele que apresentar ecovalência de mais baixa magnitude em relação aos demais.

A estatística W_i é dada por:

$$W_i = K \sum_{j=1}^J \hat{G}A_{ij}^2 = K \sum_{j=1}^J \left(\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..} \right)^2 \quad (4)$$

em que:

W_i : ecovalência estimada ou contribuição do genótipo i para $SQ_{G \times A}$ total;

$\bar{Y}_{ij}$: média do genótipo i no ambiente j ;

$\bar{Y}_{i.}$: média do genótipo i ;

$\bar{Y}_{.j}$: média do ambiente j ;

$\bar{Y}_{..}$: média geral.

Na análise de estabilidade e adaptabilidade a partir de equações de regressão, a variável dependente, normalmente a produção (toneladas etc), é expressa em função de um índice ambiental (I_j). Médias, coeficientes de regressão e desvio em relação à reta ajustada são utilizados como estimativas da adaptabilidade e estabilidade do material genético estudado (CRUZ, 2006).

Segundo Cruz e Regazzi (2001), o índice ambiental, X_j , é definido como sendo a média de todos os genótipos no ambiente e é calculado por:

$$X_j = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I Y_{ij}$$

Para maiores facilidades operacionais, utiliza-se o índice ambiental codificado (I_j), dado por:

$$I_j = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I Y_{ij} - \frac{1}{IJ} Y_{..}$$

Com isso, tem-se:

$$\sum_{j=1}^J I_j = 0$$

Para Cruz e Regazzi (2001), as estimativas dos índices ambientais, I_j , são de grande utilidade, por serem indicativos de qualidade dos ambientes avaliados. Valo-

res negativos de I_j classificam os ambientes como desfavoráveis, normalmente associados a regiões de condições climáticas, ou de solo, adversas ou áreas de emprego de baixa tecnologia de produção em razão do pouco uso e da baixa qualidade de insumos e, ou, mal uso dos equipamentos agrícolas.

Valores positivos de I_j classificam os ambientes como favoráveis, considerados pelos melhoristas como sendo regiões com condições edáficas e climáticas apropriadas à aptidão da cultura ou, outras vezes, evidenciam áreas de cultivo onde se emprega alta tecnologia de produção, caracterizadas pelo uso de insumos adequados, por controles culturais rotineiros e pela mecanização agrícola (CRUZ e REGAZZI, 2001).

Com a utilização deste índice no modelo de regressão linear proposto por Eberhart e Russel (1966) e no de regressão bissegmentada proposto por Cruz *et al.* (1989), tem-se:

$$\hat{\beta}_{0i} = \bar{Y}_i.$$

Os procedimentos baseados em análise de regressão linear são propostos por Theil (1950), Eberhart e Russel (1966), Finlay e Wilkinson (1963) e Tai (1971).

Eberhart e Russel (1966) propuseram a análise de adaptabilidade e estabilidade baseado em análise de regressão linear, com os dados não-transformados e o índice ambiental codificado referindo-se à diferença entre a média de todos os genótipos em cada local e a média geral. É adotado o seguinte modelo de regressão linear:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

em que:

Y_{ij} : média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;

β_{0i} : média geral do genótipo i ;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

I_j : índice ambiental codificado $\sum_{j=1}^J = 0$;

δ_{ij} : desvio da regressão;

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

Definindo a adaptabilidade como sendo a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, classificam-se os genótipos em:

- i) Genótipos com adaptabilidade geral ou ampla: são aqueles com β_{1i} igual a 1;
- ii) Genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis: são aqueles com β_{1i} maior que 1;
- iii) Genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis: são aqueles com β_{1i} menor que 1;

A estabilidade tem uma conotação de previsibilidade, interpretada pelos desvios da regressão linear, que é um indicativo do grau de confiabilidade da resposta linear estimada, de modo que o genótipo será considerado estável se esse desvio for pequeno (CRUZ e CARNEIRO, 2006). Quanto à estabilidade, os genótipos são classificados em:

- i) Genótipos com estabilidade ou previsibilidade alta: são aqueles com σ_{di}^2 igual a 0;
- ii) Genótipos com estabilidade ou previsibilidade baixa: são aqueles com σ_{di}^2 maior que 0.

Eberhart e Russel (1966) consideram como genótipo ideal aquele que apresenta alta produção média, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvios da regressão tão pequenos quanto possíveis (CRUZ e REGAZZI, 2001).

Os procedimentos baseados em análise de regressão linear bissegmentada são propostos por Verma *et al.* (1978), Silva e Barreto (1985) e Cruz *et al.* (1989).

Estes últimos propuseram o ajustamento, para cada genótipo, de uma única equação de regressão constituída de dois segmentos de reta, com união no ponto correspondente ao valor zero do índice ambiental, permitindo estimativas não-correlacionadas dos coeficientes de regressão. Tem como parâmetros de adaptabilidade a média ($\hat{\beta}_{0i}$) e a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i}$) e aos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio da regressão $\hat{\sigma}_{\delta i}^2$ de cada genótipo, em função das variações ambientais.

É adotado o seguinte modelo de regressão linear:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (5)$$

em que:

I_j : índice de ambiente codificado;

$T(I_j) = 0$, se $I_j < 0$;

$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$, se $I_j > 0$, sendo $\bar{I}_+$ a média dos índices I_j positivos.

Cruz *et al.* (1989) consideram como genótipo ideal aquele que apresenta alta produtividade do caráter avaliado, ou seja, elevado valor de $\hat{\beta}_{0i}$, adaptabilidade em ambientes desfavoráveis o menor possível ($\hat{\beta}_{1i} < 1$), capacidade de responder à melhoria ambiental a maior possível ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i} > 1$) e, por fim, variância dos desvios da regressão igual a zero, isto é, $\hat{\sigma}_{\delta i}^2 = 0$.

Toler e Burrows (1998) propuseram uma metodologia baseada em regressão não-linear, em que o parâmetro que reflete a qualidade ambiental é estimado por um processo iterativo de quadrados mínimos, e não calculado com base nas médias dos genótipos, tal como ocorre com os métodos baseados em regressão linear.

Além dos métodos mencionados, outro procedimento proposto mais recentemente é o modelo dos efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI). Este procedimento combina, em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos e de ambientes, e componentes multiplicativos para o efeito da interação.

As estatísticas obtidas através de métodos de avaliação da performance genotípica baseada em medidas não-paramétricas, segundo Huehn (1990), citado por Cruz e Carneiro (2006), apresentam algumas vantagens em relação às paramétricas, das quais se podem citar: i) a tendenciosidade causada por pontos completamente fora da equação de regressão ajustada é reduzida ou, às vezes, eliminada; ii) não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos; iii) as medidas estimadas com base na classificação são de fácil uso e interpretação; iv) a adição ou retirada de um ou poucos genótipos não seria causa de grandes variações nas estimativas, como poderia ser para as obtidas de procedimentos paramétricos e v) o uso em outras aplicações, como, por exemplo, seleção em programas melhoramento, em que é de fundamental importância a posição relativa ou classificação dos genótipos. Nas análises não-paramétricas há tendência de se expressar, em uma ou poucas medidas, o desempenho e o comportamento de um genótipo em termos de rendimento, capacidade de resposta às variações ambientais e suas flutuações.

Os métodos de avaliação da performance genotípica com base em medidas não-paramétricas são propostos por Huehn (1990), Lin e Binns (1988), Carneiro (1998).

Annicchiarico (1992) propôs a estimação de um índice de confiança (ou índice de recomendação) de um determinado genótipo apresentar comportamento relativamente superior em relação à média de cada ambiente. Os maiores valores dos índices de recomendação são obtidos para os genótipos que apresentam maior média percentual e menor desvio.

Assim, considera-se que o índice de recomendação proposto por Annicchiarico (1992) expressa a estabilidade e, também, a adaptabilidade genotípica e é dado por:

$$\omega_i = \hat{\mu}_i - z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi}$$

em que ω_i representa o índice de confiança. Os maiores valores deste índice serão obtidos pelos genótipos que apresentaram maior média percentual ($\hat{\mu}_i$) e menor desvio ($\hat{\sigma}_{zi}$). Para obtenção deste índice, considera-se:

Y_{ij} : média do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;

$\bar{Y}_{.j}$: média do j-ésimo ambiente.

Obtêm-se os valores percentuais para cada genótipo, conforme descrito a seguir:

$$Z_{ij} = \frac{100 \cdot Y_{ij}}{\bar{Y}_{.j}}$$

Estimam-se as médias relativas do genótipo i, considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$\hat{\mu}_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a Z_{ij}}{a}$, média do genótipo, considerando todos os ambientes (a = número de ambientes);

$\hat{\mu}_{i(f)} = \frac{\sum_{j=1}^f Z_{ij}}{f}$, média do genótipo, considerando apenas os ambientes favoráveis (f = número de ambientes favoráveis);

$\hat{\mu}_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d Z_{ij}}{d}$, média do genótipo, considerando apenas os ambientes desfavoráveis (d = número de ambientes desfavoráveis).

Estimam-se os desvios relativos de cada genótipo i, considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$\hat{\sigma}_{zi(g)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento em todos os ambientes;

$\hat{\sigma}_{zi(f)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis;

$\hat{\sigma}_{zi(d)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

Os Índices de Recomendação estimados considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis são:

$\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(g)}$: considerando todos os ambientes;

$\omega_{i(f)} = \hat{\mu}_{i(f)} - z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(f)}$: considerando apenas os ambientes favoráveis;

$\omega_{i(d)} = \hat{\mu}_{i(d)} - z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(d)}$: considerando apenas os ambientes desfavoráveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Instalação e locais de condução

O experimento foi instalado nas Usinas Serra Grande, no Estado de Alagoas, e Usina Trapiche, em Pernambuco e conduzido durante o período de 2004 a 2008, referentes aos cortes: cana-planta, cana-soca, cana-ressoca e quarta folha, respectivamente.

A Usina Serra Grande está localizada no município de São João da Laje-AL, localizado a uma latitude de 09°00'36" sul e a uma longitude 36° 03' 28" oeste, estando a uma altitude de 256 metros. O relevo de São José da Lage faz parte da unidade dos Tabuleiros Costeiros. O clima é do tipo tropical chuvoso com verão seco. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.634,2 mm e meses chuvosos que começam no outono tendo início em fevereiro e término em outubro.

A Usina Trapiche está localizada no município de Sirinhaém-PE, localizado a uma latitude 08°35'27" sul e a uma longitude de 35°06'58" oeste, estando a uma altitude de 49 metros. O relevo é forte ondulado, vegetação de floresta subperenifólia, ocorrência de formação argilosa, precipitação pluviométrica média anual de 2.537,7 mm e meses chuvosos que vão de Abril a Julho.

Os ambientes foram constituídos da combinação dos cortes e locais, formando oito ambientes: Ambiente 1 (A1): Trapiche x cana-planta; Ambiente 2 (A2): Trapiche x cana-soca; Ambiente 3 (A3): Trapiche x cana-ressoca; Ambiente 4 (A4): Trapiche x 4ª folha; Ambiente 5 (A5): Serra Grande x cana-planta; Ambiente 6 (A6): Serra Grande x cana-soca; Ambiente 7 (A7): Serra Grande x cana-ressoca; Ambiente 8 (A8): Serra Grande x 4ª folha.

3.2. Genótipos Avaliados

Foram avaliados oito genótipos de cana-de-açúcar provenientes de cruzamentos realizados pelos Programas de Melhoramento Copersucar e Ridesa, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Genótipos avaliados e instituições obtentoras

Genótipo	Instituição obtentora
SP 79 1011 (G1)	Copersucar (SP)
SP 81 3250 (G2)	Copersucar (SP)
SP 71 6949 (G3)	Copersucar (SP)
SP 80 1816 (G4)	Copersucar (SP)
RB 83 5486 (G5)	Ridesa (RB) - UFSCAR
RB 92 579 (G6)	Ridesa (RB) - UFAL
RB 76 3710 (G7)	Ridesa (RB) - UFRPE
RB 75 126 (G8)	Ridesa (RB) - UFAL

3.3. Delineamento estatístico e caráter avaliado

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foram testados oito genótipos em cada um dos oito ambientes. A parcela foi formada por cinco sulcos de oito metros, espaçadas de um metro.

O caráter avaliado foi o ATR – Açúcares Totais Recuperados, que são constituídos de sacarose e açúcares redutores, glicose e frutose. Os ATR representam a quantidade de açúcares que são recuperados na usina em quilogramas por tonelada de cana-de-açúcar (kg/tc). A importância dada a esta variável foi devido ao fato de que desde a safra de 1998/99 o sistema de pagamento de cana-de-açúcar no Brasil se baseia nos ATR (UNICA, 2010).

3.4. Procedimentos Estatísticos

Inicialmente, os procedimentos estatísticos constituíram-se de análise de variância para cada ambiente, seguida de uma análise de variância conjunta de experimentos nos ambientes, segundo modelo proposto por Cruz e Regazzi (2001) para avaliar a significância da interação genótipo x ambiente.

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de cana-de-açúcar foram estimados utilizando-se as metodologias propostas por Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e pelo método proposto por Annicchiarico (1992).

As análises foram realizadas através do programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta as médias de ATR em Kg/tc, os índices ambientais codificados e a classificação de cada ambiente.

Tabela 4 – Médias do ATR (Kg/tc) dos ambientes considerados, índices ambientais codificados e classificação dos ambientes.

Ambiente	Média	Índice ambiental(Ij)	Classificação
A1	141,5525	-1,70517	Desfavorável
A2	146,8175	3,55983	Favorável
A3	147,0163	3,75858	Favorável
A4	148,3375	5,07983	Favorável
A5	128,0681	-15,1896	Desfavorável
A6	137,7236	-5,53412	Desfavorável
A7	141,7399	-1,51777	Desfavorável
A8	154,8060	11,54837	Favorável

A média de produtividade de ATR (Kg/tc) foi maior na Usina Trapiche, pois os ambientes constituídos da combinação dos cortes e do local Usina Trapiche-PE foram classificados, em sua maioria, como favoráveis, a exceção do ambiente A1. Os ambientes constituídos das combinações dos cortes e do local Usina Serra Grande-AL foram classificados, com exceção do ambiente A8, como desfavoráveis, em geral, menos produtivos.

A Tabela 5 apresenta as médias dos genótipos considerando todos os ambientes, somente os ambientes favoráveis e somente os ambientes desfavoráveis, respectivamente.

Tabela 5 – Média do ATR (Kg/tc) dos genótipos avaliados considerando todos os ambientes, somente os ambientes desfavoráveis e somente os ambientes favoráveis, respectivamente.

Genótipo	Média	Média -	Média +
G1	140,4999	135,0570	145,9428
G2	141,4817	136,8300	146,1333
G3	142,2764	135,0838	149,4691
G4	147,519	147,0831	147,9549
G5	150,6235	142,4203	158,8267
G6	138,1931	131,6976	144,6886
G7	139,1712	130,9136	147,4288
G8	146,2967	139,0828	153,5105

Média: médias dos genótipos considerando todos os ambientes; Média +: médias dos genótipos considerando somente os ambientes favoráveis; Média -: médias dos genótipos considerando somente os ambientes desfavoráveis;

A Tabela 5 mostra o comportamento diferenciado que tem os genótipos quando submetidos a diferentes ambientes, a exceção do genótipo G4 que apresentou uma produtividade média de ATR praticamente constante em relação aos ambientes favoráveis, desfavoráveis e considerando todos eles.

4.1. Análise de Variância (ANOVA)

Os resultados da análise de variância individual, média e coeficiente de variação para cada ambiente são apresentados na Tabela 6. Observa-se a existência de diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, sobre os rendimentos de ATR dos genótipos em todos os ambientes. Todos os ambientes foram incluídos na Análise de Variância Conjunta por apresentarem homogeneidade nas variâncias residuais, ou seja, a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual igual a 4,73209, sendo inferior a relação aproximada de 7:1 aconselhada por Cruz e Regazzi (2001).

Tabela 6 – Quadrados médios das análises de variâncias, médias e coeficientes de variação para a variável ATR, em cada ambiente.

FV	GL	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Blocos	3	12,75	28,08	3,02	3,75	18,08	28,75	9,50	29,08
Genótipos	7	184,50 **	884,79 **	52,60 **	96,23 **	216,96 **	389,09 **	890,74 **	655,73 **
Resíduo	21	33,76	32,75	10,42	21,94	24,27	25,32	49,31	38,89
Média		141,55	146,82	147,02	148,34	128,07	137,72	141,74	154,81
CV(%)		4,10	3,90	2,20	3,16	3,85	3,65	4,95	4,03

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A Análise de Variância Conjunta referente à produtividade de ATR necessária para avaliar o efeito da interação genótipo x ambiente, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise de variância conjunta para a ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar cultivados em oito ambientes.

Fonte de Variação	GL	QM	F
Bloco / Ambiente	24	-	-
Genótipo (G)	7	626,2599	1,5974 ^{ns}
Ambiente (A)	7	2068,7047	124,4165 **
Genótipo x Ambiente	49	392,0539	13,2522 **
Resíduo	168	29,58405	

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} : não significativo

A Fonte de Variação Genótipo (G) não foi significativa indicando que não existem diferenças significativas entre as médias dos genótipos nos ambientes. No entanto, a fonte de variação Genótipo x Ambiente se mostrou significativa a 1% pelo teste F, indicando a existência de diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada ambiente, o que justifica um estudo mais detalhado, visando identificar os genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade.

4.2. Metodologia de Wricke (1965)

O método da ecovalência (W_i) afirma que o genótipo mais estável é aquele que apresenta ecovalência de mais baixa magnitude em relação aos demais. Avaliando-se o caráter Açúcares Totais Recuperados (ATR), os genótipos de cana-de-açúcar apresentaram os seguintes valores para o parâmetro ecovalência em ordem crescente (Tabela 8).

Tabela 8 – Estimativa da ecovalência de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes, segundo método proposto por Wricke (1965)

Ordem	Genótipo	Ecovalência (W_i)	W_i (%)
1	G8	700,0132	3,653872
2	G2	730,4348	3,812664
3	G7	1189,9636	6,211275
4	G4	2033,6124	10,614885
5	G3	2035,2956	10,62367
6	G1	2319,3192	12,106194
7	G6	4444,9804	23,201547
8	G5	5704,5016	29,775893
Total		19158,1208	

Comparando-se a ecovalência com a variável ATR (Figura 6), destacamos o genótipo G8, que tem a menor estimativa da ecovalência $W_i\% = 3,65$, considerado o mais estável, sendo o terceiro mais produtivo com média de 146,2967 Kg/tc, acima da média geral. Destaca-se, também, o genótipo G5, considerado o menos estável ($W_i\% = 29,776$), no entanto, é o mais produtivo dos genótipos avaliados com uma média de ATR dada por 150,6235 Kg/tc.

A Figura 6 ilustra o resultado obtido para as estimativas dos parâmetros de estabilidade segundo metodologia proposta por Wricke (1965) e a produtividade quanto à variável ATR.

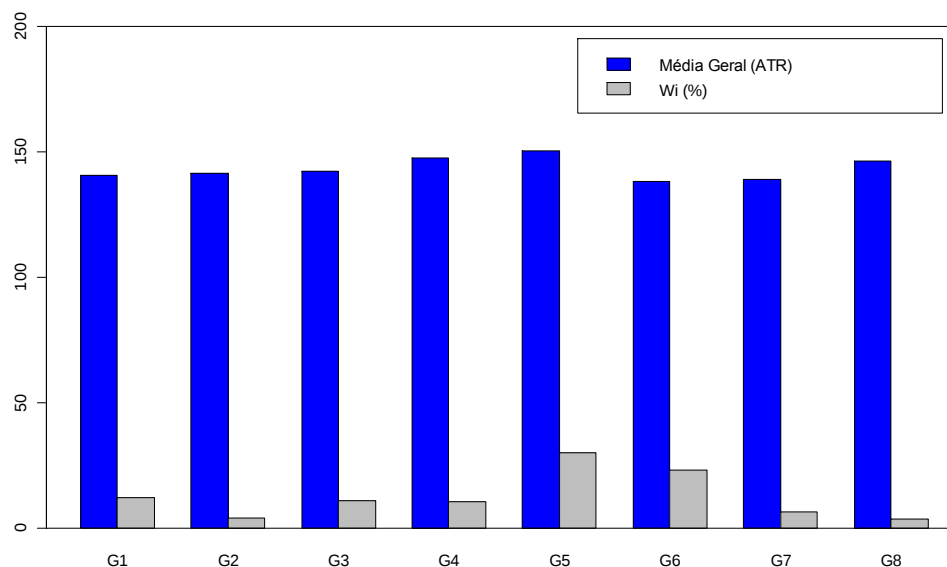


Figura 6 – Estimativa da Ecovalência de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes, quanto a variável ATR, segundo método proposto por Wricke (1965) e produtividade em ATR (Kg/tc).

A ecovalência determinou a contribuição de cada genótipo para a soma de quadrados da interação genótipo x ambientes, definida por estabilidade. De acordo com o coeficiente de correlação de Spearman ($\rho=0$), conclui-se que não há relação entre a ecovalência e a variável de produtividade ATR. Esse resultado concorda com outros trabalhos, inclusive aplicada em outras culturas, como em estudos de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja realizados por Oliveira *et al.* (2004) e Prado *et al.* (2001).

Pacheco *et al.* (2005) citado por Correia (2007), mencionado inclusive em outros trabalhos, afirmam ser válido que a seleção para a melhor estabilidade pode resultar em baixas médias de performance produtiva, enquanto seleção para altas médias de produtividade pode levar a baixa estabilidade.

4.3. Metodologia de Eberhart e Russell (1966)

Na Tabela 9 pode-se verificar as estimativas das médias de ATR dos genótipos, $\hat{\beta}_{0i}$, dos coeficientes de regressão linear, $\hat{\beta}_{1i}$, quadrados médios dos desvios de regressão, $\hat{\sigma}_{di}^2$, e coeficiente de determinação, $R_i^2(\%)$, baseadas na decomposição da interação genótipo x ambiente da análise conjunta.

Tabela 9 – Estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes

Genótipos	$\hat{\beta}_{0i}$	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	$R_i^2(\%)$
G1	140,4999	0,8885 ^{ns}	88,4499 [“]	38,3514
G2	141,4817	0,7711 ^{ns}	19,2318 [“]	62,8703
G3	142,2764	1,5395 ^{**}	55,6025 [“]	73,9853
G4	147,5190	0,6005 ^{**}	65,4482 [“]	27,2276
G5	150,6235	1,1771 ^{ns}	228,0719 [“]	30,7514
G6	138,1931	0,3848 ^{**}	149,4146 [“]	6,65470
G7	139,1712	1,3497 ^{**}	33,1112 [“]	77,2927
G8	146,2967	1,2889 ^{ns}	15,6225 [“]	84,5630

$\hat{\beta}_{0i}$: média geral do i-ésimo genótipo; $\hat{\beta}_{1i}$: coeficiente de regressão linear; $\hat{\sigma}_{di}^2$: variância dos desvios da regressão linear; $R_i^2(\%)$: coeficiente de determinação; **: significativamente diferente de 1, pelo teste t, com nível de significância de 1%; “: significativamente diferente de 0, pelo teste F, com nível de significância de 1%

Os genótipos G4, G5 e G8 apresentaram resultados superiores à média geral, 143,2577 Kg/tc, dos ambientes. Quanto à adaptabilidade os genótipos foram classificados em: G1, G2, G5 e G8 com adaptabilidade geral ou ampla aos ambientes. Os genótipos G4 e G6 apresentaram adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e os genótipos G3 e G7, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis.

Quanto a estabilidade, nenhum genótipo avaliado foi considerado estável, ou seja, com alta previsibilidade ($\hat{\sigma}_{di}^2 = 0$). O genótipo G8, para esse conjunto de dados, pode ser promissor, pois apresenta uma alta média de ATR, adaptabilidade geral para os ambientes e, apesar da baixa previsibilidade, obteve um coeficiente de determinação de aproximadamente 84%.

4.4. Metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados das médias de ATR (kg/tc) nos ambientes, os índices ambientais codificados (I_j) e a transformação do I_j de cada ambiente.

Tabela 10 – Média de produtividade ATR (Kg/tc) de cana-de-açúcar, índice ambiental codificado, I_j , e a transformação do I_j , $T(I_j)$, nos oito ambientes avaliados.

Ambiente	Média	Índice ambiental (I_j)	$T(I_j)$
A1	141,5525	-1,70517	0
A2	146,8175	3,55983	-2,42682
A3	147,0163	3,75858	-2,22807
A4	148,3375	5,07983	-0,90682
A5	128,0681	-15,1896	0
A6	137,7236	-5,53412	0
A7	141,7399	-1,51777	0
A8	154,8060	11,54837	5,56172

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade se encontram na Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes.

Genótipo	Médias nos Ambientes		Coeficientes de Regressão				$\hat{\sigma}^2_{\delta_i}$	$R^2\%$
	Desf.	Favorável	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$		
G1	135,0570	145,9428	140,4999	1,033 ^{ns}	-1,534 ^{''}	-0,502 ^{**}	3,86653 [#]	48,11
G2	136,8300	146,1333	141,4817	0,902 ^{ns}	-1,387 ^{''}	-0,485 ^{**}	0,67701 ^{ns}	80,22
G3	135,0838	149,4691	142,2764	1,474 ^{**}	0,699 ^{ns}	2,173 ^{**}	2,86598 [#]	75,29
G4	147,0831	147,9549	147,5190	0,344 ^{**}	2,721 ^{''}	3,065 ^{**}	1,20402 [#]	74,89
G5	142,4203	158,8267	150,6235	1,253 ^{ns}	-0,805 ^{ns}	0,448 ^{ns}	11,09536 [#]	31,98
G6	131,6976	144,6886	138,1931	0,573 ^{**}	-1,997 ^{''}	-1,424 ^{**}	6,28821 [#]	21,94
G7	130,9136	147,4288	139,1712	1,231 ^{ns}	1,263 ^{''}	2,494 ^{**}	1,44443 [#]	83,07
G8	139,0828	153,5105	146,2967	1,191 ^{ns}	1,041 ^{ns}	2,232 ^{**}	0,76352 ^{ns}	89,26

**.: significativamente diferente de 1, pelo teste t, com nível de significância de 1%; '': significativamente diferente de 0, pelo teste t, com nível de significância de 1%; #: significativamente diferente de 0, pelo teste F, com nível de significância de 1%.

As estimativas de $\hat{\beta}_0$ representam a produtividade média de ATR dos genótipos avaliados. Aliado ao modelo de Cruz *et al.* (1989), considera-se como genótipos melhor adaptados àqueles que apresentarem maiores médias do caráter avaliado (Mariotti *et al.*, 1976). As médias variaram entre 138,1931 kg/tc e 150,6235 kg/tc, sendo a média geral igual a 143,2577 kg/tc. Os genótipos G4, G5 e G8 apresentaram média superior à média geral, sendo considerados os mais adaptados aos ambientes.

As estimativas de $\hat{\beta}_1$ avaliaram os desempenhos dos genótipos nas condições desfavoráveis. Os genótipos G4 e G6 apresentaram boa adaptação nas condições desfavoráveis ($\hat{\beta}_1 < 1$), enquanto que o genótipo G3 mostrou-se ser muito exigente nessas mesmas condições ($\hat{\beta}_1 > 1$).

A maioria dos genótipos (G1, G2, G5, G7 e G8) apresentaram estimativas de $\hat{\beta}_1$ igual a um, evidenciando adaptabilidade geral, isto é, tanto em ambientes desfavoráveis quanto em ambientes favoráveis. Destaca-se entre eles o genótipo G5 por ter apresentado a maior produtividade média de ATR.

Os genótipos G4 e G6 foram classificados com adaptabilidade para ambientes desfavoráveis e o genótipo G3 pode apresentou adaptabilidade para ambientes desfavoráveis.

As estimativas de $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ avaliaram a resposta nos ambientes favoráveis, isto é, quanto maior a estimativa, maior é a resposta do material à melhoria do ambiente. Os genótipos com essa característica ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 > 1$) são G3, G4, G7 e G8 enquanto que os genótipos G1, G2 e G6 não apresentaram respostas positiva quando houve melhoria no ambiente.

Com relação à estabilidade fenotípica ou à previsibilidade dos genótipos em termos de resposta linear à melhoria do ambiente, avaliadas pelos desvios da regressão, constata-se que os genótipos G2 e G8 apresentaram alta estabilidade ($\hat{\sigma}^2_{\delta_i} = 0$), enquanto que os demais apresentaram baixa estabilidade ($\hat{\sigma}^2_{\delta_i} > 0$).

Cruz *et al.* (1989) afirmam que o comportamento da produtividade pode também ser avaliado pela estimativa de R^2 , salientando que aqueles materiais que apresentarem estimativas de R^2 acima de 80% evidenciam boa estabilidade, nos ambien-

tes considerados. Desta forma, observa-se na Tabela 11 que os genótipos G2, G7, e G8 apresentam boa estabilidade, pois apresentam R^2 superiores aos 80%.

O genótipo considerado como ideal pelo método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) é aquele que apresenta uma média alta ($\hat{\beta}_0$ alto), seja menos exigente nas condições desfavoráveis ($\hat{\beta}_1$ o menor possível), tenha capacidade de responder à melhoria ambiental ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ o maior possível) e alta estabilidade nos ambientes considerados ($\hat{\sigma}^2_{\delta_i} = 0$ ou $R^2 > 80\%$). Nenhum dos genótipos avaliados possui essas características.

4.5. Metodologia de Annicchiarico (1992)

A classificação dos ambientes em favorável, desfavorável e geral (considerando todos os ambientes), de acordo com o índice ambiental, e os parâmetros estimados pelo método proposto por Annicchiarico (1992) estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade segundo metodologia de Annicchiarico (1992) da variável ATR de oito genótipos de cana-de-açúcar em oito ambientes

Ambiente	Medida	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
Geral	$\bar{Y}_{i.}$	140,50	141,48	142,28	147,52	150,62	138,19	139,17	146,30
	$\bar{Z}_{i.}$	98,09	98,81	99,16	103,10	105,10	96,63	97,05	102,05
	$\hat{\sigma}_{zi}$	6,39	3,43	6,09	5,98	9,81	8,74	4,49	3,38
	ω_i	96,34	97,88	97,49	101,47	102,42	94,24	95,82	101,13
Favorável (A2, A3, A4, A8)	$\bar{Y}_{i.}$	145,94	146,13	149,47	147,95	158,83	144,69	147,43	153,51
	$\bar{Z}_{i.}$	97,86	97,98	100,10	99,04	106,45	97,06	98,71	102,80
	$\hat{\sigma}_{zi}$	5,22	3,68	3,83	5,51	12,23	8,07	5,33	3,76
	ω_i	96,43	96,98	99,05	97,53	103,11	94,85	97,25	101,78
Desfavorável (A1, A5, A6, A7)	$\bar{Y}_{i.}$	135,06	136,83	135,08	147,08	142,42	131,70	130,91	139,08
	$\bar{Z}_{i.}$	98,32	99,64	98,22	107,16	103,76	96,21	95,38	101,30
	$\hat{\sigma}_{zi}$	8,24	3,48	8,35	3,01	8,37	10,62	3,35	3,31
	ω_i	96,07	98,69	95,94	106,34	101,47	93,30	94,47	100,39

Avaliando-se os genótipos nos ambientes favoráveis, os genótipos recomendados são G5 e G8. Observando os valores dos índices de recomendação (ω_i) e a alta produtividade em todos os ambientes (Geral), os genótipos considerados mais adaptados e estáveis foram G5, G4 e G8, respectivamente.

Para o caso dos ambientes desfavoráveis, verifica-se que os mais recomendados foram G5, G4 e G8, nessa ordem, por apresentarem os maiores índices de recomendação e também recomendados para qualquer tipo de ambientes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabendo da importância da cana-de-açúcar tanto do ponto de vista econômico quanto social para o Brasil, os programas de melhoramento genético buscam desenvolver variedades cada vez mais produtivas e resistentes a pragas e doenças, o que colocou o país no patamar dos países produtores de cana-de-açúcar e seus derivados. Sabe-se que o efeito da interação dessas variedades com o ambiente é fator determinante na sua recomendação e diversos métodos estatísticos são utilizados para amenizar este efeito. Dos resultados obtidos pela análise de variância conjunta, pode-se verificar que o efeito da interação genótipo x ambiente foi significativo, causando comportamento diferenciado dos genótipos em relação aos ambientes avaliados, justificando a aplicação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade.

O método proposto por Wricke (1965) e baseado em ANOVA, apesar de fácil interpretação não fornece informações suficientes para a recomendação de um determinado genótipo. A classificação dos genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade demonstra que os métodos propostos Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), ambos baseados em regressão linear e regressão linear bissegmentada, respectivamente, apresentaram-se fortemente associados. A vantagem apresentada pelo método Cruz, Torres e Vencovsky (1989) em relação ao de Eberhart e Russell (1966) é, além de poder identificar o genótipo considerado como ideal, identificar o genótipo que tenha respostas favoráveis à melhoria do ambiente.

Por último, o método proposto por Annicchiarico (1992), obtém estimativas de adaptabilidade e estabilidade pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. É de fácil interpretação e associado a outro método, baseado em outra estatística, pode se revelar importante na recomendação dos genótipos a ambientes específicos e gerais.

Por meio dos métodos aplicados, pode-se recomendar o plantio do genótipo de cana-de-açúcar adequado a cada ambiente. Na recomendação de genótipos para ambientes gerais, ou seja, todos os tipos de ambientes, destaca-se o genótipo G8 por obter média de ATR acima da média geral, sendo o terceiro genótipo mais produtivo. Por Wricke (1965) foi considerado o mais estável, associado ao método de Cruz *et al.* (1989), apresentou as características esperadas em um genótipo: adaptabilidade em qualquer tipo de ambiente - geral - ($\beta_1 = 1$), ao mesmo tempo, com capacidade de responder à melhoria ambiental ($\beta_1 + \beta_2 > 1$) e alta estabilidade ($\sigma_{\delta_i}^2 = 0$, $R^2\% > 80\%$) e por Annicchiarico (1992), concordando com Cruz *et al.* (1989), pode ser recomendado para qualquer tipo de ambiente, apresentado alto índice de recomendação ($\omega_i > 100$) em todos os tipos de ambientes.

Para os ambientes desfavoráveis, a partir dos métodos utilizados, pode ser recomendado, com cautela, o genótipo G4. Esse genótipo apresentou alta média de produtividade de ATR igual a 147,52 Kg/tc, sendo superior a média geral, por Cruz *et al.* (1989), $\beta_1 < 1$, no entanto $\beta_1 + \beta_2 > 1$, o que indica que esse genótipo tem bom comportamento quanto às mudanças ambientais, isto é, aproveita de forma satisfatória os recursos fornecidos pelo ambiente em sendo, altamente recomendado por Annicchiarico (1992) com $\omega_i = 106,34$. Contudo, apresenta baixa estabilidade comprovado por Wricke (1965), $W_i = 10,61\%$, e por Cruz *et al.* (1989), $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2 > 0$ e $R^2 < 80\%$.

Nenhum genótipo atendeu aos requisitos de todos os métodos aplicados neste trabalho para que seja considerado como adequado exclusivamente para ambientes favoráveis. No entanto, pode-se cultivar, nesse tipo de ambiente, o genótipo G8 por apresentar adaptabilidade para todos os tipos de ambientes e alta estabilidade.

É importante destacar o genótipo G5 por apresentar a maior produtividade média de ATR entre os genótipos estudados. Por Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e Annicchiarico (1992) pode ser recomendado para qualquer tipo de ambiente, no entanto, dos genótipos avaliados pela metodologia de Wricke (1965), é considerado o de menor estabilidade, confirmado tanto por Eberhart e Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989), significando que o comportamento desse genótipo é imprevisível quanto às mudanças ambientais.

O genótipo considerado como ideal não está presente entre os genótipos avaliados neste trabalho.

A utilização de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade de forma combinada pode ser interessante, agregando informações a respeito do comportamento dos genótipos avaliados. No entanto, o uso desses métodos, baseados em mesma estatística, como por exemplo, Eberhart e Russel (1966) e Cruz *et al.* (1989), que se baseiam em regressão linear, é desaconselhável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics & Breeding**, Madison, v.46, p.269-278, 1992.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos da biologia moderna**. São Paulo: Moderna, 2ª. ed. rev. 662p, 1997.

ANDRADE, J.C. 1985. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Associação dos Plantadores de Cana de Alagoas, Maceió. 285p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Brasília:MAPA/ACS, 2009. 160 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia – Brasília: MAPA/SPAE, 2007. 139 p.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa.

CORREIA, W. R. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Minas Gerais**. Uberlândia-MG, 2007. 39p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético - volume 2**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2ª ed. rev. 585p, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2ª ed. rev., v.1, 390 p, 2001.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, set. 1989.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. **Stability parameters for comparing varieties**. Crop Sci., Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding program. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, n.6, p.742-754, 1963.

FREEMAN, G.H. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. **National Vegetable Research Station**, Wellesbourne, Warwick, v. 31 (3), p. 339-354, 1973.

HOOGERHEIDE, E.S.S. **Estabilidade fenotípica de algodoeiro herbáceo em diferentes sistemas de produção no Estado do Mato Grosso**. 2004. 80p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.2008. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola- LSPA . Brasília. DF. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 13 de Janeiro de 2010.

LIN, CS; BINNS, MR. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68: 193-198.

MARIOTTI, I. A.; OYARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Nordeste Argentino**, Tucumán, v. 13, n. 14, p. 105-127, 1976.

MATSUOKA, S. **Botânica e Ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Maringá: UFPR/SENAR, 1996, 26p.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. p. 225-274.

OLIVEIRA, A. M. S.; HAMAWAKI, O. T.; OLIVEIRA NETO, J. O.; PENNA, J. C. V.; JULLIATTI, F. C.; SOUZA, S. A. Estabilidade e adaptabilidade fenotípica de cultivares de soja do Brasil Central. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p 9-19, 2004.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, Orono, v.36, p.381-385, 1959.

PRADO, E. E.; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36 n. 4, p. 625-635, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

SANTOS, J. A. N.; SANTOS, M. A.; VIDAL, M. F. **Setor sucroalcooleiro nordestino: desempenho recente e possibilidades de políticas**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 256p. : fot. – (Série Documentos do ETENE, 18).

SILVA, G.C. **Seleção de clones rb de cana-de-açúcar no litoral sul da Zona da Mata de Pernambuco utilizando técnicas multivariadas**. Recife, 2008. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SILVA, W. C. M. **Produtividade agro-industrial de genótipos RB de cana-de-açúcar da série 1993 em 3 regiões de cultivo do estado de Alagoas: estratificação de ambiente e análise de adaptabilidade e estabilidade**. Maceió, 2004. 111p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas.

SILVA, J.G. & BARRETO, J.N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1, 1985. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.49-50.

TAI, G.C.C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v.11, p.184-190, 1971.

TOLER, J.E.; BURROWS, P.M. Genotypic performance over environmental arrays: a non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, Abingdon, v.25, n.1, p.131-143, 1998.

UNICA. Setor Sucroenergético - Consecana. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={6ED1BE65-C819-4721-B5E7-312EF1EA2555}>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2010.

UNICA. Setor Sucroenergético – Mapa de Produção. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={D6C39D36-69BA-458D-A95C-815C87E4404D}>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2010.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, SP: Soc. Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theor Appl. Genet.**, Berlin, v. 53, n. 2, p. 89-91, 1978.