**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Melhoramento participativo e seleção de genótipos de gengibre
(*Zingiber officinale*) com resistência a Fusariose (*Fusarium
oxysporum*)**

Nancy Farfan Carrasco

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Genética e Melhoramento de Plantas

**Piracicaba
2016**

Nancy Farfan Carrasco
Bacharel em Ciências Agrárias

Melhoramento participativo e seleção de genótipos de Gengibre (*Zingiber officinale*) com resistência a Fusariose (*Fusarium oxysporum*)

Orientador:

Profa. Dra. **ELIZABETH ANN VEASEY**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Genética e Melhoramento de Plantas

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Carrasco, Nancy Farfan

Melhoramento participativo e seleção de genótipos de Gengibre (*Zingiber officinale*) com resistência a Fusariose (*Fusarium oxysporum*) / Nancy Farfan Carrasco. - - Piracicaba, 2016.

87p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Seleção participativa 2 Fusariose 3. *In vitro* 4. Zingiberi I. Título

DEDICATÓRIA

A Deus e a virgem Imaculada Conceição de Ninabamba, Acomayo, Perú, por abençoar meu caminho dia a dia.

Aos meus pais Manuel e Maria pelo constante apoio. Aos meus amados irmãos Carmen, Jalmar, Yeny, Jackeline e Crystel, e a meu noivo Luiz

AGRADECIMENTOS

Acostumamos dizer no final que fazer uma tese é um trabalho árduo. Acho que é muito mais que isso, existem etapas tais como os intensos diálogos com a orientadora, a convivência nas disciplinas de formação, as participações nos congressos, as sugestões recebidas e o árduo trabalho de revisão constituem um todo coletivo deste trabalho.

Por esses motivos quero dar as graças em especial: Ao CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

A minha orientadora professora Elizabeth Ann Veasey, e ao Professor José Baldin Pinheiro, pela orientação, pelo apoio, assim como a sabedoria que me transmitiram no desenvolvimento da minha formação.

Ao Dr. Antônio Marchiori, Chefe da CATI – Ubatuba, pela presteza em apoiar nossa pesquisa, colaborando na organização do trabalho com os agricultores da cadeia produtiva de gengibre de Maranduba – Ubatuba, sem seu apoio teria sido complicado conseguir os nossos objetivos.

A Dra. Liliane De Diana Teixeira, técnica do laboratório de fitopatologia da ESALQ, pela ajuda na identificação e isolamento do *Fusarium*.

A Carlos Alberto de Oliveira, técnico do departamento da genética, pelos ensinamentos sobre cultivo *in vitro*.

A Dona Anne Kageyama, por ter cedido uma área na sua propriedade para poder instalar nossos experimentos e fazer o dia de campo com os agricultores da região. Também quero agradecer a todos os agricultores da cadeia produtiva de gengibre de Maranduba, por eles terem participado no processo de melhoramento participativo desta Tese, em especial ao Amarildo, pela ajuda incondicional no manejo do campo, pelo carinho com o qual ajudou na condução do experimento, e pelas experiências de campo que foram trocadas em todos nossos encontros.

Ao Marcos Cella, Técnico do Laboratório de Ecologia Evolutiva e Genética Aplicada da ESALQ, por todo o apoio, parceria no desenvolvimento da tese, e em especial pela amizade que criamos produto deste trabalho, obrigada mesmo! Também quero agradecer ao Carlos, motorista do Departamento de Genética, obrigada pela ajuda nas viagens para a avaliação do experimento.

E a todos os colegas do Departamento de Genética pela convivência.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Revisão bibliografica.....	13
Referências	23
2. IDENTIFICAÇÃO DAS PRIORIDADES DE MELHORAMENTO E SELEÇÃO PARTICIPATIVA DE VARIEDADES DE GENGIBRE	29
Resumo	29
Abstract.....	30
2.1. Introdução.....	30
2.2. Material e métodos	33
2.3. Análise de dados	38
2.4. Resultados e discussão	40
2.5. Considerações finais.....	52
Referências	53
3. IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE GENGIBRE COM RESISTENCIA A <i>FUSARIUM</i> EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO.....	57
Resumo	57
Abstract.....	57
3.1. Introdução.....	58
3.2. Material e Métodos	60
3.3. Resultados e discussão	65
3.4. Considerações finais.....	81
Referências	82
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87

RESUMO

Melhoramento participativo e seleção de genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*) com resistência a Fusariose (*Fusarium oxysporum*)

O gengibre é uma das especiarias mais importantes e amplamente utilizadas no mundo. Atualmente, a maior produção desta cultura concentra-se nos estados do sul do Brasil, sendo grande parte destinada para exportação. A geração de renda e a manutenção da variabilidade genética do gengibre são feitas principalmente pela agricultura familiar. Portanto, com o objetivo de continuar incrementando a diversidade genética do gengibre e contribuir com uma adoção rápida de variedades com melhor rendimento, adaptadas às características dos campos dos agricultores, e com resistência à principal doença desta cultura (Fusariose), este trabalho visou selecionar genótipos de gengibre do banco de germoplasma da ESALQ/USP com características relacionadas às prioridades dos agricultores do vale de Caraguatatuba – Ubatuba e que possuam algum nível de resistência a *Fusarium oxysporum*. Para tal, esta pesquisa foi dividida em duas partes. Primeiramente, desenvolveu-se um processo de melhoramento genético participativo, onde os agricultores ajudaram a identificar as prioridades de seleção de gengibre, procurando características que sejam adequadas às suas necessidades e na identificação da sintomatologia de fusariose mediante escala de notas. Na segunda parte, foi feita uma seleção de genótipos promissores por meio de avaliações em campo e casa de vegetação, através de uma análise de interação genótipo x ambiente. Os resultados mostraram que as prioridades de melhoramento escolhidas pelos agricultores foram resistência a doenças e pragas, altos rendimentos, estabilidade no tempo, variedades que consigam suprir necessidades de venda *in natura* e industrializado e com capacidade de atender diferentes tipos de mercado. Dentre os genótipos avaliados pelos agricultores, foram selecionados os genótipos G7, G16, G20, G22, G29, G31, G33, G47, G49, G51, G53, G58, G61 e G66 como resistentes e com características agrônomicas promissoras. Nas avaliações de campo e casa de vegetação observou-se que dos 49 genótipos analisados, G47 apresentou o maior nível de resistência, enquanto que G11, G23, G30, G43 e G64, foram identificados como genótipos resistentes. Desses genótipos selecionados como resistentes apenas os genótipos G23 e G64 foram promissores, apresentando estabilidade na resistência, produção, formação de perfilhos, e caracteres qualitativos de interesse agrônomico. Entre os genótipos selecionados mediante melhoramento clássico e os selecionados com melhoramento participativo houve apenas uma coincidência na seleção (G47) referente à sintomatologia, mas ao ser testado para estabilidade referente à doença, este genótipo apresentou alta instabilidade no tempo, não se mostrando adequado para recomendação como variedade resistente. Dessa forma, novos estudos deverão ser desenvolvidos visando testar estes genótipos em outros ambientes.

Palavras-chave: Gengibre; Melhoramento participativo; *Fusarium*; *In vitro*

ABSTRACT

Selection of genotypes of ginger (*Zingiber officinale*) with resistance to *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum*)

Ginger is the most important and widely used spice in the world. Currently, the greater production of this crop is focused in the southern states of Brazil, where most of the production is destined for export. The generation of income and the maintenance of genetic variability of ginger are provided mainly by family farming. Therefore, with the objective to continue increasing genetic diversity of ginger and contribute with a rapid adoption of varieties with better yield, adapted to farmers' fields characteristics, and resistance to the main disease of this crop (fusariosis), this work aimed at selecting ginger genotypes from the germplasm bank of ESALQ/USP with characteristics related to the priorities of the farmers from Caraguatatuba-Ubatuba Valley, presenting some level of resistance to *Fusarium oxysporum*. Therefore, this research was divided in two parts. First, a participatory breeding process was developed, where farmers helped to identify the priorities of selection in ginger, searching for features that are appropriate to their needs and to identify the symptoms of *Fusarium* by grading scale. In the second part, a selection was made of promising genotypes through evaluations in the field and in a greenhouse, through an analysis of genotype x environment interaction. Results showed that the farmers' breeding priorities were resistance to diseases and pests, high income, stability in time, varieties that are able to meet sales requirements both *in natura* and industrialized, including ability to supply different market types. Among the genotypes evaluated by the farmers, the genotypes G7, G16, G20, G22, G29, G31, G33, G47, G49, G51, G53, G58, G61 and G66 were selected as being resistant and with promising agronomic characteristics. In the field and greenhouse evaluations, it was observed that from the 49 genotypes analyzed, genotype G47 showed the highest level of resistance, while G11, G23, G30, G43 and G64, and were identified as resistant genotypes. From these genotypes selected as resistant only G23 and G64 were promising, showing stability in resistance, production, tillers production, and qualitative traits of agronomic interest. Among the genotypes selected by classical breeding and those selected through participatory breeding, there was only one coincidence in the selection (G47) related to symptoms, but when tested for disease stability, it presented high instability in time, not being suitable for recommendation as a resistant variety. Thus, further studies should be developed aiming to test these genotypes in other environments.

Keywords: Ginger; Participatory breeding; *Fusarium*; *In vitro*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Análise de componentes principais utilizando distância Euclidiana para as quatro características avaliadas, como resistência a *Fusarium*, preferência ao tamanho do rizoma, constrição do rizoma e distribuição dos rizomas secundários de gengibre (*Zingiber officinale*) 50
- Figura 2. Gráfico do GGE Biplot com os dois componentes principais (PC1 e PC2), para resistência a *Fusarium* em três experimentos, duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba, com 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), e um experimento em casa de vegetação em 2015 com 39 genótipos. 70
- Figura 3. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para a resistência a *Fusarium*, em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba e um experimento em casa de vegetação em 2015 com 39 genótipos. 71
- Figura 4. Análise de agrupamento dos genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*) segundo as características morfológicas qualitativas. 74
- Figura 5. Representação gráfica da correlação existente entre as características quantitativas avaliadas e os genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), produto das avaliações das safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba. 75
- Figura 6. Representação gráfica da interação genótipo ambiente referente a rendimento de cada genótipo de gengibre (*Zingiber officinale*), produto das avaliações das safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba. 76
- Figura 7. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para o peso de rizoma em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba. 78
- Figura 8. Representação gráfica da interação genótipo ambiente referente a rendimento de formação de perfilhos em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), produto das avaliações das safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba. 80
- Figura 9. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para o peso de rizoma em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Locais de procedência dos acessos de gengibre do Banco de Germoplasma da ESALQ-USP, incluindo temperatura média anual de cada município	35
Tabela 2. Análise de comparação de variáveis usando teste t para probabilidades de seleção de características por grupos.	42
Tabela 3. Locais de procedência dos acessos de gengibre (<i>Zingiber officinale</i>) do Banco de Germoplasma da ESALQ-USP, incluindo municípios produtores, estados, coordenadas geográficas e temperatura média anual e número de acesso avaliado por cada município	61
Tabela 4. Genótipos de gengibre (<i>Zingiber officinale</i>), localidade de origem e os níveis de resistência avaliados em campo (safra 2013-2014 e 2014-2015) e casa de vegetação 2015.....	66

1. INTRODUÇÃO

O gengibre (*Zingiber officinale* Rosc.) é originário da região Indo-Malaia e agora amplamente distribuído nos trópicos da Ásia, África, América e Austrália, sendo utilizado no mundo inteiro como uma especiaria e como planta medicinal (PARK; PIZZUTO, 2002; RAVINDRAN; BADU, 2004). O rizoma do gengibre conte vários compostos biologicamente ativos como curcumina, 6-gingerol, 6-shogaols, zingiberene, bisabolene, e vários outros tipos de lipídeos que conferem ao gengibre as propriedades medicinais. Essas propriedades vêm sendo reportadas como responsáveis por várias aplicações medicinais (PHILLIPS et al., 1993; OKALEBO et al., 2002). Na medicina tradicional da Índia, é usado para redução de colesterol e artrites; já na medicina Árabe é considerado como um afrodisíaco. Hoje em dia o gengibre é altamente cultivado na África, Ásia e no Caribe (MOGHADDASI; KASHANI, 2012).

A introdução do gengibre no Brasil é atribuída por muitos autores às invasões holandesas que ocorreram por volta de 1625 no Estado de Pernambuco. Contudo, há relatos que citam a presença desta planta no ano de 1587. Os árabes introduziram o gengibre na África ocidental no século 13, e os Portugueses espalharam para as Ilhas do Pacífico, o que fez com que nessas áreas de introdução ele seja cultivado comercialmente (RAVINDRAN et al., 2006). Visconde de Nassau quando veio para o Brasil trouxe o famoso botânico Pison que relatou o gengibre como planta indígena encontrada em estado silvestre, onde os indígenas conheciam o gengibre como *Managaratía* ou *Magaratai*, tanto que a considerou simultaneamente Brasileira e Asiática. Esta convicção foi afirmada até longa data (PIO CORREA, 1984).

O cultivo do gengibre no Brasil concentra-se principalmente nos estados do sul do Brasil, principalmente nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e no estado de Espírito Santo (ELPO; NEGRELLE, 2004; ELPO et al., 2008), destacando-se o fato de que grande parte da produção é destinada para exportação, surgindo como uma alternativa rentável tanto para a economia local, como no mercado externo (DEBIASE et al., 2004).

Tendo em consideração que no Brasil os agricultores são os próprios fornecedores de semente e que o comportamento usual deles é a baixa adoção de cultivares melhorados em centros experimentais, torna-se interessante aplicar técnicas de melhoramento que envolva os agricultores, convertendo o agricultor em

participante principal no desenvolvimento de variedades melhoradas. Atualmente existem técnicas de melhoramento, como o melhoramento participativo, onde se faz seleção de genótipos nos campos dos agricultores, e onde se conduz um melhoramento genético de maneira conjunta entre o melhorista e os agricultores. O principal objetivo desta metodologia é a seleção de variedades que satisfaçam as necessidades e preferências dos agricultores e, dessa forma, ter uma adoção e difusão rápida das variedades melhoradas (CECCARELLI, 2012).

Atualmente, não se dispõe de variedades de gengibre geneticamente melhoradas no Brasil, sendo que os plantios são realizados utilizando rizomas que provêm da própria produção local de variedades tradicionais. Nesse cenário, nem sempre os rizomas utilizados como sementes atendem aos padrões de qualidade mínimos para o sucesso das lavouras, trazendo como consequência a diminuição da produtividade a cada safra e o surgimento de pragas e doenças. Entre as doenças que afetam a produção de gengibre encontram-se o amarelo ou murcha de *Fusarium*, causado pelo *Fusarium oxysporum*, assumindo grande importância devido à ausência de métodos eficientes de controle. O método de controle químico é dificultado devido a pouca eficiência dos fungicidas para o controle da doença e à ausência de produtos registrados para a cultura (KIMATI et al., 1997). A seleção de variedades resistentes é importante para um controle integrado de *Fusarium*, especialmente se essas variedades são selecionadas baseadas em experimentos repetidos em anos e em diferentes ambientes. O sucesso da infecção de um patógeno vai depender de quão rápido a planta reconhece o patógeno e ativa a apropriada reação de defesa da planta.

Baseado no exposto, este trabalho visou selecionar genótipos candidatos de gengibre resistentes a *Fusarium*, por meio de seleção fenotípica em campo e casa de vegetação e mediante seleção participativa e melhoramento clássico. Os genótipos que fizeram parte do processo seletivo são provenientes do Banco do Germoplasma de Gengibre da ESALQ, o qual foi montado através de coletas em três estados do país, basicamente das áreas com maior área de produção (Moji das Cruzes/SP, Atibaia/SP, Nazaré Paulista/SP, Piracaia/SP, Piedade/SP, Tapiraí/SP, Caraguatatuba/SP, Ubatuba/SP, Santa Leopoldina/ES, Santa Maria de Jetibá/ES, Antonina/PR, Guaratuba/PR, Paranaguá/PR e Morretes/PR).

1.1. Revisão bibliográfica

1.1.1. Taxonomia

A família Zingiberaceae ocorre principalmente nas regiões tropicais do mundo, com cerca de 53 gêneros e 1.200 espécies. A maior concentração de gêneros e espécies estão na região Indo-malaia da Ásia. A classificação atualmente aceita é que a família de Zingiberaceae inclui quatro tribos, a saber, Hedychieae: 22 gêneros, Alpinieae: 25 gêneros, Zingibereae: um gênero (*Zingiber*), e Globbeae: quatro gêneros (KRESS et al., 2002).

O gênero *Zingiber* está distribuído na Ásia tropical e subtropical e extremo oriente da Ásia e é composto por mais de 150 espécies. A família Zingiberaceae é de considerável importância por ser uma família de especiarias. Além do gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), esta inclui outras espécies importantes como o açafrão-da-terra ou cúrcuma, conhecido também como gengibre amarelo (*Curcuma longa*), cardamomo (*Elettaria* spp., *Amomum* spp., *Aframomum* spp.), e várias outras espécies com importância medicinal e econômica (RAVINDRAN et al., 2005).

As demais espécies do gênero *Zingiber* reportadas no mundo são *Z. chrysanthum* Rosc., *Z. Rubens* Roxb., *Z. roseum* Rosc., *Z. nimmonii* Dalz., *Z. wightianum* THW., *Z. barbatum* Wall., *Z. squarrosum* Roxb., *Z. ligulatum* Roxb., *Z. cernuum* Dalz., *Z. panduratum* Roxb., *Z. pardocheilum* Wall., *Z. intermedium* Baker, *Z. officinale* Rosc., *Z. griffithii* Baker, *Z. gracile* Jack., *Z. zerumbet* Smith, *Z. cylindricum* Luna, *Z. macrostachyum* Dalz., *Z. spectabile* Griff., *Z. casumunar* Roxb., *Z. parishii* Hook., *Z. clarkii* Rey, *Z. capitatum* Roxb., *Z. marginado* Roxb (RAVINDRAN et al., 2005).

O gengibre na Índia tem rica diversidade genética, representando cerca de 22 gêneros e 170 espécies. A riqueza biológica no cinturão de Manipur-Nagaland (nordeste da Índia), um dos mega-hotspots de biodiversidade, também tem várias espécies selvagens e domesticadas de gengibres medicinais. Esta região contribui com 19 gêneros e 88 espécies (PRAKASH; MEHROTRA, 1996). Fitogeograficamente, o nordeste da Índia é o ponto de encontro da flora Indo-Malásia e do Leste Asiático. A mistura de espécies nesta região tem possivelmente favorecido hibridação natural e a riqueza da biodiversidade (NAITHANI; BAHADUR, 1983).

1.1.2. Morfologia do gengibre

O gengibre é uma planta herbácea perene, que pode atingir 1,50m de altura, de caule articulado, anguloso e muito ramoso, rizoma horizontal, comprido lateralmente, com ramificações situadas num mesmo plano, digitiformes (mão de gengibre), no vértice das quais se encontram cicatrizes do caule foliáceo, revestido de epiderme rugosa e de cor pardacenta; o rizoma varia de 14 a 16 cm de comprimento por 4 a 20 mm de espessura. As folhas são ordenadas em duas séries (dísticas), com bainha amplexicaule, com presença de uma lígula bífida e flores amarelo esverdeadas, hermafroditas, zigomorfas, dispostas em espigas fusiformes. O fruto é uma cápsula trilocular que se fende em três valvas; as sementes são azuladas e contém um albúmen carnoso. As flores do gengibre são usualmente estéreis e raramente emitem sementes (PIO CORRÊA, 1984; EMBRAPA, 2001; ELPO et al., 2004).

O gengibre possui um caule subterrâneo (rizoma) modificado para propagação vegetativa e armazenamento de reservas alimentícias. Quando uma porção pequena do rizoma é usado para o plantio pode haver uma ou mais gemas apicais sobre ele. No entanto, normalmente uma única gema se torna ativa. Quando são utilizados grandes pedaços, mais do que uma gema pode-se desenvolver simultaneamente. Mais do que um ramo é responsável pelo desenvolvimento do rizoma. Um rizoma maduro pode ter em média de 6-26 ramos axilares mostrando uma reação geotrópica negativa (SHAH; RAJU, 1975).

1.1.3. Diversidade genética

A história da domesticação de gengibre não está ainda definida. No entanto, esta cultura é conhecida por ter estado sob cultivo e uso na Índia e na China durante os últimos 2000 anos ou até mais. A China é provavelmente a região em que a domesticação tenha começado, mas pouco se sabe sobre o centro de origem, embora exista a maior variabilidade genética na China (RAVINDRAN; BABU, 2005). Esse longo período de domesticação do gengibre pode ter desempenhado um papel importante na evolução desta cultura que é estéril e propagada exclusivamente vegetativamente. A estrutura da população desta espécie é determinada principalmente pela presença de mecanismos de isolamento e a divergência que

poderiam ter resultado através da acumulação de mutações aleatórias (RAVINDRAN et al., 2005).

Existem outras teorias de que o gengibre é originário do Oriente, Ásia Tropical e do Arquipélago Malaio. É altamente cultivado na Índia, no sudeste Asiático, África Tropical, Ilhas do Oceano Pacífico, e Austrália (MALHINDRA, 1982 citado por RAVINDRAN; BABU, 2005). Foi difundido pelo mundo, como especiaria com a descoberta do caminho marítimo que levava ao Oriente. Existem relatos de que nos séculos XII a XIV era tão popular na Europa quanto a pimenta-do-reino. Foi introduzido na América logo após o descobrimento, tendo sido inicialmente cultivado no México, sendo levado às Antilhas, principalmente à Jamaica, onde em 1547, chegou-se a exportar cerca de 1.100 t para a Europa (NEGRELLE et al., 2005).

A introdução do gengibre no Brasil é atribuída por muitos autores às invasões holandesas que ocorreram por volta de 1625 no Estado de Pernambuco. Contudo, há relatos que citam a presença desta planta no ano de 1587. Visconde de Nassau quando veio para o Brasil trouxe o famoso botânico Pison que relatou o gengibre como planta indígena, a encontrando no estado silvestre, conhecido pelos indígenas como *Managaratía* ou *Magaratai*, tanto que a considerou simultaneamente Brasileira e Asiática. Esta convicção foi afirmada até longa data (PIO CORREA, 1984).

O gengibre é conhecido no mundo sob diferentes nomes comuns típicos da região como em chinês: Jeung, Sang Keong, Chiang, Jiang, Keong, Shen Jiang; em inglês: ginger; em havaiano: 'awapuhi Pākē; na Índia: adrak, inchi; no Japão: shoga; em Java: san gurng, gung guung, san geong, atjuga; nas Ilhas Salomão: papasa; em espanhol: gengibre; na Tailândia: khing; e no Vietnã: gung (RAVINDRAN; BABU, 2005). A maioria das espécies de *Zingiber* são diploides ($2n=22$). O gengibre cultivado (*Z. officinale*) possui número de cromossomos $2n = 24$, mas também há relatos de $2n = 22 + 2B$ (RAVINDRAN et al., 2004).

1.1.4. Melhoramento genético de gengibre

Grandes coleções de germoplasma de gengibre são mantidos no Instituto Indiano de Pesquisa de Especiarias (IISR), em Calicut – Índia, e no Instituto de pesquisa de plantas medicinais e especiaria, em Bogor – Indonésia. Nesses países se fazem muitos esforços para a conservação do germoplasma e melhoramento genético desta espécie. O melhoramento genético de gengibre é baseado em sua maioria por seleção clonal. As etapas incluídas nesta seleção são: coleção de

cultivares de diferentes áreas agroecológicas, avaliação de cultivares para superioridade de produção, capacidade de resposta ao estresse, seleção de linhas promissoras, replicação do experimento para capacidade de rendimento em vários locais, seleção das cultivares mais adaptadas, multiplicação e testes em parcelas de grande tamanho, e finalmente a liberação do cultivar. Para a cultivar ser liberada, esta deverá ter 20% ou mais de rendimento, em relação a cultivar padrão dominante.

Nos países orientais onde se desenvolveram programas de melhoramento de gengibre, os objetivos foram obter maior rendimento, alta qualidade, resistência a fungos e bactérias, rizomas grandes com baixo teor de fibras, entre outras características. Os programas de melhoramento nesses países procuraram resistência a *Pythium* e *Ralstonia*, mas até agora nada foi encontrado nessas pesquisas referentes a resistência a doenças. Já programas de melhoramento liderados pelo IISR-Calicut, avaliaram 15 cultivares de uma coleção presente no Banco de Germoplasma desta instituição, testando experimentos em quatro anos e cinco locais, procurando variedades com melhor desempenho. Como resultado desta pesquisa se chegou a selecionar a variedade *Varada*, sendo esta variedade hoje em dia a variedade mais importante na Índia (RAVINDRAN; NIRMAL, 2004).

No IISR, Sasikumur et al. (1992) estudaram 100 acessos de germoplasma de gengibre, onde fizeram um estudo de correlação de caracteres agrônômicos, observando que as características do rizoma são possivelmente correlacionadas com a altura da planta e número perfilhos, número de folhas, comprimento e largura da folha. O tamanho da planta também está correlacionado significativamente e positivamente com o número, comprimento e largura de folhas. Também observaram que a largura da folha está correlacionada significativamente com a resistência a secas e o número de perfilhos estaria correlacionado negativamente com a resistência a secas.

O gengibre, por não ter processos de recombinação, ou seja, reprodução sexual, não é passível de um sistema de melhoramento convencional. Portanto, induções de variabilidade genética por mutações foram testadas por alguns pesquisadores (MOHANTY; PANDA, 1991; NIRMAL BABU, 1997). Outra técnica de melhoramento genético usado em gengibre foi a indução de poliploidia, isso com a finalidade de induzir fertilidade e melhorar o crescimento e produção do gengibre. A empresa Buderim Ginger Co. em Austrália, relatou que tinha desenvolvido e liberado para cultivo uma linhagem tetraploide, através de processos de poliploidia oriundo de

uma variedade local. Esta linha chamada Bunderim ouro é de rendimento muito mais elevado e tamanhos maiores, o que propicia melhor aptidão para a indústria (RAVINDRAN e BADU, 2005).

Já no Brasil não se tem registros de programas de melhoramento genético do gengibre. Um dos primeiros trabalhos referente à melhoria desta espécie, esta sendo executado pela ESALQ-USP, onde se conseguiu montar um banco de germoplasma com material de diferentes estados do Brasil, para assim poder representar a variabilidade genética desta espécie no Brasil. Como resultados destas pesquisas foram obtidas informações sobre o perfil do produtor de gengibre, estimativas de diversidade genética, e a caracterização morfológica, molecular e bioquímica dos materiais presentes no banco de germoplasma (ZAMBRANO, 2015). Um dos fatores importantes a serem considerados no processo de melhoramento do gengibre no Brasil, será obter variedades resistentes a *Fusarium*, doença de grande importância nos estados produtores. Estas informações serão base para desenvolvimentos de programas de melhoramento no Brasil.

1.1.5. Melhoramento participativo descentralizado

Um problema fundamental no melhoramento de plantas é a relação entre o ambiente de seleção e o de destino. Uma seleção direta no ambiente de destino sempre será mais efetiva. Quanto mais diferente for o ambiente de seleção do ambiente de destino, menor será a eficiência de seleção. Os melhoristas tiveram consideráveis êxitos em áreas favoráveis, mas com frequência, ao atacar os problemas de agricultores pobres que moram em lugares pouco favoráveis, simplesmente projetam as mesmas metodologias e filosofias para entornos favoráveis com alto potencial. Ao fazer este melhoramento em áreas favoráveis não consideram as limitações associadas com a interação Genótipo e Ambiente (G*A) (WISSAR, 1994).

Os melhoristas consideram que as interações G*A são, entre outros, os principais atores que limitam a resposta de seleção e, em geral, a eficiência dos programas de melhoramento. Distinguem-se dois tipos de interações: o primeiro tipo muda o parâmetro do genótipo no mesmo lugar depois de um tempo, causando uma grande variabilidade “temporal”. O segundo tipo muda consistentemente a ordem de genótipos entre diferentes ambientes de destino, causando variabilidade “espacial” ou “geográfica”. Os agricultores têm mais interesse em evitar ou reduzir a variabilidade

temporal, enquanto que a maioria dos melhoristas (e companhias de sementes) preocupam-se em evitar a variabilidade geográfica (RIOS et al., 2006).

No caso da variabilidade temporal, o objetivo deveria ser evitar a interação G*A, estabilizando os rendimentos dos cultivos. Uma forma para conseguir, isto é, cultivando populações heterogêneas (geneticamente similares às antigas variedades locais) e não cultivares uniformes como por exemplo linhas puras ou híbridos, ou cultivando diferentes variedades no mesmo lugar. Já no caso da variabilidade geográfica, o objetivo deveria ser explorar as interações G*A melhorando a adaptação específica dentro dos ambientes de destino. Isto se pode conseguir selecionando diretamente em ambientes de destino: “seleção descentralizada”. Nesses casos, o programa de melhoramento tem vários lugares de seleção, e cada lugar representa um tipo distinto de ambiente de destino. Quando se baseia no rendimento dentro de cada ambiente de destino e não no rendimento médio em todos os lugares e em todos os anos, a seleção descentralizada se converte em uma seleção de adaptações específicas.

Esta estratégia tem duas consequências importantes. Primeiro, os cultivos e cultivares adaptam-se ao ambiente biofísico e socioeconômico. Em segundo lugar, se reafirma a importância de variedades locais domesticadas para o melhoramento. Estas cultivares mais antigas geralmente não tem bons rendimentos em condições de altos insumos estabelecidos nas estações de pesquisa, mas são muito difíceis de superar em condições marginais, de baixos insumos (CECCARELLI, 1994).

Mesmo que a seleção descentralizada seja uma metodologia poderosa para adaptar cultivos ao ambiente físico, o melhorista de cultivos baseado em uma seleção descentralizada pode seguir errando em seus objetivos, quando não considera as preferências e conhecimento que possuem os agricultores dos cultivos e do meio ambiente. A não ser que se faça de maneira participativa, esse melhoramento pode ser um fracasso na adaptação de cultivos às necessidades e usos específicos das comunidades agrícolas.

Nas primeiras etapas do melhoramento, os melhoristas criam uma grande variabilidade genética. Por conseguinte, devem-se incluir as percepções que tem os agricultores sobre suas próprias necessidades e seus conhecimentos dos cultivos. A participação dos agricultores nas etapas iniciais da seleção oferece uma solução ao problema de adequar o cultivo a muitos ambientes, como as diferentes preferências dos agricultores (CECCARELLI et al., 1996; KORNEGAY et al., 1996).

A aceitação da seleção descentralizada como uma estratégia de melhoramento conduz quase inevitavelmente à aceitação da participação dos agricultores, como uma necessidade tática. Há boas razões para a participação dos agricultores no aumento da eficiência e efetividade de um programa de melhoramento, ainda quando com frequência não se define esta participação só por razões de equidade.

A vantagem de um melhoramento de plantas participativo é que a delimitação dos objetivos do melhoramento é definida juntamente com os agricultores, processo no qual eles expressam as preferências para o tipo de material genético que será usado no processo de melhoramento (WELTZIEN; CHRISTINCK, 2009). Os agricultores também estão envolvidos em todas as decisões importantes, particularmente, na decisão de qual o material a ser mantido no processo de seleção e qual será o material a ser descartado. Eles muitas vezes sugerem inovações metodológicas na maneira e na forma em como é instalado o experimento (CECCARELLI et al., 2013). Esse processo de participação em quase todas as fases do processo de melhoramento, permite que a aceitação na introdução e difusão de variedades melhoradas seja feita de forma mais rápida e eficiente.

1.1.6. *Fusarium* no gengibre

Fusarium amarelo é o problema mais grave do gengibre, já que se expandiu mais do que a murcha bacteriana. As plantas infectadas com *Fusarium oxysporum* não murcham rapidamente como a murcha bacteriana, em vez disso, plantas de gengibre infectadas são raquíticas e amareladas. As folhas inferiores secam durante um período de tempo prolongado. No começo do processo fenológico do gengibre observa-se brotos verdes aparentemente saudáveis. A planta finalmente se seca quando o fungo invade todo o sistema vascular dos rizomas que mostram uma descoloração castanha cremosa da porção condutora de água do rizoma e um apodrecimento negro proeminente dos tecidos no córtex.

Os rizomas não se tornam macios como na murcha bacteriana. Esta doença de *Fusarium* é uma podridão seca caracterizada pelo colapso dos tecidos corticais, ocasionalmente acompanhados por uma área purpura, e um crescimento micelial branco felpudo nas superfícies de corte nas peças de gengibre (TRUJILLO, 1963). A doença pode começar na peça de semente inicialmente plantada, e também, tem sido observado que o fungo pode facilmente invadir sementes saudáveis, quando estas

são feridas e plantadas em solos infectados. À medida que a podridão avança em áreas dos rizomas, o córtex mostra áreas afundadas. Isto é especialmente visível em rizomas infectados no armazenamento.

Stirling (2004) identificou claramente *Fusarium oxysporum* f. *zingiberi* (FOZ) como agente causal do apodrecimento e foi o responsável pela má instalação da cultura em muitas fazendas durante o período de 1997-1998 no Sudeste de Queensland, na Austrália. Neste caso, o FOZ se tornou um problema em um terço dos produtores de gengibre, chegando a ter mais de 90% de peças de semente que não conseguiram produzir brotos viáveis e apodreceram antes da emergência. A capacidade do agente patogênico para infectar o tecido é particularmente problemática para o gengibre comercial, dado que a propagação ocorre através da obtenção de peças cortadas a partir da semente de rizoma da colheita.

1.1.7. Reprodução *in vitro* de gengibre

O gengibre é reproduzido vegetativamente através de pedaços de rizomas, mas grandes perdas no rendimento foram relatadas nos anos 70 devido à murcha bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*), podridão mole (*Pythium aphanidermatum*) e nematóides (*Meloidogyne* spp.) (HOSOKI; SAGAWA, 1977; de LANGE et al., 1987). Mais recentemente, as regiões produtoras de gengibre têm apresentado apodrecimento de rizomas de cor amarela, causado pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi* que vem sendo uma seria ameaça à cultura durante a estocagem e em condições de campo (CONCI, 2009; MARCHIORI, 2008). A doença é transmitida principalmente pelos rizomas propagados a cada ano, sendo que a produção de clones livres da doença com taxa de multiplicação rápida é necessária para o sucesso desta cultura.

A micropropagação proporciona um sistema rápido e confiável para a produção de grande número de mudas geneticamente uniformes. Ela oferece um método para aumentar genótipos valiosos rapidamente e acelerar a liberação de variedades melhoradas. Além disso, garante a produção em massa de clones elite, de linhagens parentais ou híbridos específicos, e de mudas saudáveis com caracteres desejáveis (GEORGE et al., 2007).

Há alguns relatos sobre o uso de cultura de tecidos para a propagação *in vitro* de gengibre. Hosoki e Sagawa (1977) relataram um máximo de seis cortes de gemas

em cultura *in vitro*. Inden (1988) relatou que um explante produz mais de quatro brotos em nove semanas. Existem outros trabalhos nessa área referente à cultura de tecidos de gengibre onde se relata sobre a micropropagação (BHAGYALAKSHMI; SINGH, 1988; WANG, 1989; BALACHANDRAN et al., 1989), a regeneração das plantas por organogênese (MALAMUG et al., 1991), a embriogênese somática (BABU et al., 1992; KACKAR et al., 1993), a conservação *in vitro* de germoplasma (DEKKERS et al., 1991), a produção de gemas livres de doenças (SHARMA et al., 1994) e a produção de micro rizomas (SHARMA; SINGH, 1997).

Sharma e Singh (1997) relatam a rápida multiplicação *in vitro* livre de doenças em clones de gengibre, e do controle de podridão no armazenamento de rizoma. Já Debiasi et al. (2004) desenvolveram um protocolo de micropropagação de gengibre, onde obtiveram como resultado que a imersão das gemas por 10 ou 20 minutos em solução de hipoclorito de sódio 3% associada a 2 minutos em solução de álcool 70% inibiu a contaminação por microorganismos. As médias do número de brotos emitidos aos 30 dias de cultivo indicaram o tratamento 3 (meio de cultura MS + 1.0 mg L⁻¹ de BAP) como destaque, mantidas a 26±2°C, fotoperíodo de 16 horas a 50 µmol m⁻² s⁻¹ por 20 dias, com 4,10 novos brotos. Já em relação ao tamanho das brotações o destaque foi para o tratamento 1 (sem suplementação de fitorreguladores), com crescimento médio de 3,13 cm de altura.

O maior obstáculo para a melhoria da cultura do gengibre é a falta de produção de sementes. Assim, a multiplicação rápida de propágulos livres de doenças em grande escala é necessária. Isso só é possível através de cultura *in vitro*. Estima-se que o aumento de três vezes na produção de rizomas poderia ser possível através do controle efetivo de doenças e pragas (HOSOKI; SAGAWA, 1977).

1.1.8. Usos do gengibre

O gengibre confere sabor e pungência para alimentos e bebidas (ARCTANGDER, 1960; PRUTHY, 1993; BAKHRU, 1999). As propriedades do sabor do gengibre dependem das frações voláteis e não voláteis. O gengibre fresco no começo do desenvolvimento é suculento e rosa e possui baixo teor de fibra. É preferido para produtos como doces de gengibre, conservas, e enquanto o gengibre for fresco e maduro é usado para preparar pedaços de gengibre, chá de gengibre, gengibre na preparação de curry. É um componente indispensável no preparado de curry.

A medicina Ayurveda recomenda o gengibre como um carminativo, antiespasmódico, expectorante, estimulante circulatório periférico, adstringente, estimulante de apetite, anti-inflamatório, diurético, e digestivo (WARRIER, 1989). Estudos farmacológicos recentes atestam esse valor medicinal do gengibre (AIMBIRE et al., 2007; ANSARI; BHANDARI, 2008; MORAKINYO et al., 2008; HEIMES et al., 2009; NAMMI et al., 2009, 2010; LAKSHMI; SUDHAKAR, 2010). O gengibre é também recomendado para mulheres como medicina pré-natal para aliviar o enjoo (OZGOLI et al., 2009; BROUSSARD et al., 2010). O gengibre é constituinte principal nas formulações incluindo *Chatarbhada Kvatha*, utilizado contra a febre e distúrbios respiratórios, e com *Hingvastaka churna* recomendado para indigestão (SINGH, 1983; THAKUR et al., 1989).

Na medicina chinesa o gengibre é muito utilizado desde o século 4 AC (WAGNER; HIKINO, 1965), para problemas médicos como dor de estômago, dor de cabeça, diarreia, náuseas, cólera, asma, doenças cardíacas, doenças respiratórias, dor de dente, dores reumáticas (WAGNER; HIKINO, 1965; GRANT; LUTZ, 2000). Africanos e Indianos ocidentais igualmente usam gengibre para muitas doenças (TYLER et al., 1981). O gengibre foi usado na medicina mediterrânea para o tratamento de artrite, problemas reumatológicos e desconforto muscular (LANGNER et al., 1998; SHARMA; CLARK, 1998). Também tem sido recomendado para o tratamento de outras condições como arteriosclerose, enxaqueca, artrite reumatoide, colesterol elevado, úlceras, depressão, e impotência (LIANG, 1992).

O gengibre é bastante conhecido no Brasil como ingrediente do famoso quentão muito apreciado durante as festas juninas e em alguns produtos farmacêuticos e de confeitaria. Em outros países, porém, se estende também à fabricação de bebidas, como o ginger-ale (refrigerante) e o "ginger-beer"; este último, na Alemanha, onde é largamente industrializado, recebe o nome de "Ingwerbier"; os chineses o absorvem sob a forma de um forte licor, o "Khaung" e os portugueses empregam-no na "Engibirra". O extrato alcoólico dos rizomas serve, em grande escala, para aromatizar bebidas gasosas e outras bebidas e o seu pó é empregado na fabricação de condimentos, como "curry", produto indiano internacionalmente conhecido. O gengibre é utilizado também em conservas, para cuja finalidade, é colhido quando ainda novo, originando, assim um produto menos ardido, mais suculento e pouco fibroso; suas brotações novas são ainda utilizadas na forma de pickles (PREFEITURA DE MORRETES, sem data).

Referências

- ABRAHAM, Z.; LATHA, M. Correlation and path analysis in ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). **Journal of Spices and Aromatic**, v. 12, n.2, p. 187-189, 2003.
- AIMBIRE, F.; PENNA, S.C.; RODRIGUES, M.; RODRIGUES, K.C.; LOPES-MARTINS R.A.B; SERTIÉ J.A.A. Effect of hydroalcoholic extract of *Zingiber officinalis* rhizomes on LPS-induced rat airway hyperreactivity and lung inflammation. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.77, p.129–138, 2007.
- ANSARI, M. N.; BHANDARI, U. Cardioprotective activity of *Zingiber officinale* Roscoe in rats. **Hamdard Medicus**, v.51, p. 26-29, 2008.
- ARCTANGDER, S. Perfume and flavour materials of natural origin. NJ: Elizabeth Publisher, 1960. p. 2049.
- BAKHURU, H.K. Herbs that heal: natural remedies for good health. Oriental Paper Backs, New Delhi, India, 1999. p. 97.
- BAKER, J.G. Scitamineae. In: HOOKER, J.D., The Flora of British India, Vol. VI, Bishen Singh Mahendrapal Singh, Dehra Dun, p. 198–264. 1978.
- BROUSSARD, C.; LOUIK, C.; HONEIN, A.; MITCHELL, A. Herbal use before and during pregnancy. **American Journal of Obstetric Gynecology**, v. 202, n.443, p.1-6, 2010.
- BURTT, B.L.; SMITH, R.M. Key species in the taxonomic history of Zingiberaceae. **Notes from the Royal Botanic Garden**, v. 31, p. 177-222, 1972.
- CECCARELLI, S. Plant breeding with farmers – a technical manual. Local, ICARDA, 2012, p.126
- CHEN, C.Y.; LIU, T.Z.; LIU, Y.W.; TSENG, W.C.; LIU, R.H.; LU, F.L.; LIN, Y.S.; KUO, S.H.; CHEN C. H. 6-shogaol (alkanone from ginger) induces apoptotic cell death of human hepatoma p53 mutant Mahlavu subline via an oxidative stress-mediated caspase-dependent mechanism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p. 948–954, 2007.
- DELIN, J.; WU, K.; LARSEN, K. Zingiberaceae. **Flora of China**, v. 24, p.322-377, 2000.<http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume24/>
- DEVIDE, A.C.P.; MARCHIORI, A.; DE CASTRO, C.M.; DE LIMA, N.A.; CASTILHO, A.M.C.; RIBEIRO, R.D.L.D. Diagnóstico da produção de gengibre (*Zingiber officinale*) do litoral norte de São Paulo: tecnologia, sócioeconomia, cultura e

- ambiente. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v. 24, n. 1, p. 51-55, 2004.
- ELPO, E.; NEGRELLE, R. *Zingiber officinale* ROSCOE: Aspectos botânicos e ecológicos. **Visão acadêmica**, Curitiba, v.5, n.1, p. 27-32, 2004.
- ELPO, E.; NEGRELLE, R.; RUCKER N.G. Produção de gengibre no município de Morretes, PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.2, p.211-217, 2008.
- EMBRAPA. Plantas Medicinais. Folder 12, Porto Velho: Embrapa, 2001.
- GRANT, K.L.; LUTZ, R.B. Ginger. **American Journal of Health-System Pharmacy**, v.57, p.945–947, 2000.
- HABSAH, M.; AMRAN, M.; MACKEEN, M.M.; LAJIS, N.H.; KIKUZAKI, H.; NAKATANI, N.; RAHMAN, A.A.; GHAFAR, A.; ALI, A.M. Screening of Zingiberaceae extracts for antimicrobial and antioxidant activities. **Journal of Ethnopharmacology**, v.72, n.3, p. 403-410, 2000.
- HEIMES, K.; FEISTEL, B.; VERSPOHL, E.J. Impact of the 5-HT receptor channel system for insulin secretion and interaction of ginger extracts. **European Journal of Pharmacology**, v. 624, p.58–65, 2009.
- HOLTUM, R. E. The *Zingiber* of the Malay Paninsula. **The Gardens Buletin**, Singapore, v. 13, p.38-65, 1950.
- IQBAL, Z.; LATEEF, M.; AKHTAR, M.S.; GHAYUR, M.N.; GILANI, A.H. In vivo anthelmintic activity of ginger against gastrointestinal nematodes of sheep. **Journal of Ethnopharmacology**, v.106, n.2, p.285-287, 2006.
- JAMES, M.E.; NANNAPANENI, R.; JOHNSON, M.G. Identification and characterization of two bacteriocin producing bacteria isolated from garlic and ginger root. **Journal of Food Protection**, v.62, n.8, p. 899-904, 1999.
- JEONG, C.H.; BODE, A. M.; PUGLIESE, A. et al. [6]-gingerol suppresses colon cancer growth by targeting leukotriene A4 hydrolase. **Cancer Research**, v.69, n.13, p.5584-5591, 2009.
- KAPOOR, A. Antifungal activities of fresh juice and aqueous extracts of turmeric and ginger (*Zingiber officinale*). **Journal of Phytochemical Research**, v.10, p.59-62, 1997.
- KIMATI, H.; GIMENES-FERNANDES, N.; SOAVE, J.; KUROZAWA, C.; BRIGNANI NETO, F.; BETTIOL, W. Guia de fungicidas agrícolas: recomendações por cultura/Grupo Paulista de Fitopatologia. 2 ed. Jaboticabal: Grupo Paulista de Fitopatologia, 1997.

- KIZHAKKAYIL, J.; SASIKUMAR, B. Genetic diversity analysis of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) germplasm based on RAPD and ISSR markers. **Scientia Horticulturae**, v.125, n.1, p.73-76, 2011.
- KOH, E.M.; KIM, H.J.; KIM, S.; CHOI, W.H.; CHOI, Y.H.; RYU, S.Y.; KIM, Y.S.; KOH, W.S.; PARK, S.Y. Modulation of macrophage functions by compounds isolated from *Zingiber officinale*. **Planta Medica**, v.75, n.2, p. 148-151, 2009.
- KRESS W.J, PRINCE L. M; WILLIAMS K. J. The phylogeny and a new classification of the gingers (*Zingiberaceae*): evidence from molecular data. **American Journal of Botany**, v. 89, n.11, p.1682-1696, 2002.
- KHUSHTAR, M.; KUMAR, V.; JAVED, K.; BHANDARI, U. Protective effect of ginger oil on aspirin and pylorus ligation-induced gastric ulcer model in rats. **Indian Journal of Pharmacy**, v. 71, n.5, p. 554-558, 2009.
- KUO, P.C.; DAMU, A.G.; CHERNG, C.Y.; JENG, J.F.; TENG, C.M.; LEE, E.J.; WU, T.S. Isolation of a natural antioxidant, dehydrozingerone from *Zingiber officinale* and synthesis of its analogues for recognition of effective antioxidant and antityrosinase agents. **Archives of Pharmacal Research**, v.28, n.5, p.518-528, 2005.
- LAKSHMI, B.V.S.; SUDHAKAR, M. Protective effect of *Zingiber officinale* on gentamicin-induced nephrotoxicity in rats. **International Journal of Pharmacology**, v. 6; n. 1, p. 58-62, 2010.
- LANGNER, E.; GREIFENBERG, S.; GRUENWALD J. Ginger: history and use. **Advances in Therapy**, v.15, p.25–44, 1998.
- LEE, H.Y.; PARK, S.H.; LEE, M.; KIM, H.J.; RYU, S.Y.; KIM, N.D.; HWANG, B. Y.; HONG, J.T.; HAN, S.B.; KIM, Y. 1-Dehydro-[10]-gingerdione from ginger inhibits IKK β activity for NF- κ B activation and suppresses NF- κ B-regulated expression of inflammatory genes. **British Journal of Farmacology**, v.167, n.1, p. 128-140, 2012.
- LINCY, A.K.; JAYARAJAN, K.; SASILUMAR, B. Relationship between vegetative and rhizome characters and final rhizome yield in micropropagated ginger plants (*Zingiber officinale* Rosc.) over to generations. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.118, n.1, p. 70-73, 2008.
- LIANG, Y.H. Pollen morphology of the family Zingiberaceae in China—pollen types and their significance in the taxonomy. **Acta Phytotaxonomica Sinica**, v.26, p. 265–286, 1988.

- LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa SP: Instituto Plantarum, 2002. 512p.
- MARTINS, A. P.; SALGUEIRO, L.; GONCALVES, M.J.; CUNHA DA, A. P.; VILA, R. Essential oil composition and antimicrobial activity of three Zingiberaceae from S. Tome Principe. **Planta Medica**, v.67, p.580-584, 2001.
- MOGHADDASI, M. SH.; KASHANI, H. H. Ginger (*Zingiber officinale*): A review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 26, p. 4255-4258, 2012.
- MORAKINYO A.O.; ADENIYI O. S.; ARIKAWE A. P. Effects of *Zingiber officinale* on reproductive functions in the male rat. **African Journal of Biomedical Research**, v.11, p. 329–334, 2008.
- NAITHANI, H.B.; BAHADUR, K.N. Observation on extended distribution of new and rare taxa of Northeast Indian with special reference to arunachal Pradesh. In Jain, S.K & Rao R.R. (Ed.) An assessment of threatened plants of India, 1983. p.116-126.
- NAMMI, S.; SREEMANTULA, S.; ROUFOGALIS, B.D. Protective effects of ethanolic extract of *Zingiber officinale* rhizome on the development of metabolic syndrome in high-fat diet-fed rats. **Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology**, v.104, p.366–73, 2009.
- NEGRELLE, R.R.B.; ELPO E.R.S.; RÜCKER N.G.A. Análise prospectiva do agronegócio gengibre no estado do Paraná. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.1022-1028, 2005.
- OKALEBO, J.R.; GATHUA, K.W.; WOOMER, P.L. Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual. 2nd edition. Nairobi, Kenya: TSBF-CIAT and SACRED Africa, 2002.
- OZGOLI, G.; GOLI, M.; MOATTAR, F. comparison of effects of ginger, mefenamic acid, and ibuprofen on pain in women with primary dysmenorrhea. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v.15, p.129–132, 2009.
- VAIRA, D.; HOLTON, J.; BASSET, C. Bactericidal and anti-adhesive properties of culinary and medicinal plants against *Helicobacter pylori*. **World Journal of Gastroenterology**, v.11, n.47, p.7499–7507, 2005.
- PARK EJ; PIZZUTO JM. Botanicals in cancer chemoprevention. **Cancer and Metastasis Reviews**, v.21, p. 231–255, 2002
- PETERSEN G. Cytology and systematics of Araceae. **Nordic Journal of Botany**, v.9, p.119–166, 1989.

- PHILLIPS, S.; RUGGIER, R.; HUTCHINSON, S.E. *Zingiber officinale* (ginger)--an antiemetic for day case surgery. **Anaesthesia**, v.48, n.8, p.715-717, 1993.
- PIO-CORRÊA, M. 1952. Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, v.3, 646 p.
- PRAKASH, V.; MEHROTRA, B. N. Zingiberaceae of India: biological screening and ethnobotanical diversity. In: Proceedings of the second symposium of the Family Zingiberaceae. South China Institute of Botany, China, p. 229-237, 1996.
- PRIYA, R.S.; SUBRAMANIAN, R. B. Isolation and molecular analysis of R-gene in resistant *Zingiber officinale* (ginger) varieties against *Fusarium oxysporum* f.sp. *zingiberi*. **Bioresource Technology**, v. 99, n.11, p. 4540-4543, 2008.
- PRUTHY, J.S. Major spices of India: crop management, post harvest technology. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research, 1993. p. 514.
- QIANG, L.Q.; WANG, C.P.; WANG, F.M.; PAN, Y.; YI, L.T.; ZHANG, X.; KONG, L.D. Combined administration of the mixture of honokiol and magnolol and ginger oil evokes antidepressant-like synergism in rats. **Archives of Pharmacal Research**, v.32, n.9, p.1281-1292, 2009.
- RANA, N.; KORLA, B.N.; Evaluation of ginger germplasm for yield and quality and under mid hill condition of himachal Pradesh. **Haryanal Journal of Horticultural Science**, Chandigarh, v.36, p. 393-394, 2007.
- RAO, R.R.; JAMIR, N. S. Ethnobotanical studies of Nagaland, I- **Medicinal Plants and Economic Botany**, v.36, n.2, p. 176-181, 1982.
- RAVINDRAN, P.N.; BABU, K.N. Ginger de genus *Zingiber*. **Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profile**, Edited by CRC Press 1° edition, v. 41, 2004. 547p.
- RAVINDRAN, P.N.; NIRMAL B.K.; SHIVA K.N. Genetic resources of spices and their conservation. In: PN Ravindran, K Nirmal Babu, KN Shiva and AK Johny (eds) *Advances in Spices Research*, Agrobios, Jodhpur, p. 63-91, 2006.
- RIYAZI, A.; HENSEL, A.; BAUER, K.; GEIBLER, N.; SCHAAF, S.; VERSPOHL E. J. The effect of the volatile oil from ginger rhizomes (*Zingiber officinale*), its fractions and isolated compounds on the 5-HT₃ receptor complex and the serotonergic system of the rat ileum. **Planta Medica**, v.73, n.4, p. 355-362, 2007.
- SHAH, J. J.; RAJU, E. C. General morphology, growth and branching behavior of the rhizomes of ginger, turmeric and mango ginger. **New Botanist**, v.11, p. 59–69, 1975.

- SHUKLA, Y.; SINGH, M. Cancer preventive properties of ginger: A brief review. **Food and Chemical Toxicology**, v.45, p. 683–690, 2007.
- SRINIVASAN, M. V. Visual navigation: the eyes know where their owner is going. In *Motion Vision – Computational, Neuronal, and Ecological Constraints* (ed. J. M. Zanker and J. Zeil). Berlin, Germany, New York, NY: Springer, 2001. p. 181-186.
- TARAFDER, C.R. Ethnogyneology in relation to plants 2. Plants used for abortion. **Journal of Economic and Taxonomic Botany**, v.4, n.2, p. 507-516, 1983.
- TAVEIRA MAGALHÃES, M. et al. Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) brasileiro: aspectos gerais, óleo essencial e oleoresina. Parte 2 - Secagem, óleo essencial e oleoresina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n. 2, p. 132-136, 1997.
- SHARMA, H.M.; CLARK, C.; MICOZZI, M., ed. Contemporary Ayurveda: medicine and research in Maharishi Ayur-Ved, Medical Guides to Complementary and Alternative Medicine, Foreword by Gary Kaplan, New York: Churchill Livingstone, 1998.
- SINGH, P. Control of aflatoxin through natural plant extracts. In. Bilgranii, K.S.; Prasad, T.; Sinha, k.k.(eds) The proceedings of symposium on mycotoxin in food and feed. Allied Press, Bhagalpur, 1983. p. 307-305.
- TYLER, V.E; BRADY, L.R.; ROBBERS, J.E. Pharmacognosy, 8th edit., Philadelphia, PA: Lea and Febiger, 1981. 156 p.
- THAKUR, R. S.; PURI, H. S.; HUSAIN, A. Major Medicinal Plants of India. Lucknow, India: CIMAP, 1989. p.50-52.
- TIWARI, S.K. Genetic variability and correlation studies in ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). **Annals of Agricultural Research**, v.24, n.2, p. 261-265, 2003.
- XIZHEN, A.; ZHIFENG, C.; JINGRAN, Q. Effects of different levels of supplying fertilizer on ginger quality. **Journal of Shandong Agricultural University**, v. 29, p.183–188, 1998.
- WAGNER, H.; HIKINO, H. Economic and Medicinal Plant Research. New York: Academic Press, Vol. 1, 1965. pp. 62-67.
- WU, H.; HSIEH, M.C.; LO, C.Y.; LIU, C.B.; SANG, S.; HO, C.T.; PAN, M.H. 6-Shogaol is more effective than 6-gingerol and curcumin in inhibiting 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate-induced tumor promotion in mice. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 54, n.9, p. 1296–1306, 2010.

2. IDENTIFICAÇÃO DAS PRIORIDADES DE MELHORAMENTO E SELEÇÃO PARTICIPATIVA DE VARIEDADES DE GENGIBRE

Resumo

Existe um número considerável de agricultores que cultiva o gengibre em Maranduba-Ubatuba, sob um sistema de agricultura orgânica, mas sem o uso de sementes melhoradas, levando a rendimentos baixos. Nenhuma instituição de pesquisa do Brasil, até o momento, tentou mudar esta situação liberando variedades melhoradas, inclusive variedades resistentes a *Fusarium*, doença principal do gengibre, o que levaria a uma potencialização deste cultivo. Sabe-se, por registros passados, que existiam mais agricultores implantando esta cultura em suas áreas, produzindo para consumo interno do país e destinando grande parte da sua produção para exportação. Atualmente, pode-se observar que vários agricultores desistiram desta cultura por não contar com um controle adequado a esta doença. Apesar de toda essa problemática, ainda existem cadeias de produtores bem estabelecidas no vale de Maranduba onde o destino principal é a venda in natura e industrialização do gengibre para o mercado interno. Neste contexto, este estudo teve como objetivos identificar as prioridades de melhoramento desta cultura, baseado nas necessidades dos agricultores e selecionar variedades potenciais de gengibre, mediante seleção participativa. Para a identificação das prioridades de melhoramento, foi realizado um dia de campo com aplicação de entrevistas estruturadas, com o objetivo de identificar as principais variáveis consideradas pelos agricultores no momento da adoção de uma variedade melhorada de gengibre. Para a seleção participativa dos acessos potenciais para o melhoramento genético, avaliou-se 49 genótipos existentes no Banco de Germoplasma da ESALQ/USP. A área escolhida para fazer a seleção varietal foi a propriedade de uma agricultora em Maranduba - Ubatuba. Esta agricultora é representativa deste vale, por ser uma das mais experientes no cultivo de gengibre orgânico, destinado ao consumo in natura e para industrialização. A instalação do experimento foi mediante delineamento de blocos casualizados. O manejo do cultivo foi de acordo com os costumes dos agricultores, onde o processo de adubação foi com adubo orgânico, e as demais práticas culturais foram feitas segundo o sistema já padronizado pelos agricultores do vale de Maranduba. No dia de campo, foi feita a seleção dos genótipos promissores referentes à potencialidade de produção, características desejáveis na morfologia, estrutura e textura do rizoma, e a seleção foi também baseada no nível de resistência ao *Fusarium*. Como resultados deste trabalho, obtivemos que as prioridades de melhoramento escolhidas pelos agricultores foram resistência a doenças e pragas, altos rendimentos e estabilidade no tempo, variedades que consigam suprir necessidades de venda tanto in natura como do produto industrializado e com capacidade de atender diferentes tipos de mercado. Dentre os genótipos avaliados, foram selecionados 14 (G7, G16, G20, G22, G29, G31, G33, G47, G49, G51, G53, G58, G61 e G66) como resistentes e resistentes com características agronômicas promissoras, para dar continuidade ao programa de melhoramento de gengibre.

Palavras-chave: Banco de Germoplasma; Melhoramento participativo; *Fusarium*; *Zingiber officinale*

Abstract

There is a considerable number of farmers cultivating ginger in Maranduba, Ubatuba, under an organic farming system, but without the use of improved seeds, leading to low yields. No research institution in Brazil, so far, have tried to change this situation by releasing improved varieties, including varieties resistant to *Fusarium*, the main ginger disease, which would represent a great improvement for this crop. It is known, by past records, that there were more farmers cultivating this crop in their areas, producing for the country's domestic consumption and devoting much of its production for export. Currently, it can be seen that several farmers gave up on growing this crop for not having an adequate control of this disease. Despite all this problematic, there are still well-established producers chains in Maranduba valley where the main target is to sell fresh and the industrialization of ginger for domestic market. In this context, this study aimed to identify improvement priorities for this crop, based on the needs of farmers and to select potential varieties of ginger, through participatory selection. For the identification of breeding priorities, there was a field day with application of structured interviews in order to identify the main variables considered by the farmers at the time of adoption of an improved ginger variety. For the participatory selection of potential accessions for genetic improvement, we evaluated 49 genotypes from the Germplasm Bank of ESALQ/USP. The area chosen to make varietal selection was the property of a farmer in Maranduba – Ubatuba. This farmer is representative of this valley, being one of the most experienced in organic ginger cultivation, for the fresh market and for processing. The installation of the experiment was made using a randomized block design. Crop management was according to the farmers practices, where the process of fertilization was with organic fertilizer, and the other cultural practices were made according to the system already standardized by the valley farmers of Maranduba. On the field day, a selection of promising genotypes was made related to production potential, desirable characteristics in the morphology, structure and rhizome texture, and the selection was also based on the *Fusarium* resistance level. As a result of this work, we obtained that breeding priorities chosen by farmers were resistance to diseases and pests, high yields and stability over time, varieties that are able to meet sales needs both in natura and as an industrialized product, and ability to supply different market types. Among the genotypes, 14 (G7, G16, G20, G22, G29, G31, G33, G47, G49, G51, G53, G58, G61 and G66) were selected as resistant and resistant with promising agronomic characteristics, in order to continue the ginger breeding program.

Keywords: Germplasm bank; Melhoramento participativo; *Fusarium*; *Zingiber officinale*

2.1. Introdução

O gengibre, *Zingiber officinale* Roscoe, é um cultivo de especiaria importante no mundo, apresentando uma longa história de uso medicinal na China e na Índia onde foi usado há mais de 2500 anos, para dor de cabeça, náuseas e reumatismo. No Brasil é cultivado principalmente na região Sul, em áreas litorâneas, devido a

exigências em clima, com chuvas bem distribuídas, temperaturas altas, e solo arenoso (BLANCO, 1997). No Brasil também é muito valorizado como especiaria, e por seus poderes medicinais, além da utilização como planta ornamental e nas indústrias de perfumaria e bebidas (BLANCO, 1997; LORENZETTI, 2008), sendo bastante procurado no mês de junho para as comemorações das festas juninas, como um dos ingredientes do famoso quentão (LORENZETTI, 2008).

Segundo levantamentos realizados em estados do Brasil que apresentavam altas produções de gengibre, foi observada uma rápida diminuição das áreas cultivadas de gengibre a partir de 2008, devido a vários fatores, como por exemplo, pela alta incidência de doenças fúngicas de solo, queda de preços no mercado de exportação, levando à substituição do gengibre por outras hortaliças (ALMEIDA; ELPO; GIROTTI, 2008). Já no estado de São Paulo, os agricultores consideram que a ausência de assistência técnica é um dos fatores mais importantes para o insucesso dessa cultura na região (DEVIDE, 2004).

Outro fator importante para a diminuição da área de cultivo do gengibre é a inexistência de variedades melhoradas, que resultem em maiores rendimentos, boas características agronômicas, além de apresentar resistência a pragas e doenças, em especial ao *Fusarium* spp., considerada como a principal doença do gengibre, reduzindo drasticamente a produção e considerada a principal causa do abandono do cultivo do gengibre por vários agricultores brasileiros (GHINI; BETTIOL, 1995). A disseminação desta doença ocorre de maneira muito rápida entre os cultivos, uma vez que é comum os agricultores retirarem das suas áreas de cultivo comercial os rizomas que serão utilizados como sementes, o que aumenta a possibilidade de que os rizomas estejam infectados e que esta doença se dissemine a novas áreas (RANA; SHARMA, 1999).

Em muitos países em desenvolvimento o melhoramento de plantas convencional tem demonstrado um progresso espetacular na obtenção de variedades melhoradas para áreas favoráveis, onde o setor formal consegue produzir semente certificada para os agricultores. No entanto, quando o ambiente se torna desfavorável há um claro desafio na adoção de novas variedades que atendam as preferências dos agricultores e que esta seja adaptada a diferentes condições ambientais e a pouca disponibilidade de tecnologia. Visando atender essas necessidades, surgiu o melhoramento de plantas participativo, focando nas preferências dos agricultores, sendo que para incentivar uma rápida adoção das variedades melhoradas o processo

de seleção é realizado juntamente com os próprios agricultores em suas propriedades (CECCARELLI et al., 2012). O melhoramento genético participativo descentralizado tem como objetivo estabelecer comunicação com os agricultores, onde muitas vezes eles conseguem expressar suas preferências para o uso do material genético em um programa de melhoramento (por exemplo: etnovarietade, variedades, linhas) e para características específicas (por exemplo: cor de semente, altura da planta). O material de reprodução é testado nos campos dos agricultores numa fase muito mais cedo de todo o processo seletivo clássico (WELTZIEN; CHRISTINCK, 2009). Neste cenário, os agricultores estão envolvidos em todas as decisões importantes, particularmente no que se refere a que material genético permanece no processo seletivo e qual será descartado no final de cada safra. Eles também muitas vezes sugerem inovações metodológicas no processo do melhoramento genético, o manejo agrônomico e diferentes opções agrônomicas são estabelecidas pelos agricultores. Basicamente o objetivo do programa de melhoramento participativo é que os agricultores participem monitorando todo o processo (CECCARELLI, 2015).

Uma das principais vantagens do melhoramento participativo é a relação temporal entre a liberação do material e a adoção. As variedades já passam por um processo de adoção antes de serem lançadas, portanto, quando são lançadas já são cultivadas em extensas áreas de produção (CECCARELLI, 2015). Outra das vantagens do melhoramento participativo é que as variedades lançadas se tornam disponíveis para os agricultores e, portanto, contribui para alcançar a segurança alimentar (JONES et al., 2014). Também melhora a possibilidade de trabalhar no melhoramento genético com culturas subutilizadas, e a possibilidade de seleção de variedades para agricultura orgânica (WOLFE et al., 2008).

O melhoramento genético convencional e o participativo convergem no mesmo objetivo de obter alta produtividade, incorporação de resistência ou tolerância a fatores bióticos e abióticos, e alta eficiência no uso dos recursos como água, nutrientes, luz, etc. A adaptação local também pode ser importante para o melhoramento genético participativo, como a reciclagem de recursos. Da mesma forma, este tipo de melhoramento pretende encaixar cultivares em sistemas agrícolas que dependem de recursos biológicos renováveis (CRESPO; HERRERA; ORTIZ, 2015).

Tendo em vista a necessidade de desenvolver programas de melhoramento para o cultivo de gengibre, este trabalho visou identificar as prioridades de

melhoramento desta cultura mediante entrevistas a agricultores experientes e desenvolver a seleção participativa de variedades potenciais para o desenvolvimento de programas de melhoramento participativo.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Local de estudo

A olericultura é uma atividade representativa do município de Ubatuba, sendo que essa atividade foi trazida pelos Japoneses, ligados à cooperativa Cotia, o que fomentou uma grande produção de hortaliças. Dentre estas hortaliças, o gengibre foi introduzido pelos japoneses na década de 1940. Ubatuba se destacou como um dos principais produtores do estado nas décadas de 1960 e 1970. Porém, com a ocorrência de doenças decorrente da falta de rizomas-semente de qualidade, houve uma queda na produção deste cultivo (MARCHIORI, 2008). Segundo Torres et al. (2009), dos anos de 2007 a 2008, existiam apenas nove produtores de gengibre, isso como produto da desistência de vários agricultores pela baixa na produtividade dos seus cultivos e ausência de controle para a doença do *Fusarium*.

Para condução desta pesquisa, escolheu-se uma área em Maranduba, distrito de Ubatuba, pertencente a uma das agricultoras mais experientes deste distrito (Sra. Anne Kamiyama). O critério para a escolha desta área foi mediante o histórico de cultivo dessa região. Maranduba é considerada como um distrito onde a maioria dos agricultores tem origem Japonesa ou são descendentes, cultivando o gengibre com altas produções na década de 80, sendo considerada como a maior região produtora e exportadora de gengibre. Por volta dos anos de 2002 a doença de fusário atacou e dizimou a maioria das plantações. Hoje em dia Dona Anne é considerada a rainha do gengibre pela perseverança neste cultivo, ela e os demais agricultores da região optaram por cultivar o gengibre mediante cultivo orgânico, para amortecer os efeitos desta doença. Dona Anne é uma agricultora representativa desta região com mais de 20 anos de experiência nesta cultura, produzindo tanto para o consumo *in natura* como também para industrialização, obtendo assim, um valor agregado desta cultura.

Cerca da metade dos produtores de gengibre desta região realizam o pousio por dois anos ou mais, em busca da redução de problemas fitossanitários. Contudo, o aterramento pode ser uma das causas da rápida disseminação de doenças, uma vez que diversas raízes são danificadas pela lâmina dos implementos e ferramentas

usadas no processo. Cerca de 70% dos produtores não realizam a irrigação, principalmente em função dos altos índices pluviométricos da região (DEVIDE et al., 2004). Entretanto, nos anos nos quais foram realizadas esta pesquisa, ocorreu uma estiagem prolongada prejudicando um pouco o desenvolvimento da cultura. Uma das causas principais do baixo rendimento das lavouras é devido ao elevado índice de contaminação do solo e disponibilidade de material propagativo com fitoparasitas. O frequente encharcamento dos solos cultivados e a escassez de novas áreas isentas de doenças limitam a expansão da atividade (DEVIDE et al., 2004).

2.2.2. Material genético

O material genético utilizado nesta pesquisa, para a seleção participativa de variedades, foi um conjunto de 49 acessos retirados do Banco de Germoplasma da ESALQ-USP (Tabela 1). Esses acessos representam a diversidade genética de gengibre existente no Brasil, pois foi montada a partir de várias coletas em diferentes estados produtores. Estes acessos possuem uma caracterização bioquímica dos óleos essenciais, cujos dados também serão usados para avaliar se os genótipos escolhidos pelos agricultores têm algum potencial referente a conteúdos de óleos essenciais para ser aproveitado na industrialização.

Tabela 1. Locais de procedência dos acessos de gengibre do Banco de Germoplasma da ESALQ-USP, incluindo temperatura média anual de cada município

Município	Estado ¹	N	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)	T (°C)
Atibaia	SP	1	23°08' 25.40"S; 46°29' O	800	20
Nazaré Paulista	SP	1	23°12' 35.75"S; 46°16' O	750	20.3
Piedade	SP	5	23°42' 39.09"S; 47°24' O	800	19.6
Tapiraí	SP	10	23°57' 35.10"S; 47°30' O	880	18.9
Caraguatatuba	SP	3	23°37' 20.30"S; 45°24' O	5	24.9
Ubatuba	SP	5	23°26' 09.24"S; 45°05' O	2	22.6
Santa Leopoldina	ES	6	20°05' 58.39"S; 40°31' O	542	22.3
Santa Maria de Jetibá	ES	8	20°01' 25.63"S; 40°44' O	720	16.0
Antonina	PR	1	25°25' 49.17"S; 48°42' O	5	20.0
Morretes	PR	4	25°29' 09.30"S; 48°49' O	10	25.0
Nova Veneza	SC	1	28° 38' 12"S, 49° 29' O	70	19.1
Candelária Colômbia	CO	1	3°24'35"N 76°20'52"O	973	35.5
Pelotas	RS	1	31°46'19"S 52°20'33"O	17	17.5
Cali Colômbia	CO	1	3°26'24"N 76°31'11"O	1018	23.1
Aurora	SC	1	27°18'54"S 49°38'15"O	350	20.6
Total	-	49			

1 Estados de São Paulo (SP), Espírito Santo (ES) e Paraná (PR).

2.2.3. Identificação das prioridades de melhoramento

Para a identificação das prioridades de melhoramento foi organizado um dia de campo com os agricultores mais experientes da região, durante o qual conseguimos identificar as prioridades de melhoramento referente a este cultivo. Os critérios de seleção dos agricultores foi que sejam altamente experientes neste cultivo (pelo menos 10 anos de cultivo), que a maior parte da produção de suas áreas seja gengibre, e além disso, que faça parte da cadeia produtiva de gengibre do distrito de Maranduba, sob direção da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) de Ubatuba.

As entrevistas foram estruturadas baseadas nos parâmetros considerados no projeto Rosbreeding executado por Karina Gallardo e Huixin Li na Washington State University, em 2012 (Informação pessoal, dados não publicados). Neste projeto foi montada uma metodologia bem dinâmica para se obter as variáveis mais influentes a serem consideradas para identificar prioridades de melhoramento por ocasião da entrevista. As nossas entrevistas seguiram esse formato, mas com algumas adaptações por ser uma cultura de cultivo diferente das rosáceas, utilizadas pelos

pesquisadores citados acima, e por possuir o sistema de cadeia produtiva adaptada para agricultura orgânica. As entrevistas aplicadas constituíram de 19 questões sendo que a maioria apresentava alternativas de respostas em diferentes níveis de importância (Anexo 1), a fim de obter informações da exploração da agricultura, atributos da planta e do rizoma, adoção de novas variedades, e informações socioeconômicas. Dentre as questões aplicadas pode se observar as seguintes como exemplo:

- Além da produção de gengibre, você executa outras funções como embalagem, transporte ou processamento?
- Na colheita de 2012, qual foi o principal objetivo da produção? Fresco, processado, outros?
- Quais são os fatores mais importantes quando você leva seus gengibres para o mercado? Por favor, indique quais outros fatores de marketing são importantes na tomada de decisão, e indique qual dos fatores não se aplica na sua operação de marketing do seu gengibre?
- Para quem vende seu gengibre?
- Avalie a importância dos seguintes atributos do rizoma do gengibre: cor externa, tamanho, formato simétrico, aparência externa livre de defeitos, aparência interna livre de defeitos, firmeza, suculência, sabor, aroma, livre de doenças no armazenamento, conteúdo de fito-nutrientes (óleos essenciais), prazo de validade no varejo.
- Avalie a importância dos seguintes atributos do cultivo do gengibre: comportamento precoce, temporada de colheita estendida, de fácil colheita, alto rendimento (produtividade), rendimento consistente através dos anos, maturidade uniforme para a colheita, resistência ao frio, resistência a doenças, resistência a pragas, resistência a *Fusarium*, outros atributos da planta e do rizoma.
- Quais são seus cinco atributos mais importantes do rizoma e do cultivo do gengibre?
- Quais são seus três atributos menos importantes do rizoma e do cultivo do gengibre?

- Considere os fatores que impactam na aceitação de uma nova variedade de gengibre: diminuição nos tratos culturais, retorno no investimento, o acesso ao capital financeiro, limitações de equipamento/incompatibilidade, disponibilidade de mão de obra, aptidão para o clima/tipo de solo, reduzir as necessidades de pulverização, melhoria na qualidade de rizoma, desempenho horto cultural da variedade (na própria fazenda/parcelas experimentais), desempenho potencial para o mercado, reputação da instituição/melhorista, preferência para processamento, preferência do consumidor, preferência do varejista, preferência do comerciante, preferência da embalagem, preferência da financiadora, outro, por favor especifique.
- Você está interessado na aquisição de rizomas com novos atributos para seus gengibres?
- Quantos hectares totais de gengibre você possui ou gerencia?
- Qual das seguintes estruturas de negócios do cultivo de gengibre se adequa a você?
- Que valor aproximado em reais representa melhor sua safra em 2013 de gengibre?
- Aproximadamente qual a porcentagem da sua produção total que representa a produção do seu gengibre?
- Quantos anos você tem?
- Quantos anos você esteve envolvido na produção de gengibre, como proprietário do campo, gerente, ou tomador da decisão primária?
- Quais das seguintes categorias descreve melhor a sua origem étnica ou racial? Por favor, verifique qual é aplicável.
- Qual é o nível mais alto de educação que você concluiu?

2.2.4. Metodologia para seleção de variedades promissoras

O experimento de campo foi instalado com um delineamento em blocos inteiramente casualizados com 3 repetições. A instalação das parcelas experimentais foi definida respeitando as condições de cultivo dos agricultores. Cada parcela foi

constituída de um metro linear com densidade de plantio de 10 rizomas pertencentes a um mesmo genótipo, com espaçamento entre parcelas de 1,5 m.

Para a seleção dos acessos com diferentes níveis de resistência, foram realizadas avaliações fenotípicas conjuntamente com os agricultores mais experientes no cultivo de gengibre. Para a determinação dos níveis de incidência de *Fusarium* nos genótipos avaliados, inicialmente esta seria realizada pela sintomatologia da doença presente nas folhas como proposto por Baayen e De Matt (1986). Entretanto, devido à estiagem prolongada na região, no momento da avaliação as folhas apresentavam-se secas pela falta de água, impossibilitando a detecção dos sintomas. Dessa forma, a metodologia foi adaptada para sintomatologia presente no rizoma, sendo que a quantificação da resistência e susceptibilidade foi realizada por meio de atribuição de notas de 0-4. Para a avaliação se fez um corte longitudinal no meio do rizoma. Para esta avaliação, considerou-se 0 (zero) quando não apresentava sintomatologia; 1 (um) quando apareciam os primeiros sintomas (uma ligeira coloração marrom da superfície interna do rizoma); 2 (dois) quando apresentava a sintomatologia bem mais desenvolvida com uma coloração marrom acentuada, mas ainda com maior proporção de partes sadias; 3 (três) quando apresentava a coloração marrom grave em todo o rizoma; e 4 (quatro) quando apresentava necrose completa do rizoma (morte) com aspecto murcho. Foram consideradas resistentes (R) quando não apresentavam nenhum dano, ou pouco dano no rizoma, e suscetíveis (S) as plantas que apresentam murchamento do rizoma com muitos danos ou com regiões altamente necrosadas. Além das avaliações referentes à resistência, avaliou-se características fenotípicas para poder identificar se dentro dos genótipos avaliados existia algum material com características promissoras para sua exploração com finalidades comerciais. Dentre as características morfológicas avaliadas, foram considerados distribuição dos rizomas, constrição do rizoma, e aparência externa do rizoma.

A seleção participativa foi seguindo a estrutura do processo de seleção participativa sugerida por Ceccarelli (2015). Para a execução do experimento, houve a participação de melhoristas da ESALQ, extensionistas da CATI de Ubatuba, e agricultores de gengibre.

2.3. Análise de dados

No processo da coleta de dados referente à determinação de prioridades de melhoramento, os agricultores fizeram escolhas nas entrevistas dependendo das

preferências ou prioridades sobre as características importantes a serem consideradas na elaboração de um programa de melhoramento. As características obtidas com maior frequência serão consideradas para a incorporação em futuros programas de melhoramento.

Para a identificação do perfil dos produtores da cadeia produtiva do gengibre, os dados obtidos por meio das entrevistas foram analisados com estatística descritiva (análises de médias e frequências). Para a análise das prioridades de melhoramento genético, identificaram-se quais são as variáveis mais influentes através de entrevistas, onde se pediu aos agricultores para que dessem uma escala de nota de 0 a 7, dependendo do nível de importância de cada característica em estudo. A análise estatística deste conjunto de dados foi realizada pela aplicação do modelo double-bounded Tobit (GALLARDO, 2012). Este foi o modelo único para a análise de todas as características em estudo. O modelo segue o seguinte padrão:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{se } Y^* \leq 0 \\ Y^* & \text{se } 0 \leq Y^* \leq 7 \\ 7 & \text{se } Y^* \geq 7 \end{cases}$$

$$Y^*_i = X_i\beta + E_i$$

Na seleção participativa das variedades realizou-se uma análise de componentes principais, utilizando distância Euclidiana, para classificar os genótipos avaliados de acordo com a resistência ao *Fusarium*, juntamente com as características promissoras para sua exploração.

2.4. Resultados e discussão

2.4.1. Perfil dos agricultores da cadeia produtiva de gengibre de Maranduba-Ubatuba

Através das entrevistas aplicadas aos agricultores conseguiu-se identificar o perfil dos produtores de gengibre. Em relação ao tamanho da área de produção de gengibre gerenciada pelos agricultores, 83,5% possuem entre dois a cinco hectares e apenas 16,5% de oito a treze hectares. Desta forma, podemos observar que o tipo de agricultura praticada nessa localidade é exclusivamente familiar tomando como base a lei nº 11 326 (BRASIL, 2006). Além do gengibre, também são cultivados nas propriedades outras hortaliças, como o pimentão, tomate, alface, couve, tendo o objetivo de fazer rotação de cultivo para controlar o ataque de pragas e doenças, principalmente *Fusarium*, fungo de solo de difícil controle.

Dos agricultores em estudo, foi observado que mais de 50% desempenham as funções de embalar, transportar e processamento dos produtos, além de serem responsáveis pela produção. Quanto aos objetivos da produção, foi observado que os agricultores destinam o seu gengibre para venda *in natura* e processada, sendo que 50% cultivam para venda exclusivamente *in natura*, 33% produzem para ambos objetivos, e 17% cultivam só para venda em forma processada.

Referente à mão-de-obra utilizada na produção de gengibre, a maioria utiliza exclusivamente a familiar e somente 16,5% utilizam mão-de-obra familiar com parceria de outros trabalhadores. Com relação à renda líquida por safra, 16,5% afirmam obter lucros de mais de 45 mil reais, 33,35% entre 10 mil a 15 mil reais e 50% obtém menos de 10 mil reais por safra.

Quando os agricultores foram questionados em relação ao interesse na aquisição de rizomas com novos atributos, 83,5% asseguraram que estariam interessados em adquirir uma nova variedade, especificamente, com algum nível de resistência a pragas e doenças e alta produtividade. Atualmente, os agricultores usam sementes dos seus próprios campos de cultivo ou dos seus vizinhos, e este sistema de cultivo favorece a disseminação de doenças. Desta forma, a adoção de variedades produtivas e resistentes irá contribuir significativamente para o aumento do rendimento líquido dos agricultores. Em estudo realizado por Almeida et al. (2008), no estado de Paraná, com objetivos de identificação de perfil de agricultores de gengibre,

foi detectado redução de 58,7% da área plantada, produto da falta de tecnologia para a produção de gengibre.

A faixa etária dos agricultores está entre 40 e 75 anos de idade, sendo destes 16,5% mulheres e 83,5% homens. Em relação ao tempo dedicado a produção de gengibre como proprietário, gerente ou tomador de decisão primária, 66,7% cultiva há mais de 30 anos e 33,3% há mais de 10 anos. Com relação à origem étnica dos agricultores, observamos que 50% são descendentes de japoneses e 50% originários do sudeste do Brasil. Destes agricultores, apenas 16% possui nível superior de educação, e 82% concluiu somente o ensino fundamental.

Resultados semelhantes foram obtidos por Deivid et al. (2004) com agricultores de gengibre do litoral norte do estado de São Paulo, mostrando que 80% foram de origem Japonesa ou descendentes e apresentavam na sua maioria níveis baixos de educação. Da mesma forma, estes autores observaram que a cadeia de produção de gengibre é um setor dinâmico, constituindo uma atividade com alta capacidade de agregação de valor ao produto, mediante a exportação e processamento.

2.4.2. Identificação das prioridades de melhoramento

As probabilidades de selecionar diferentes características para levar em frente em um programa de melhoramento genético de gengibre estão apresentadas na Tabela 2. Para a identificação das variáveis mais influentes foram feitas análises com modelo double-bounded Tobit por grupos de características. As variáveis dependentes na Tabela 2 são probabilidades relatadas para selecionar diferentes características dentro de cada grupo, constituído por características que são levadas em conta pelos agricultores para aceitação de uma nova variedade.

Para poder explicar melhor os resultados fizemos uma divisão em cinco grupos, sendo: 1) fatores importantes que influenciam na hora da adoção de variedades de gengibre com destino a comercialização; 2) prioridades no destino de comercialização; 3) atributos mais importantes nos rizomas para venda *in natura* ou processado; 4) características da performance no cultivo de gengibre; e 5) fatores impactantes na adoção de uma nova variedade.

Tabela 2. Análise de comparação de variáveis usando teste t para probabilidades de seleção de características por grupos.

(Continua)

Variável	Desvio padrão	Erro t	Valor	Probabilidade (P)
Fatores importantes que influenciam na hora da adoção de variedades de gengibre com destino a comercialização				
Tempo de armazenamento	2,2107	1,3307	1,661	0,096652
Demanda do produto	1,4909	1,2935	1,153	0,249060
Outros mercados potenciais	0,6742	1,3083	0,515	0,606318
Nichos de mercado	1,3051	1,2915	1,011	0,312235
Demanda estável	2,6267	1,3806	1,902	0,057107
Requerimento de embalagem	1,1203	1,2896	0,869	0,384982
Desempenho histórico	2,8645	1,3915	2,059	0,039541*
Prioridades no destino da comercialização de gengibre				
Intermediários	-14,5902	251,2756	-0,058	0,953697
Consumidor	-6,1675	1,5712	-3,925	8,66e-05 ***
Feiras	-5,1663	1,4070	-3,672	0,000241 ***
Supermercado	-4,4761	1,3381	-3,345	0,000823 ***
Rede de lojas	-4,4761	1,3381	-3,345	0,000823 ***
Produtos naturais	-5,1663	1,4070	-3,672	0,000241 ***
Canal de exportação	-3,9233	1,2994	-3,019	0,002533 **
Escolas, Hospitais	-3,4499	1,2745	-2,707	0,006793 **
Processadores	-3,4499	1,2745	-2,707	0,006793 **
Outro toma a decisão	-4,4761	1,3381	-3,345	0,000823 ***
Atributos importantes dos rizomas na venda de produto <i>in natura</i> e industrializado				
Cor externa	2,2107	1,3307	1,661	0,096652
Tamanho	1,0422	1,2722	0,819	0,412676
Aparência externa livre de defeitos	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Aparência interna livre de defeitos	2,2107	1,3307	1,661	0,096652
Firmeza	1,8024	1,3215	1,364	0,172589
Suculência	2,6267	1,3806	1,902	0,057107
Sabor	1,8024	1,3215	1,364	0,172589
Aroma	2,0052	1,3259	1,512	0,130439
Conteúdo de fito- nutrientes (óleos essenciais)	2,6267	1,3806	1,902	0,057107
Livre de doenças	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Prazo de validade no varejo	2,0052	1,3259	1,512	0,130439
Características da performance no cultivo de gengibre				

(Continua)

Variável	Desvio padrão	Erro t	Valor	Probabilidade (P)
Comportamento precoce	0,8696	1,3110	0,663	0,507129
Temporada de colheita estendida	0,4803	1,3060	0,368	0,713052
De fácil colheita	2,3949	1,3709	1,747	0,080650
Alto rendimento	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Rendimento consistente através dos anos	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Maturidade uniforme para colheita	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Resistência a doenças	4,1104	1,5668	2,623	0,008705 **
Resistência a pragas	4,1104	1,5668	2,623	0,008705 **
Resistência a <i>Fusarium</i>	4,1104	1,5668	2,623	0,008705 **
Prioridades na aceitação de uma nova variedade				
Diminuição nos tratamentos culturais	2,6267	1,3806	1,902	0,057107 .
Retorno no investimento	2,8645	1,3915	2,059	0,039541 *
Acesso ao capital financeiro	3,7747	1,5276	2,471	0,013473 *
Limitações de equipamento/incompatibilidade	3,4621	1,4956	2,315	0,020624 *
Disponibilidade de mão de obra	0,8696	1,3110	0,663	0,507129
Aptidão para o clima/tipo de solo	0,9478	1,3327	0,711	0,476950
Reduzir as necessidades de pulverização	2,1684	1,3622	1,592	0,111410
Melhoria na qualidade de rizoma	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Desempenho horticultural na própria fazenda	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Desempenho potencial para o mercado	2,8645	1,3915	2,059	0,039541 *
Reputação da instituição/melhorista	2,1684	1,3622	1,592	0,111410
Preferência para processamento	3,7747	1,5276	2,471	0,013473 *
Preferência do consumidor	3,1092	1,4038	2,215	0,026768 *
Preferência do varejista	2,8645	1,3915	2,059	0,039541 *
Preferência do comerciante	2,8645	1,3915	2,059	0,039541 *

(Conclusão)

Variável	Desvio padrão	Erro t	Valor	Probabilidade (P)
Preferência do embalado	2,8645	1,3915	2,059	0,039541 *
Preferência da financiadora	1,6019	1,3174	1,216	0,223991

Níveis de significância: * ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$), *** ($P < 0,001$); . ($P < 0,1$);

Este tipo de análise é importante para comprovar que o melhoramento participativo intervém na alta adoção das variedades melhoradas, resultando em ganho de produtividade, o que será refletido na segurança alimentar dos agricultores, e no aumento de renda das famílias inseridas no programa (NKALUBO et al., 2013). O impacto do setor formal de sementes nos pequenos agricultores em países em desenvolvimento tem sido abaixo das expectativas (TRIPP, 2001; EVENSON; GOLLIN, 2003). Desta forma, programas de melhoramento participativo surgiram como ferramenta de pesquisa e ação, para melhorar a compreensão das questões relacionadas com o interesse coletivo e com a participação das partes interessadas nos programas de melhoramento (CHIFFOLEAU; DESCLAUX, 2006).

Muitos autores reconhecem que os agricultores não estão satisfeitos com os resultados obtidos pelos geneticistas mediante melhoramento clássico, já que eles não fornecem respostas apropriadas para a enorme diversidade das condições ambientais e as necessidades dos agricultores (MACHADO, 2014; CECCARELLI, 2015; BAAFFI et al., 2015; LOKO et al., 2015). Além disso, alguns dos métodos de melhoramento utilizados convencionalmente poderia levar a uma redução da diversidade genética (CECCARELLI, 1996).

2.4.2.1. Fatores importantes que influenciam na hora da adoção de variedades de gengibre com destino a comercialização

Em relação aos fatores importantes para adoção de uma nova variedade de gengibre, referente a requerimentos exigidos para a comercialização, foi selecionada somente a característica desempenho histórico ($P < 0,05$), ou seja, esta variedade deve apresentar antecedentes de elevada produtividade. Desta forma, os agricultores teriam segurança para adoção da nova variedade, para diminuição dos riscos na produção, comercialização e na aceitação pelo mercado consumidor. Outra característica, também considerada importante com uma menor probabilidade ($P < 0,1$), é a demanda estável da nova variedade, ou seja, é importante que esta

variedade tenha estabilidade em relação a aceitação do mercado consumidor ao longo dos anos.

A análise de fatores socioeconômicos neste trabalho é importante pois ajudam na definição das prioridades de melhoramento, contribuindo para uma melhor compreensão dos efeitos da demanda e oferta e os diferentes fatores dentro da cadeia de produção dos cultivos (GALLARDO et al., 2012). Resultados similares foram obtidos por NKALUBO et al. (2013), mostrando que na seleção participativa de variedades de feijoeiro, as análises socioeconômicas levaram a uma contribuição significativa no desenvolvimento de cultivares superiores dentro de um tempo relativamente curto.

2.4.2.2. Prioridades no destino da comercialização de gengibre

Com relação às prioridades no destino de comercialização, observamos que os agricultores selecionaram vários destinos de comercialização como os mais prováveis. Dentre os destinos estão: mercado de férias, supermercados, venda em lojas de produtos naturais, venda direta ao consumidor, e a opção de deixar a outra pessoa tomar a decisão, pois muitas vezes seus campos são gerenciados por terceiros ($P < 0,001$). Também foram escolhidas como destino de comercialização, venda em canais exportadores, escolas e hospitais, e a processadores ($P < 0,01$). De todas as variáveis disponíveis para destino de comercialização somente a venda a intermediários não foi significativa ($P > 0,9$), assegurando, desta forma, que a maior rentabilidade da produção seja direta para o produtor. Estes resultados mostram que o sistema de comercialização no gengibre é direto do produtor ao mercado de destino, evitando atravessadores que conseqüentemente acarretaria a perdas na rentabilidade deste cultivo.

Pode-se observar que a comercialização no Brasil do gengibre é feita em três formas básicas: *in natura*, cristalizado e desidratado. Do rizoma colhido imaturo, terno e menos pungente são produzidos cristais de gengibre, enquanto que de rizomas colhidos depois de completar a maturação é produzido gengibre desidratado (TAVEIRA MAGALHÃES, 1997). Em um estudo feito no estado do Paraná com o intuito de analisar o agronegócio de gengibre, foi determinado que aproximadamente de 70 % a 90 % da produção de Morretes-PR destina-se a exportação do produto *in natura*. Do restante desta produção, parte é utilizada localmente, em forma de rizomas-semente ou encaminhada para processamento industrial e para

comercialização via CEASA-PR (NEGRELLE et al., 2005). Estas evidências corroboram as preferências dos agricultores nos diferentes destinos de comercialização detectadas neste estudo.

2.4.2.3. Atributos importantes dos rizomas na venda de produto *in natura* e industrializado

Dentre as características mais importantes na adoção de variedades novas de gengibre para venda *in natura* e industrializado pelos agricultores é que essa variedade tenha uma aparência externa livre de defeitos e seja livre de doenças ($P<0,05$), garantindo que a venda da produção tenha qualidade sanitária. Outra característica importante selecionada pelos agricultores é que essa nova variedade também seja livre de defeitos na parte interna do rizoma ($P<0,1$), sendo que um exemplo de defeitos internos seria a sintomatologia provocada pela ação de *Fusarium* e nematoides.

Em um trabalho similar, feito com rosáceas, identificou-se que dentre os atributos mais importantes detectados para venda *in natura*, é quando se melhoram as características do produto em venda como textura, o que reduz os riscos do mercado, segundo os agricultores; e um pequeno grupo de produtores de framboesas e morango *in natura* escolheram como característica de prioridade resistência a doenças (GALLARDO et al., 2012). Tais resultados são semelhantes aos encontrados neste trabalho, o que justifica a procura de variedades resistentes a problemas fitossanitários.

Desta forma, a seleção de uma variedade resistente a *Fusarium* de gengibre fará com que a venda dos rizomas tenha melhor aceitação no mercado, devido a obtenção de melhor aparência do produto, isso porque rizomas infestados com fungos e bactérias prejudicam no tempo de prateleira, uma vez que os rizomas se murcham gradativamente chegando a ficar totalmente necrosados.

2.4.2.4. Características do desempenho no cultivo de gengibre

Quando os agricultores foram perguntados sobre quais seriam as características mais importantes referentes ao comportamento de uma variedade nova no manejo do cultivo, foram selecionadas a resistência a pragas e doenças, especificamente a *Fusarium* ($P<0,01$) e que apresente altos rendimentos e

estabilidade ao longo dos anos ($P<0,05$). Neste contexto, Lokko et al. (2015), ao avaliar variedades de inhame mediante seleção participativa encontrou que um dos requerimentos importantes é a procura por variedades resistentes a pragas e doenças, alertando para a urgência na obtenção de variedades que apresentem estas características devido ao impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura tradicional. Entretanto, Balcha e Tigabu (2015) em um processo de seleção participativa de genótipos de feijão, observaram que os agricultores preferiam variedades com floração e maturação precoce, e plantas resistentes a estresse hídrico. Já no trabalho de identificação de prioridades de melhoramento de um conjunto de rosáceas, no desempenho dos cultivos foi selecionado alto rendimento, época de colheita prolongada e consistência na produção (GALLARDO et al., 2012).

Da mesma forma, muitas destas características foram selecionadas pelos agricultores no presente estudo, o qual reflete a necessidade de desenvolver variedades para fácil adoção pelos agricultores de gengibre que lhes garantam altos rendimentos, e que esse rendimento se mantenha em todas as safras e com níveis de resistência a *Fusarium*, para assim ter produto de qualidade e consequentemente maior rentabilidade econômica.

As necessidades dos agricultores de gengibre da cadeia produtiva Ubatuba – Maranduba, identificadas neste estudo, foram semelhantes às encontradas no estudo de diagnóstico da produção de gengibre no litoral norte de São Paulo, onde percebeu-se que os agricultores correlacionam a baixa produtividade à falta de assistência técnica, manejo inadequado do ambiente, e à seleção de sementes contaminadas, como as principais características para insucesso da cadeia produtiva do gengibre (DEVIDE et al., 2004).

2.4.2.5. Prioridades na aceitação de uma nova variedade

No processo da tomada de decisão para adoção de uma nova variedade, os agricultores de gengibre possuem certas prioridades, exigências ou preferências. As mais influentes na nossa análise são que a nova variedade garanta o retorno do investimento no cultivo, possibilidade de acesso a capital financeiro, que não tenha incompatibilidade com os equipamentos para seu manejo, que ofereça melhoria na qualidade do rizoma, bom desempenho horticultural, características compatíveis para ser usada em processamento industrial, preferência pelo consumidor, varejista, comerciante e preferência para embalagem ($P<0,05$). Outra característica

identificada, embora menos provável ($P < 0,1$), é que essa nova variedade diminua os tratamentos culturais.

Da mesma forma, Okoro et al. (2015), quando tentaram identificar as prioridades de melhoramento da mandioca em Edo, na Nigéria, para três regiões diferentes, conseguiram demonstrar que cada região tem suas prioridades. Por exemplo, na região norte e sul a maior preferência era por variedades resistentes a doenças; já a região central tinha preferência por variedades com maior conteúdo de amido, mas existia uma característica em comum nas três regiões, a procura por variedades com alto rendimento. Esse resultado mostra que cada região tem requerimentos específicos, em razão das diferentes necessidades e condições de cultivo. O que é mais uma prova da importância de descentralizar os programas de melhoramento genético de plantas.

No momento não existem trabalhos que relatem programas de melhoramento de gengibre estabelecendo prioridades ou com alguma abordagem por meio da análise sócioeconômica dos agricultores fornecendo uma visão analítica. Segundo Gallardo et al. (2012), os agricultores estabelecem prioridades de melhoramento com base na sua experiência, conhecimentos e interação com suas partes interessadas. Já Frey (1996) em estudo realizado sobre programas de melhoramento genético nos Estados Unidos, encontrou que de um total de 2241 pesquisadores dedicados ao melhoramento de plantas, 66% trabalham em programas de melhoramento para empresas privadas, 24% para estações experimentais estaduais e agrícolas e 10% para o Departamento de Agricultura dos EUA. Neste contexto, podemos observar a escassez de programas de melhoramento junto aos agricultores de forma participativa.

2.4.3. Seleção participativa de genótipos de gengibre

Baseado nas nossas análises podemos observar que os agricultores conseguiram identificar variedades resistentes e suscetíveis. Dessa forma, foram selecionados oito genótipos altamente resistentes (G7, G20, G31, G47, G49, G58, G59, G66), 12 resistentes (G61, G53, G51, G46, G45, G42, G33, G30, G29, G16, G56 e G22), 14 medianamente suscetíveis (G64, G63, G40, G41, G23, G14, G21, G5, G57, G62, G55, G27, G60, G50), 10 suscetíveis (G52, G43, G39, G36, G35, G32, G28, G8, G65, G48) e por fim, quatro genótipos altamente suscetíveis (G34, G37, G38, G44).

Com relação à preferência do tamanho do rizoma podemos observar que no Banco de Germoplasma há 39 genótipos dos 48 existentes com tamanhos compatíveis com os padrões de exportação. Já na característica de constrição do rizoma detectou-se que 21 genótipos possuem pouca constrição, característica favorável para a produção e venda de gengibre. Em relação à distribuição dos rizomas secundários, 33 genótipos apresentam uma boa distribuição, característica importante para a produção e sobretudo para processos pós colheita, especificamente na embalagem para exportação. Pode-se observar que a maioria dos genótipos presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ tem boas características qualitativas de interesse agrônomo do cultivo de gengibre.

Baseado nas características morfológicas consideradas foi encontrada grande diversidade entre os genótipos avaliados. A análise de agrupamento usando distância Euclidiana para as características avaliadas classificou os genótipos em 5 grupos (Figura 1).

Esses dois componentes principais explicam o 85,45%

Figura 1. Análise de componentes principais utilizando distância Euclidiana para as quatro características avaliadas, como resistência a *Fusarium*, preferência ao tamanho do rizoma, constrição do rizoma e distribuição dos rizomas secundários de gengibre (*Zingiber officinale*)

No grupo 1 (G44, G39, G38, G37 e G36), foram agrupados os genótipos classificados com alta suscetibilidade ou suscetíveis a *Fusarium*, muita constrição de rizomas, mal distribuição dos rizomas secundários e rizomas pequenos, caracterizando este grupo como aqueles possuidores de características indesejáveis para serem incluídos nos programas de melhoramento.

Por outro lado, no grupo 4 (G61, G53, G51, G49, G47, G33, G31, G29, G20, G66, G7, G58, G16, G22) podemos encontrar genótipos classificados como

resistentes e altamente resistentes a *Fusarium* e, além disso, com boas características na morfologia do rizoma. Portanto, estes genótipos seriam os mais promissores para continuar com o programa de melhoramento. Já nos grupos 2, 3 e 5 da análise de agrupamento observamos que existe um conjunto de genótipos com algumas características desejáveis e indesejáveis para melhoramento, sendo classificados como intermediários, o que constituiria um conjunto de genótipos para continuar pesquisa para transferência de características potenciais.

Semelhante aos nossos resultados, em trabalho desenvolvido por Loko et al. (2015), com seleção participativa de genótipos de inhame (*Dioscorea cayenensis*), foi possível selecionar genótipos que apresentaram ao mesmo tempo tolerância a estresse hídrico, resistência a nematoides e insetos e boas características agrônômicas. Existe a demanda dos agricultores por suporte de geneticistas que reconheçam que os métodos de melhoramento clássicos não são sempre os que dão respostas eficientes a essa variedade de ambiente e infinidade de necessidades dos agricultores de uma determinada região (THUILLET et al., 2002). Desenvolver trabalhos de obtenção de genótipos resistentes a doenças, mediante seleção participativa, é uma técnica eficiente para aumentar as chances de adoção das novas variedades pelos agricultores. Neste contexto, Nkalubo et al. (2013) verificaram que o uso de seleção participativa de variedades acelera a transferência de novas linhagens de feijoeiro aos campos dos agricultores, sendo um processo mais prático e econômico para o controle de antracnose e popularização da nova variedade entre os pequenos agricultores. Os autores acreditam que apesar da complexidade das preferências individuais na seleção participativa e nas condições de produção, foi possível avaliar e selecionar entre 54 linhagens, 14 com características adequadas.

Com base em nossos resultados, podemos inferir que o melhoramento participativo de plantas é uma estratégia viável para obtenção de variedades melhoradas que atendam efetivamente as necessidades dos agricultores, sendo uma alternativa eficiente em relação às abordagens convencionais de melhoramento, contribuindo para ampliação dos benefícios da ciência e para uma agricultura mais sustentável.

2.5. Considerações finais

O presente estudo conseguiu identificar quais são as prioridades dos agricultores para adoção de uma nova variedade de gengibre. Vimos que uma das principais características é obtenção de variedades resistentes a pragas e doenças, em especial ao *Fusarium* e que esta tenha altos rendimentos, além de ter um desempenho histórico, plasticidade na adaptação aos requerimentos dos diferentes destinos de mercado como feiras, supermercados, canais de exportação, entre outros. Já na seleção participativa conseguimos identificar que dentre os acessos presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ existem genótipos com altos níveis diferentes níveis de resistência e com boas características para sua exploração no cultivo, como os genótipos G20, G29, G66, G7. Além disso, também foi detectado que existem genótipos com boa resistência a *Fusarium*, mas com características pouco desejáveis para a exploração agrícola e vários genótipos com alta suscetibilidade a *Fusarium*.

Este tipo de estudos ajuda a um melhor entendimento das prioridades que influenciam na produção de gengibre e no processo de tomada de decisões na seleção de características desejáveis para adotar uma nova variedade nos seus campos. Este estudo destaca-se como um desafio no entendimento dos requerimentos da cadeia produtiva de gengibre de Maranduba – Ubatuba, por considerar os agricultores em programas de melhoramento.

Referências

- ALMEIDA, N. G.; ELPO, E. R.; GIROTTO, A. Aspectos econômicos da cultura do gengibre. Curitiba, 2008. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/gengibre_2007_08.pdf. Acesso em 18 de jan. 2016.
- BAAFI, E.; MANU-ADUENING, J.; CAREY, E. E.; OFORI, K.; BLAY, E. T.; GRACEN V. E. Constraints and breeding priorities for increased sweetpotato utilization in Ghana. **Sustainable Agriculture Research**, v. 4, n. 4, p. 1-16, 2015.
- BAAYEN, R. P.; DE MAAT, A. L. Passive transport of microconidia of *Fusarium oxysporum* f. sp. dianthi in carnation after root inoculation. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 93, p. 3-13, 1986.
- BLANCO, M. C. G. Gengibre (*Zingiber officinale*). In: COORDENADORIA DE ASSITÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. Manual técnico das culturas. v.2: Olerícolas, Medicinais e Ornamentais. 2ed. Campinas, v. 2, p. 179-182. 1997.
- CECCARELLI, S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. **Euphytica**, v.77, p. 205–219, 1994.
- CECARELLI, S. Plant breeding with farmers: a technical manual. ICARDA, Aleppo, Syria, 2012, 139p.
- CECARELLI, S. Efficiency of plant breeding. **Crop Science**, v. 55, p.87-97, 2015.
- CHIFFOLEAU, Y.; DESCLAUX, D. Participatory plant breeding: the best way to breed for sustainable agriculture?, **International Journal of Agricultural Sustainability**, v.4, n.2, p. 119-130, 2006.
- CRESPO-HERRERA, L. A.; ORTIZ, R. Plant breeding for organic agriculture: something new? **Agriculture & Food Security**, v.4, n.25, p.1-7, 2015.
- DEVIDE, A.C.P.; MARCHIORI, A.; DE CASTRO, C.M.; DE LIMA, N.A.; CASTILHO, A.M.C.; RIBEIRO, R.D.L.D. Diagnóstico da produção de gengibre (*Zingiber officinale*) do litoral norte de São Paulo: tecnologia, sócioeconomia, cultura e ambiente. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v. 24, n. 1, p. 51-55, 2004.
- EVENSON, R. E.; GOLLIN, D. Crop variety improvement and its effect on productivity: the impact of international agricultural research. CAB International, Wallingford, UK, 2003.

- GHINI, R.; BETTIOL, W. Controle físico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. & AMORIM, A., eds. Manual de fitopatologia. 3.ed. São Paulo, **Agronômica Ceres**, 1995. p.786-803.
- JONES, K.; GLENNA, L.L.; WELTZIEN, E. Assessing participatory processes and outcomes in agricultural research for development from participants' perspectives. **Journal of Rural Studies**, v.35, p.91–100, 2014.
- LOKO, Y. L.; ADJATIN, A.; DANSI, A.; VODUCHÈ, R.; SANNI, A. Participatory evaluation of Guinea yam (*Dioscorea cayenensis* Lam.–*D. rotundata* Poir. complex) landraces from Benin and agro-morphological characterization of cultivars tolerant to drought, high soil moisture and chips storage insects. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 62, p. 1181–1192, 2015.
- LORENZETTI, E.R. Cultivo de gengibre. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://br.geocities.com/horticultura1/Cultivogengibre>>. Acesso em: 03 de junho do 2008.
- MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.9, n. 1, p. 35-50, 2014.
- MARCHIORI, A. C. C. Sustentabilidade de sistema de produção de gengibre (*Zingiber officinale* R.) consorciado com leguminosas no Bioma Mata Atlântica em Ubatuba. 2008. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- NEGRELLE, R. R. B.; ELPO, E. R. S.; RÜCKER, N. G. A. Análise prospectiva do agronegócio gengibre no estado do Paraná. **Economia e Extensão Rural**, v.23, n.4, p.1022-1028, 2005.
- NKALUBO, S. T.; NAMAYANJA, A. M.; UGEN, A. M.; PAPARU, P.; OTIM, M.; ASETTE, P. Breeding for bean anthracnose resistance: Matching breeding interventions with people's livelihoods through participatory variety selection. **Uganda Journal of Agricultural Sciences**, v.14, n.1, p. 45 – 55, 2013.
- OKORO, P.; KULAKOW. P.; RABBI, I.; PETER, I.; IKPAN, S. A.; EGESI, C.; ESSIE, B.; I.K, A.; GRACEN, V.; OTENE, J. J. I.; Identification of farmer preferences: a tool for enhancing cassava production in Edo State of Nigeria, **Production Agriculture and Technology**, v.11, n.1, p.83-95, 2015.

- PLACIDE, R.; SHIMELIS, H.; LAING, M. Farmers' perceptions, production and productivity constraints, preferences, and breeding priorities of sweetpotato in Rwanda, **HortScience**, v. 50, n.1, p. 36-43, 2015.
- RANA, K. S.; SHARMA, B. K. Role of seed and soil borne inoculum in the spread of ginger yellows and efficacy of fungicides against seed borne infection. **Himachal Journal of Agricultural Research**, Palampur, v. 25, n. 1/2, p. 27-30, 1999.
- RIOS, L. H. Fitomejoramiento participativo como estrategia complementaria en Cuba. Segunda Fase. Proyecto de innovación desarrollo, Cuba, 2005-2007. 56pp.
- TAVEIRA MAGALHÃES, M. Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) brasileiro: aspectos gerais, óleo essencial e oleoresina. Parte 1 – aspectos gerais, óleo essencial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.17, n.1, p.64-69, 1997.
- TORRES, A. J. et al. (Org.). Projeto LUPA 2007/08: censo agropecuário do Estado de São Paulo. São Paulo: IEA/CATI/SAA, 2009.
- THUILLET, A. C.; BRU, D.; DAVID, J. Direct estimation of mutation rate for 10 microsatellite loci in durum wheat, *Triticum turgidum* (L) Thell. Spp durum desf. **Molecular Biology and Evolution**, v. 19, p. 122-125, 2002.
- TRIPP, R. Seed provision and agricultural development: The institution of rural change. London: Overseas Development institute/Oxford: James Curry/Porsmouth, N.H.: Heinemann, 2001.
- WELTZIEN, E.; CHRISTINCK, A. 2009. Methodologies for priority setting. In: Ceccarelli, S.; Guimaraes, E.P.; Weltzien, E., editors, Plant breeding and farmer participation. FAO, Rome. p. 75–105.
- WISSAR, R. Parámetros de estabilidad fenotípica en curso de manejo de germoplasma de papa. Centro Internacional de la Papa, Lima-Perú. 1994, 25p.
- WOLFE, M.S.; BARESEL, J.P.; DESCLAUX, D.; GOLDRINGER, I.; HOAD, S.; KOVACS, G.; LÖSCHENBERGER, F.; MIEDANER, T.; ØSTERGÅRD, H.; LAMMERTS VAN BUEREN E.T. Developments in breeding cereals for organic agriculture. **Euphytica**, v. 163, p. 323–346, 2008.

3. IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE GENGIBRE COM RESISTENCIA A *FUSARIUM* EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO

Resumo

A murcha de *Fusarium* é uma das principais doenças do gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) no Brasil, sendo que a perda na produção nesta cultura pode chegar até 100%. Apesar da importância desta doença não existe ainda produto químico específico para o seu controle no gengibre, causando desistências de agricultores desta atividade por inexistência de um controle fitossanitário efetivo. Neste contexto, o uso de variedades resistentes pode ser uma importante ferramenta para o controle integrado desta doença, sendo uma alternativa economicamente viável. Desta forma, objetivou-se com este trabalho caracterizar os níveis de resistência ao *Fusarium oxysporum* de genótipos de gengibre presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ-USP. Para isto, foram conduzidos experimentos em casa de vegetação, com a inoculação direta do patógeno em mudas sadias de 39 genótipos de gengibre provenientes de cultivo *in vitro*, e em campo, com infestação natural de *Fusarium*. Para o experimento de campo foram avaliadas as características morfológicas quantitativas e qualitativas, além do nível de resistência por meio de escala de nota variando de 0 a 4, de acordo com o grau de sintomatologia da doença presente nos rizomas dos 49 genótipos avaliados. No experimento de casa de vegetação os genótipos estavam livres de infestação de *Fusarium*. Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados com três repetições. Como resultados, observou-se que dos 49 genótipos analisados do Banco de Germoplasma o genótipo G47 apresentou o maior nível de resistência, e os genótipos G11, G23, G30, G43 e G64 foram identificados como resistentes. Desses genótipos selecionados como resistentes, só os genótipos G23 e G64 se apresentaram como promissores por apresentar estabilidade em resistência, produção, formação de perfilhos, e caracteres qualitativos de interesse agrônômico.

Palavras chaves: *Zingiber officinale*; *Fusarium oxysporum*; resistência

Abstract

Fusarium wilt is a major disease of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) in Brazil, while the loss in production of this crop can reach 100%. Despite the importance of this disease there is still no specific chemical for its control in ginger, causing dropouts of farmers in this activity due to the lack of an effective phytosanitary control. In this context, the use of resistant varieties could be an important tool for the integrated control of this disease, being an economically viable alternative. Thus, the aim of this study was to characterize the levels of resistance to *Fusarium oxysporum* on ginger genotypes present in the Germplasm Bank of ESALQ-USP. For this, experiments were conducted in the greenhouse, with direct inoculation of the pathogen in healthy seedlings of 39 ginger genotypes originated from *in vitro* culture, and in the field, with natural infestation of *Fusarium*. For the field experiment the quantitative and qualitative morphological

characteristics were evaluated, in addition to the resistance level by score scale ranging from 0 to 4, according to the degree of the disease symptoms present in the rhizomes of the 49 genotypes. In the greenhouse experiment genotypes were free of *Fusarium* infestation. All experiments were conducted in a randomized block design with three replications. Results showed that from the 49 genotypes analyzed in the Germplasm Bank, genotype G47 showed the highest resistance level, and the genotypes G11, G23, G30, G43 and G64 were identified as resistant. From these genotypes selected as resistant, only G23 and G64 were shown to be promising for presenting stability in resistance, production, tillers production, and qualitative traits of agronomic interest.

Keywords: *Zingiber officinale*, *Fusarium oxysporum*, resistência

3.1. Introdução

O gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) é uma especiaria antiga, destacando-se pelo seu sabor, e propriedades medicinais. É considerada a terceira espécie condimentar mais importante originária do sul da Ásia, e cultivada principalmente em países tropicais e subtropicais, como a Índia, China, Taiwan, Filipinas, Jamaica, México, Brasil, e Nigéria em escala comercial. Sua difusão global ao longo dos séculos pode ter ocorrido devido às suas propriedades medicinais ou pela sua participação como ingrediente de inúmeros alimentos (RAVINDRAN; BABU, 2005).

Esta cultura é altamente cultivada no sul do Brasil, utilizando variedades que divergem muito entre si, em aspectos como teor de óleos essenciais, aroma e rendimento. Dentre as variedades mais cultivadas encontramos a Havaina, Jamaicana, Takahashi, Gigante chinesa e Japonesa. Após a introdução de variedades de rizomas gigantes pelos agricultores japoneses, tornou-se uma cultura comercial em alguns estados das regiões Sudeste e Sul do Brasil, principalmente em São Paulo e Paraná. O cultivo de gengibre na localidade de Morretes-PR apresenta expressivo uso de práticas inadequadas que poderiam afetar tanto a qualidade, quanto a sanidade microbiológica do produto a ser consumido, restringindo oportunidades de comercialização e exportação (ELPO et al., 2008).

Na década dos 90, a maior parte da produção do gengibre se destinava a exportação, mas, nos dias de hoje existe muita desistência de agricultores e abandono do cultivo, substituindo-a por outras hortaliças. O motivo principal é o aparecimento de ataque de *Fusarium oxysporum* ocasionando a doença conhecida como o amarelo do gengibre (GHINI; BETTIOL, 1995; ALMEIDA; ELPO; GIROTTO,

2008). A sintomatologia desta doença é caracterizada pelo aparecimento de manchas amarelas nas folhas inferiores seguido de um murchamento lento da planta, apresentando-se raquíticas. No rizoma, a sintomatologia manifesta-se com o aparecimento de manchas escuras, produto da necrose do sistema vascular e da podridão seca cortical, gerando depressões no rizoma (TRUJILLO, 1993). No Brasil, a murcha de *Fusarium* foi constatada pela primeira vez em 1987, por meio da observação de manchas foliares muito destrutivas em plantas de gengibre no estado do Paraná, sendo que a partir desta época esta doença começou a ter mais destaque (CERESINI; NAZARENO, 1997).

No estado do Espírito Santo, por meio de marcadores ITS, constatou-se a incidência de infestação em campos de produção de gengibre de *Fusarium oxysporum* (74%), *Fusarium gramineum* (31%), *Fusarium solani* (21%) e *Fusarium semitectum* (6%) (MOREIRA et al., 2013). Da mesma forma, Shanmugam et al. (2013) fez um estudo para entender a variabilidade genética de isolado de *Fusarium* da região do Himalaia Ocidental da Índia, para depois explorar a possibilidade de desenvolver cultivares de gengibre resistentes a este patógeno altamente prejudicial.

O controle da murcha de *Fusarium* é extremamente difícil, principalmente porque uma vez constatada a presença do patógeno nas áreas de cultivo, este poderá permanecer viável durante vários anos, devido à formação de estruturas de resistência chamadas de clamidósporo (COSTA et al., 2007). Desta forma, para o manejo dessa doença, faz-se necessário a adoção de um conjunto de medidas, dentre elas a drenagem de solo e a rotação de culturas (MARCHIORO, 1999), utilização de material propagativo (rizomas) com boa procedência fitossanitária (sadios), eliminação das plantas contaminadas com *Fusarium* nos campos de produção de gengibre e enterrando-as em um local distante (LISSA, 1996). Na tentativa de buscar novas formas de controle do *Fusarium* em gengibre, Dominguez (2006) demonstrou que ao colocar os rizomas infectados em água com temperaturas de 45°C por 120 min ou 55°C por 20 min, há redução do número de plantas doentes e que a utilização de casca de camarão colocadas no solo causa uma diminuição da população de *Fusarium*. Segundo Sharma (2016), a menor incidência de *Fusarium* e alta estabilidade de resistência sob diversas condições climáticas, são essenciais para o estabelecimento de um cultivo com uma produção sustentável.

Neste contexto, uma alternativa viável economicamente para diminuir os efeitos negativos causados pela murcha de *Fusarium* na produção de gengibre,

poderia ser por meio do plantio de variedades resistentes a esse patógeno, o que até o momento não existe disponível no Brasil. Desta forma, objetiva-se com essa pesquisa explorar a diversidade genética de genótipos de gengibre presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ-USP coletados em diferentes estados produtores do Brasil, caracterizando-os quanto aos níveis de resistência ao *Fusarium oxysporum* spp. Para isto, foram realizados experimentos em campo com infestação natural do fungo e em casa de vegetação por meio da inoculação direta do patógeno em plantas sadias de gengibre.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Local dos estudos

Os experimentos para a avaliação de resistência foram conduzidos em campo na região de Maranduba, município de Ubatuba, SP, e em casa de vegetação no Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), em Piracicaba, SP. A limpeza do material vegetal, para garantir que o mesmo estivesse livre do patógeno, foi realizada através de cultura de tecidos, utilizando-se as instalações do Laboratório de Diversidade Genética e Melhoramento Genético do Departamento de Genética da ESALQ.

3.2.2. Material genético

O material genético utilizado nesta pesquisa, para a caracterização dos genótipos com resistência a *Fusarium*, foram derivadas de um conjunto de 49 acessos pertencentes ao Banco de Germoplasma de Gengibre da ESALQ-USP (Tabela 3), representando a diversidade genética de gengibre existente no Brasil, pois foi montado a partir de várias coletas em diferentes estados produtores.

Tabela 3. Locais de procedência dos acessos de gengibre (*Zingiber officinale*) do Banco de Germoplasma da ESALQ-USP, incluindo municípios produtores, estados, coordenadas geográficas e temperatura média anual e número de acesso avaliado por cada município

Município	Estado ¹	N	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)	T (°C)
Atibaia	SP	1	23°08' 25.40"S; 46°29' O	800	20
Nazaré Paulista	SP	1	23°12' 35.75"S; 46°16' O	750	20.3
Piedade	SP	5	23°42' 39.09"S; 47°24' O	800	19.6
Tapiraí	SP	10	23°57' 35.10"S; 47°30' O	880	18.9
Caraguatatuba	SP	3	23°37' 20.30"S; 45°24' O	5	24.9
Ubatuba	SP	5	23°26' 09.24"S; 45°05' O	2	22.6
Santa Leopoldina	ES	6	20°05' 58.39"S; 40°31' O	542	22.3
Santa Maria de Jetibá	ES	8	20°01' 25.63"S; 40°44' O	720	16.0
Antonina	PR	1	25°25' 49.17"S; 48°42' O	5	20.0
Morretes	PR	4	25°29' 09.30"S; 48°49' O	10	25.0
Nova Veneza	SC	1	28° 38' 12"S, 49° 29' O	70	19.1
Candelária Colômbia	CO	1	3°24'35"N 76°20'52"O	973	35.5
Pelotas	RS	1	31°46'19"S 52°20'33"O	17	17.5
Cali Colômbia	CO	1	3°26'24"N 76°31'11"O	1018	23.1
Aurora	SC	1	27°18'54"S 49°38'15"O	350	20.6
Total	-	49			

3.2.3. Experimento de campo

Na primeira etapa deste estudo foram instalados dois experimentos em Ubatuba, em área próximo à Praia de Maranduba, no campo de uma pequena agricultora, durante dois anos, sendo um na safra de 2013/2014 e outro em 2014/2015. Os experimentos foram realizados em blocos casualizados, com 3 repetições, sendo que a parcela experimental foi de 1m linear, com densidade de plantio de 10 rizomas/m de cada genótipo. Os tratos culturais consistiram de adubação orgânica com mamona e esterco de curral, capina manual e amontoa.

Para a seleção de plantas resistentes a doenças, o correto seria medir a quantidade do patógeno presente no hospedeiro, mas geralmente não é possível medir a quantidade de agente patogênico, porque o agente patogênico é ou não visível ou apenas parcialmente. No entanto, podem-se avaliar os efeitos diretos ou indiretos do patógeno no mesmo hospedeiro quando o agente patogênico não é visível (PARLEVLIET, 1993).

Durante os dois anos agrícolas foram feitas seleções fenotípicas dos acessos mais resistentes e suscetíveis a *Fusarium* por meio de escala de notas, variando de 0 – 4, atribuídas de acordo com a sintomatologia apresentada na parte interna do rizoma, e de acordo com os seguintes critérios: 0 – quando o rizoma não apresenta sintomas da doença; 1 - aparecem os primeiros sintomas (uma ligeira coloração marrom clara da superfície interna do rizoma); 2 - apresenta a sintomatologia bem mais desenvolvida apresentando uma coloração marrom clara acentuada, mas ainda com maior proporção de partes sadias; 3 - apresenta a coloração marrom escura grave em todo o rizoma; 4 - apresenta necrose completa do rizoma (morte) com aspecto murcho (adaptada de BAAYEN; De MATT, 1986). São consideradas resistentes (R) quando não apresentam nenhum ou pouco dano no rizoma e suscetíveis (S) as plantas que apresentam murchamento do rizoma com muitos danos ou com regiões altamente necrosadas.

Além das avaliações referentes à resistência, foram realizadas avaliações fenotípicas para seleção de genótipos com fenótipos promissores com boa performance agrônômica, aceitáveis para produção de gengibre. A caracterização morfológica foi feita baseada nos descritores sugeridos por Ahmad (2008), citado por Wicaksana et al. (2011). Foram avaliados os caracteres morfológicos quantitativos (altura da planta, número de perfilho por planta, número de folhas por perfilho, comprimento das folhas, largura das folhas, largura do pseudocaule, tamanho da lígula e peso do rizoma) e caracteres qualitativos (hábito de crescimento, forma da lígula, padrão da união da bainha, cor da folha, forma da folha, orientação da folha, cor de pele do rizoma, cor da corteza e constrição do rizoma).

3.2.4. Experimento em casa de vegetação

3.2.4.1. Cultivo *in vitro*

Os genótipos presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ apresentavam alta infestação de *Fusarium*, portanto, para obtenção de material propagativo livre deste patógeno para condução em casa de vegetação, foi necessária a utilização da técnica de micropropagação *in vitro*. Para isto, foi utilizado o protocolo de propagação *in vitro* descrito por Debiasi et al. (2008). Inicialmente procedeu-se com a assepsia do material, onde 10 gemas rizomatosas de gengibre foram coletadas para cada

genótipo, reduzindo-as a um tamanho inicial aproximado de 0,5 – 1 cm³ e imersas em água esterilizada. Em seguida, em condições de câmara de fluxo laminar, as gemas foram imersas em solução de hipoclorito de sódio a 3% durante 20 minutos, e posteriormente por dois minutos em álcool a 70%, e em seguida lavadas três vezes em água destilada estéril.

Após o processo de assepsia, as gemas foram inoculadas em meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962), suplementado com sacarose (30g L⁻¹) e Fitagel (1,8 g L⁻¹) com pH 5,8, e as culturas foram mantidas a 27±2°C e 16 horas de fotoperíodo, por um período de 30 dias. Durante este tempo observou-se diariamente a presença de contaminação no material micropropagado e quando detectada a presença de fungos e bactérias o material era descartado. Caso necessário, uma nova tentativa de micropropagação era realizada, a fim de obter-se pelo menos três plantas limpas de cada genótipo. Para obter a quantidade suficiente de plantas para a instalação do experimento foram realizadas duas gerações de repicagem em cada genótipo de gengibre isolado.

Após o crescimento *in vitro*, as plantas passaram por um processo de aclimação em ambiente com temperatura, luminosidade e umidade controlada, antes de serem levadas para a casa de vegetação. O processo de aclimação foi mediante o transplante dos genótipos do meio de cultivo para vasos de 0,3 L contendo substrato esterilizado (Vermiculita e Basaplant), em seguida cobertos com saquinhos de plástico umedecidos diariamente para manter a umidade dentro do ambiente da planta por um período de uma semana. Após a retirada dos sacos plásticos, diariamente as plantas foram aspergidas com água para manutenção da umidade. Dos 49 genótipos iniciais, somente 40 foram completamente limpos do *Fusarium* e utilizados no experimento de inoculação direta em casa de vegetação.

O processo de aclimação encerrou-se após as plantas atingirem 20 cm de altura (aproximadamente 30 dias). Posteriormente, foram transferidas para vasos de 10 L contendo o mesmo substrato estéril e em seguida levadas para a casa de vegetação e distribuídas em blocos casualizados com 3 repetições e 40 genótipos.

3.2.4.2. Isolamento do *Fusarium Oxysporum* e inoculação das plantas

Para o isolamento do fungo, rizomas de gengibre, presentes no Banco de Germoplasma da ESALQ, com sintoma de *Fusarium*, foram levados ao laboratório e com auxílio de um bisturi estéril foram retirados fragmentos das regiões contaminadas

(0,5 x 0,5 x 0,5 cm) e em seguida, passaram por um processo de assepsia, imersos em álcool 70% por 5 minutos, água destilada estéril por 2 minutos, por solução de hipoclorito de sódio a 2% e por fim, lavadas em água destilada estéril. Posteriormente, os fragmentos foram colocados no centro de placas de Petri (10 repetições), contendo meio de cultura BDA Difco® (Becton- Dickinson Company, Franklin Lakes, New Jersey, EUA) acrescidos de 5 g L⁻¹ de pentabiótico (Fort Dodge Saúde Animal Ltda.) e incubados em câmara de crescimento a 25±1°C e fotofase de 12 h. Após 5 dias, as colônias de *Fusarium* foram purificadas e multiplicadas em meio BDA.

As placas contendo as colônias puras, após um período de incubação de 15 dias em BOD, foram levadas à clínica fitopatológica do Departamento de Fitopatologia da ESALQ, para realizar a identificação morfológica do patógeno por meio de microscopia óptica. Mediante esta análise se conseguiu distinguir um mix de isolados de *Fusarium* sp., presentes nas placas. Depois dessa identificação se fez novas purificações das placas, para obtenção unicamente de isolados de *Fusarium oxysporum*.

Para a avaliação da resistência dos genótipos de gengibre à murcha de *Fusarium*, as plantas livres de doenças, obtidas mediante cultivo *in vitro*, foram inoculadas diretamente com solução de uma mistura de *Fusarium oxysporum* isolados dos genótipos do Banco de Germoplasma. Para a inoculação, usou-se uma suspensão de conídios preparada a partir de colônias fúngicas após 10 dias de cultivo. Cada vaso contendo o genótipo em estudo foi inoculado com 20 mL da suspensão de *Fusarium* a uma concentração de 10⁶ conídios. mL⁻¹, mediante deposição da suspensão em “meia lua” no solo (SILVA et al., 2011).

3.2.4.3. Avaliação de resistência a *Fusarium* em casa de vegetação

Para a avaliação da resistência e susceptibilidade dos genótipos de gengibre ao *Fusarium*, utilizaram-se avaliações fenotípicas com base na sintomatologia foliar observada a partir do 5º dia após a inoculação do patógeno por um período de três meses. Para isto, foram atribuídas notas de 0-4, onde 0 é quando não apresenta sintomatologia, 1 é quando aparecem os primeiros sintomas (umas murchas de folha na base do caule, ou descoloração marrom da superfície da base do caule), 2 apresenta a sintomatologia bem desenvolvida, com murcha unilateral das plantas, mas de uma ou outra forma ainda sadia, 3 apresenta a murcha grave da planta, e 4 apresenta a murcha completa (morte) (BAAYEN; DE MATT, 1986).

3.2.5. Análise estatística

Foram feitas análises multivariadas utilizando os caracteres morfológicos, tanto quantitativos como qualitativos. Para a interação genótipo ambiente se fez uma análise de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI), na qual fizemos uma análise de variância para calcular os efeitos aditivos do genótipo e ambiente, aplicando em seguida uma análise de componentes principais (PCA) GGE BILOT. Esta análise agrupa o efeito aditivo de genótipo com o efeito multiplicativo da interação GE, e submete estes à análise de componentes principais (YAN et al., 2000), no qual o valor de cada elemento de uma tabela de dupla entrada pode ser visualizado pelo produto de vetores e pelo cosseno do ângulo entre dois vetores (YAN; KANG, 2003). Na metodologia GGE, o cosseno do ângulo entre dois ambientes corresponde à correlação genética entre eles (YAN et al., 2007). Já as notas de resistência foram submetidas à análise descritiva para classificação da resistência baseado na média das três repetições. O processamento dos dados foi feito no software R (DE MENDIBURU, 2009).

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Identificação dos níveis de resistência a *Fusarium*

Das avaliações feitas para identificação dos níveis de resistência existentes no Banco de Germoplasma da ESALQ, mediante a seleção pela sintomatologia (Tabela 4), foi possível identificar na safra de 2013 – 2014, um genótipo como altamente resistente (G47), 15 resistentes (G5, G11, G27, G29, G32, G33, G34, G46, G48, G51, G57, G58, G62, G64, G66), 33 medianamente suscetíveis, não sendo classificado nenhum genótipo como suscetível e altamente suscetível. Considerando a safra 2014-2015, não foi encontrado nenhum genótipo altamente resistente, mas, conseguiu-se detectar 12 genótipos resistentes (G7, G11, G16, G23, G30, G33, G43, G47, G48, G49, G52, G59), 29 medianamente suscetíveis, oito genótipos suscetíveis, e nenhum altamente suscetível. Já nas avaliações feitas no ano de 2015, em casa de vegetação, conseguiu-se identificar um genótipo altamente resistente (G40), seis resistentes (G20, G23, G52, G64, G65, G66), 21 medianamente suscetíveis, oito

suscetíveis (G32, G34, G36, G37, G41, G57, G58, G62), e dois genótipos altamente suscetíveis (G29, G55).

Tabela 4. Genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), localidade de origem e os níveis de resistência avaliados em campo (safra 2013-2014 e 2014-2015) e casa de vegetação 2015

(Continua)

Experimento em campo				Casa de vegetação
Genótipo	Localidade de origem	Médias da resistência 2013	Médias da resistência 2014	Médias de resistência 2015
G5	Cali (Colômbia)	1,33 R	2,33 MS	2,33 MS
G7	Candelária -Colômbia	1,67 MS	1,33 R	1,67 MS
G8	NA	2,33 MS	2,67 S	2 MS
G11	Ubatuba	1,33 R	1,33 R	2 MS
G14	Espirito Santo (ES)	1,67 MS	2,33 MS	2 MS
G16	NA	2 MS	1,3 R	2 MS
G20	Nova Veneza (SC)	2 MS	2 MS	1,33 R
G21	Pelotas (RS)	1,67 MS	1,67 MS	2,33 MS
G22	Aurora (SC)	2 MS	2,67 S	-
G23	Caraguatatuba (SP)	1,67 MS	0,67 R	1,33 R
G27	Caraguatatuba (SP)	1,33 R	2 MS	-
G28	Caraguatatuba (SP)	1,67 MS	1,67 MS	-
G29	Tapirai (SP)	1,33 R	2 MS	4 AS
G30	Tapirai (SP)	1,67 MS	1,33 R	2,33 MS
G31	Tapirai (SP)	2,33 MS	2 MS	-
G32	Tapirai (SP)	1,33 R	1,67 MS	2,67 S
G33	Tapirai (SP)	1 R	1,33 R	-
G34	Tapirai (SP)	0,67 R	2 MS	2,67 S
G35	Tapirai (SP)	1,67 MS	2,67 S	-
G36	Tapirai (SP)	2 MS	2 MS	3,33 S
G37	Tapirai (SP)	1,67 MS	1,67 MS	2,67 S
G38	Tapirai (SP)	2 MS	2,33 MS	2 MS
G39	Nazaré paulista (SP)	2,33 MS	2,33 MS	2 MS
G40	Atibaia (SP)	1,67 MS	2 MS	0,33 AR
G41	Piedade (SP)	2,33 MS	1,67 MS	2,67 S
G42	Piedade (SP)	2 MS	2 MS	2 MS
G43	Piedade (SP)	1,67 MS	1,33 R	2 MS
G44	Piedade (SP)	1,67 MS	3 S	-
G45	Piedade (SP)	1,67 MS	1,67 MS	2 MS
G46	Antonina (PR)	0,67 R	1,67 MS	-

				(Conclusão)
Experimento em campo				Casa de vegetação
Genótipo	Localidade de origem	Médias da resistência 2013	Médias da resistência 2014	Médias de resistência 2015
G47	Morretes (PR)	0,33 AR	0,67 R	2 MS
G48	Morretes (PR)	1 R	1 R	-
G49	Morretes (PR)	2 MS	1,33 R	-
G50	Morretes (PR)	1,67 MS	2,67 S	2 MS
G51	Sta. Maria de Jetibá (ES)	1,3 R	2,33 MS	-
G52	Sta. Maria de Jetibá (ES)	1,67 MS	1,33 R	1,33 R
G53	Sta. Maria de Jetibá (ES)	1,67 MS	1,67 S	2 MS
G55	Sta. Maria de Jetibá (ES)	1,33 MS	1,67 MS	4 AS
G56	Sta. Maria de Jetibá (ES)	1,67 MS	2,33 MS	1,67 MS
G57	Sta. Leopoldina (ES)	1,33 R	2,33 MS	2,67 S
G58	Sta. Leopoldina (ES)	1 R	1,67 MS	2,67 S
G59	Sta. Leopoldina (ES)	2,33 MS	1 R	2 MS
G60	Sta. Leopoldina (ES)	1,67 MS	2,33 MS	1,67 MS
G61	Sta. Leopoldina (ES)	1,67 MS	1,67 MS	2 MS
G62	Sta. Leopoldina (ES)	1,33 R	2 MS	2,67 S
G63	Ubatuba (SP)	2 MS	2,67 S	2 MS
G64	Ubatuba (SP)	1 R	1,67 MS	1,33 R
G65	Ubatuba (SP)	2 MS	3 S	1,33 R
G66	Ubatuba (SP)	1,33 R	2 MS	1,33 R

As médias dos níveis de resistência em todos os experimentos refletem uma alta variação entre os genótipos. Podemos observar que um genótipo nem sempre se comporta de igual forma quanto a capacidade de resistência a *Fusarium* em todos os ambientes testados, provavelmente, reflexo das diferentes condições ambientais nos quais foram submetidos. No caso dos experimentos em campo, nem sempre a disponibilidade de inóculo do patógeno no solo é a mesma em todos os anos, além disso, outros fatores climáticos poderiam ter influenciado no comportamento dos genótipos, como por exemplo, a seca que foi registrada na safra do 2013-2014 na área experimental.

Em relação ao experimento feito em casa de vegetação, poderíamos falar que os resultados obtidos nesse ambiente seriam mais confiáveis para análise do comportamento genotípico de cada acesso quanto a resistência ao *Fusarium*, pois,

todos os genótipos estavam livres de fungos, bacterias e vírus, obtido por cultivo *in vitro*, e além disso, cada genótipo foi submetido a mesma concentração de inóculo e mantidos em condições controladas de temperatura e umidade. Resultados similares foram obtidos por Babu (2011), observando que existia diferença na reação de sintomatologia em alguns acessos do campo e de casa de vegetação, sugerindo que essa variação poderia ser atribuída a quantidade de isolados do fungo presente no campo, e pela concentração do inóculo, que é mais variável em campo do que em casa de vegetação.

Os resultados obtidos da variação da reação à resistência a *Fusarium* nos indicaria que provavelmente exista uma interação genótipo ambiente para a característica de resistência. No entanto, em programas de melhoramento procura-se encontrar variedades estáveis, ou seja, que não tenha alta interação de genótipo com o ambiente.

A obtenção de genótipos resistentes é uma das estratégias mais viáveis para o manejo de doenças, podendo ser realizada por diferentes abordagens, como por exemplo, mediante a seleção no campo, considerada como uma ferramenta poderosa para identificar fontes de resistência, por submeter o material selecionado as condições naturais. No entanto, a seleção em campo tem uma desvantagem da influência da variabilidade da população do patógeno e também do ambiente, assim as respostas podem diferir de um lugar a outro (FLOR, 1971).

No Brasil, não existem programas de melhoramento de gengibre, e muito menos direcionado a solucionar o maior problema desta cultura, a suscetibilidade ao *Fusarium*, sendo este estudo a primeira tentativa de seleção de genótipos de gengibre resistentes a *Fusarium* no país. Já em outros países, podemos observar que existem esforços para melhoraria deste cultivo, através de diferentes estratégias. Com relação à seleção de genótipos resistentes a *Fusarium*, podemos destacar o trabalho desenvolvido por Priya (2008), que desenvolveu um programa de seleção assistida por marcadores moleculares, mediante inoculação de plantas resistentes a *Fusarium oxysporum* f.sp. *zingiberi*, para seleção de genótipos resistentes. A seleção feita em casa de vegetação foi complementada com análise de PCR de todas as plantas em estudo com o marcador molecular de um Pseudo gene R e R-genes de resistência de gengibre da classe CC–NBS–LRR. Com este estudo conseguiu-se identificar que plantas detectadas como resistentes mediante inoculação direta, apresentavam este gene R. Já em uma pesquisa de seleção de genótipos de gengibre de um Banco de

Germoplasma para resistência a *Fusarium* na Índia, Thakur et al. (2014) conseguiram identificar diferentes níveis de resistência existente na coleção, sendo que a caracterização da resistência foi por meio de análise visual e notas à sintomatologia mediante inoculação direta *in vitro*. Como resultado eles conseguiram selecionar um genótipo resistente a *Fusarium*, dois moderadamente resistentes e sete suscetíveis.

3.3.2. Análise da estabilidade da resistência a *Fusarium* em diferentes ambientes

A variação existente nos níveis de resistência mostra a necessidade de realizar uma análise da interação genótipo meio ambiente, para entender o comportamento da estabilidade da resistência nos três ambientes avaliados. Portanto, foi feita uma análise de GGE Biplot, a qual mostra que os componentes principais explicaram 78,43% da variação (Figura 2). Este valor indica que a precisão do nosso Biplot com os componentes principais (CP) CP1 e CP2 é alta, pois quanto menor é a variação explicada pelos CP1 e CP2 as previsões com Biplot são menos precisas (YAN; KANG, 2003). Os genótipos que estão mais longe do centro do gráfico formam os vértices do polígono. Isso significa que eles são os que mais contribuíram na interação, ou seja, aqueles que possuem maior ou menor resistência a *Fusarium*.

Podemos observar (Figura 2) nove genótipos mais contrastantes referentes aos níveis de resistência (G47, G23, G40, G8, G65, G63, G36, G22, G55), dentre os quais encontram-se os mais resistentes e os altamente suscetíveis. Pela análise da figura 2, observa-se que o genótipo G47 apresenta o maior nível de resistência com uma moderada interação negativa com os ambientes em estudo. Já o grupo formado pelos genótipos G11, G64, G23, G43 e G30 apresentaram uma resistência moderada e também interação negativa para os ambientes. Por outro lado, pode-se observar que os genótipos altamente suscetíveis e suscetíveis tiveram maior correlação positiva para cada ambiente, ou seja, houve reação de suscetibilidade de forma específica em cada ambiente, como pode ser observado, por exemplo, que no ambiente 2 se agrupam o G63, G50 como genótipos suscetíveis e no grupo do ambiente 1 os genótipos G8 e G65.

Essa interação genotípica negativa com os ambientes encontrada nos genótipos altamente resistente e resistentes é muito interessante para o melhoramento do gengibre, pois indica que o comportamento desses genótipos referente à resistência é independente do ambiente no qual foi submetido. Por outro

lado, a suscetibilidade dos genótipos a ambientes específicos, poderia ser utilizada como referência no momento de recomendar variedades, não sendo considerados estes genótipos para cultivo em ambientes nos quais apresentaram altos níveis de suscetibilidade.

Figura 2. Gráfico do GGE Biplot com os dois componentes principais (PC1 e PC2), para resistência a *Fusarium* em três experimentos, duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba, com 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), e um experimento em casa de vegetação em 2015 com 39 genótipos

Uma forma de comprovar o descrito anteriormente é fazendo análises de estabilidade genotípica. Observando a Figura 2 podemos notar que o G47, identificado como altamente resistente, não é muito estável, pois ele apresentou comportamento altamente resistente e resistente em dois ambientes e uma moderada suscetibilidade

em outro ambiente, levando a uma instabilidade no de comportamento, não sendo indicado para utilização no programa de melhoramento. Já os genótipos identificados como resistentes (G11, G64, G23, G43 e G30) apresentaram estabilidade, garantindo que esses genótipos se comportarão de forma resistente independente do ambiente no qual será submetido, característica importante para programas de melhoramento.

Com relação aos genótipos identificados como altamente estáveis (Figura 3), podemos observar que dentro deste grupo estão aqueles que se comportam como medianamente suscetíveis, ou seja, apresentam sempre o mesmo comportamento em todos os ambientes (G21, G63). Por outro lado, os genótipos altamente suscetíveis e suscetíveis apresentaram baixa estabilidade, exceto o genótipo G14 e G41 que mostraram-se estáveis.

Figura 3. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para a resistência a *Fusarium*, em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba e um experimento em casa de vegetação em 2015 com 39 genótipos

Trabalhos que identificam genótipos que possuem elevada estabilidade para resistência a doença é uma componente chave para seleção de fontes úteis para programas de melhoramento genético (SHARMA; DUVEILLER, 2007). O modelo estatístico GGE Biplot neste tipo de estudos ajuda os melhoristas a priorizarem melhores genótipos em programas de melhoramento genético. O modelo estatístico GGE Biplot apresenta o efeito do genótipo como um efeito multiplicativo da GE. Como, em geral, o PC1 está correlacionado com o efeito do genótipo, é possível alta precisão na visualização gráfica do escore PC1 quanto ao efeito genotípico (SILVA; BENIN, 2012).

A avaliação visual combinada com o nível de resistência e da sua estabilidade é uma grande vantagem, aumentando a confiabilidade na decisão de escolha de genótipos superiores (SHARMA et al., 2012). Para Silva e Benin (2001), o modelo GGE explora com maior eficácia a interação genótipo ambiente, o que leva a uma maior acurácia a identificação de mega-ambientes e a seleção de genótipos estáveis e adaptados a ambientes específicos e mega-ambientes.

A maior vantagem da metodologia do GGE Biplot é quando um grande número de genótipos é testado em diversas condições ambientais e quando o padrão de interação genótipo ambiente é de maior complexidade. Dessa forma, teremos maior chance de poder recomendar uma variedade com bons níveis de resistência e que, além disso, possua capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas, realidade comum no nosso país.

No presente estudo observamos que a maioria dos genótipos teve comportamentos diferentes, e que nem sempre o nível de resistência encontrado em casa de vegetação foi encontrado no campo, nas safras 2013-2014 e 2014-2015, ou vice-versa. Esse mesmo resultado foi encontrado por vários autores para outras espécies, por exemplo, Silva et al. (2014) na avaliação de agressividade de isolados de *Sclerotinia* em feijão (*Phaseolus vulgaris*), detectando que a agressividade de um isolado de fungos pode variar dependendo da época o ano, principalmente influenciada pelas variações de temperatura e umidade em cada safra.

Já Sharma et al. (2016), estudando a estabilidade da resistência do feijão Guandu (*Cajanus cajan*) ao *Fusarium*, encontraram diferenças significativas entre o genótipo (G), ambiente (E) e genótipo x ambiente (G x E), assegurando que a interação significativa do genótipo com o meio ambiente, foi responsável pela instabilidade na incidência da murcha, atribuindo esta variação a seleção feita em

ambientes com latitudes e altitudes contrastantes. Além disso, revelaram que a contribuição da variância genotípica para resistência a doença foi maior do que a interação do G* E, indicando que a maior parte da variação para reação a doença foi genética.

Assim como os trabalhos mencionados, há várias pesquisas sendo direcionadas nesse sentido visando detectar estabilidade da resistência a doenças, onde utilizam a metodologia do GGE Biplot para uma melhor discriminação e identificação dos genótipos promissores, tais como Egesi et al (2009), trabalhando com *Dioscorea alata* para resistência a Antracnose e vírus, Rubiales et al. (2012), na identificação de resistência de *Vicia faba* a *Ascochyta fabae* e Egesi et al (2007), que identificaram genótipos de mandioca resistentes ao mosaico.

3.3.3. Relação existente dos genótipos resistentes a *Fusarium* às principais características morfológicas

Com o objetivo de identificar as características importantes na estrutura da planta de uma potencial variedade de gengibre com altos níveis de resistência, foi feita uma caracterização morfológica quantitativa e qualitativa. Levando em consideração as características qualitativas verifica-se que os genótipos se agruparam em quatro grupos diferentes (Figura 4). Dos seis genótipos resistentes e que apresentaram estabilidade ambiental, quatro foram alocados no grupo 4 (G30, G43, G47, G64). Este grupo caracteriza-se por possuir hábito de crescimento intermediário (nem ereto nem caído), forma de lígula obtusa, padrão da união da bainha compacta, cor de folha verde pálido, forma da folha elíptica, orientação da folha alterna, pele do rizoma brilhante, pouca constrição do rizoma, diferindo somente na coloração interna do rizoma. Os genótipos G30 e G43 apresentaram coloração amarelo claro e os genótipos G47 e G64 amarelo escuro. O genótipo G11 foi classificado no grupo 1, o qual se diferencia do grupo 4 por ter a lígula bilobada, união da bainha livre, a coloração interna do rizoma amarelo claro, pouca constrição e coloração da pele do rizoma opaca. O genótipo G3 ficou agrupado no grupo 3, apresentando disposição das folhas de forma alternada, coloração interna do rizoma amarelo escuro, pouca constrição e cor da pele do rizoma opaca.

Figura 4. Análise de agrupamento dos genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*) segundo as características morfológicas qualitativas

Segundo a caracterização morfológica qualitativa podemos chegar na conclusão de que as variedades selecionadas como resistentes também possuem características de interesse agrônomo, como pouca constrição do rizoma. O grupo 4, que reuniu a maioria dos genótipos resistentes e estáveis, possui a coloração da pele do rizoma brilhante, característica importante na comercialização deste rizoma, diferindo dos outros genótipos selecionados que apresentam a pele do rizoma com aspecto opaco. Outra observação em comum nestes genótipos do grupo 4 é que todos têm as folhas dispostas de forma alternada e não oposta como dos outros genótipos.

Para a caracterização baseada nas variáveis quantitativas, inicialmente foi feita uma análise de correlação para entender quais dessas características teriam maior influência na obtenção de plantas com maior rendimento (Figura 5).

Figura 5. Representação gráfica da correlação existente entre as características quantitativas avaliadas e os genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), produto das avaliações das safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba

Desta forma, além de tentar obter plantas resistentes é importante que esse genótipo tenha altos rendimentos para ser cultivado pelos agricultores. Posteriormente, escolheu-se apenas duas variáveis quantitativas de interesse agrônomo, peso do rizoma e quantidade de perfilhos para caracterização dos

Observamos que dos genótipos selecionados como os mais resistentes (G47, G11, G64, G23, G43 e G30), o G47 apresenta baixo rendimento, mantendo esse

comportamento nas duas safras. Por outro lado, os genótipos G11 e G43 apresentaram rendimentos relativamente altos somente na safra do 2014-2015, sendo que a redução da produtividade na safra 2013-2014 pode ter ocorrido devido à seca rigorosa registrada nesse ano. Já os genótipos G63, G23 e G30 apresentaram rendimentos médios em todas as safras.

Os rendimentos desses genótipos para serem considerados no melhoramento genético deveriam apresentar algum nível de estabilidade, principalmente aquele genótipo com rendimentos altos e medianos. Podemos observar que na análise de estabilidade do peso do rizoma (Figura 7), o genótipo mais estável do banco de Germoplasma é G58, genótipo considerado como medianamente suscetível. Com relação aos genótipos resistentes, o G47, com maior nível de resistência, apresentou baixa estabilidade e baixo rendimento; o G23 possui alta estabilidade, mas baixos rendimentos; o G30 é muito instável e com rendimentos medianos; os genótipos G11, G43 e G64 possuem rendimentos altos, entretanto, apenas os genótipos G43 e G64 possuem alta estabilidade.

Figura 7. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para o peso de rizoma em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba

Resultados similares com outras culturas com análise de Biplot foram obtidos, por exemplo, para identificação de genótipos de arroz (*Oryza sativa*) com boa produtividade e alta resistência a mancha foliar bacteriana (TABIEN et al., 2008). Os autores identificaram que o genótipo AR32-19-3-4 foi a linha mais estável, o genótipo AR32-19-3-3 foi considerado ideal por ter altos rendimentos, moderada resistência e alta estabilidade e o genótipo AR32-19-3-2 foi considerado como um genótipo indesejável, por ter baixo rendimento e instabilidade. Da mesma forma, em estudos de melhoramento de batata, Gonzales et al. (2003) identificaram o clone 5-340-87 como o genótipo mais estável, conseguindo constatar que a análise Biplot é uma técnica de grande utilidade para este tipo de estudos.

Na cultura de milho (*Zea mays*), na tentativa de encontrar genótipos com altos rendimentos e resistentes a broca do caule, utilizando análise de GGE Biplot, mediante seleção em seis ambientes, conseguiram identificar que os cinco principais genótipos com altos rendimentos possuíam resistência a broca do caule, e que esses genótipos apresentavam alta estabilidade ambiental (BEYENE et al., 2011).

Em relação ao número de perfilhos (Figura 8) podemos observar que o G47 teve pouca formação de perfilhos e com alta estabilidade nos anos. Já o genótipo G11 teve alta formação de perfilho somente na primeira safra o que reflete a instabilidade neste caráter para este genótipo. Entretanto, os genótipos G64, G43, G30 tiveram uma produção moderadamente alta de perfilhos e alta estabilidade nas duas safras e o genótipo G23 apresentou pouca capacidade de formação de perfilhos e uma leve instabilidade.

Figura 8. Representação gráfica da interação genótipo ambiente referente a rendimento de formação de perfilhos em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), produto das avaliações das safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba

Pela análise de estabilidade dos genótipos nas duas safras (Figura 9), podemos observar que dentro dos nossos genótipos resistentes mais estáveis para formação de perfilho está o G43 com altos rendimentos de perfilhos e o G47 com baixo perfilhamento, característica indesejável para o melhoramento do gengibre.

A seleção de genótipos com boas características agrônômicas e com resistência a doenças vem sendo desenvolvida em outras culturas, por exemplo, na seleção de genótipos de bananeira para altos rendimentos e com resistência a Sigatoka (TUMUHIMBISE et al., 2016), os autores sugerem que é possível gerar

progressos na seleção de genótipos com altos rendimentos e com resistência a Sigatoka, mas a presença da interação genótipo ambiente para várias características avaliadas pode complicar a seleção dos genótipos com todos esses grupos de características.

Figura 9. Representação gráfica mostrando a relação da média e a estabilidade com os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para o peso de rizoma em 49 genótipos de gengibre (*Zingiber officinale*), em duas safras (2013-2014 e 2014-2015) em Maranduba-Ubatuba

3.4. Considerações finais

Dos resultados obtidos podemos ver que dos acessos de gengibre existentes no Banco de Germoplasma da ESALQ, existe uma diversidade grande referente aos

níveis de resistência, existindo genótipos com alta resistência, resistentes, medianamente suscetíveis, suscetíveis e altamente suscetíveis a *Fusarium*. Dentre os genótipos altamente resistentes e resistentes, conseguimos identificar quais são aqueles genótipos com alta estabilidade da sua resistência (G43, G64), ou seja, quais deles mantiveram sua resistência em ambientes com condições climáticas diversas. Esses genótipos apresentaram uma média de rendimento superior e alta produção de perfilhos, apresentando estes caracteres alta estabilidade.

Como produto destes resultados, estes genótipos sugeridos como resistentes e com boas características agronômicas poderão ser recomendados para o cultivo na cadeia de produtores de Ubatuba-Maranduba. Novos testes devem ser desenvolvidos com os genótipos do Banco de Germoplasma em mais regiões produtoras de gengibre.

Referências

- ALMEIDA, N. G.; ELPO, E. R.; GIROTTO, A. **Aspectos econômicos da cultura do gengibre**. Curitiba, 2008. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/arquivos/File/deral/Prognosticos/gengibre_2007_08.pdf. Acesso em 18 de jan. 2016.
- BAAYEN, R. P.; DE MAAT, A. L. Passive transport of microconidia of *Fusarium oxysporum* f. sp. dianthi in carnation after root inoculation. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 93, p. 3-13, 1987.
- BABU, T. K.; **Epidemiology, virulence diversity and host-plant resistance in blast [magnaporthe grisea (hebert) barr] of finger millet [eleusine coracana (l.) gaertn.]**. Report submitted to Department of Plant Pathology Acharya N. G. Ranga Agricultural University Rajendranagar, Hyderabad, India, 2012. 252p.
- BEYENE, Y.; MUGO, S.; MUTINDA, CH.; TEFERA, T.; KARAYA, H.; AJANGA, S.; SHUMA, J.; TENDE, R.; KEGA, V. Genotype by environment interactions and yield stability of stem borer resistant maize hybrids in Kenya. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n.23, p. 4752-4758, 2011.
- COSTA, H.; ZAMBOLIM, L. & VENTURA, J. A. **Doenças de hortaliças que se constituem em desafio para o controle**. In: Zambolim, L. et al. (Eds.). Manejo integrado de doenças e pragas: hortaliças. Viçosa: Editora UFV, 2007. p.319–336.

- DEBIASI, C.; FELTRIN, F.; MICHELUZZI, F. de C. Micropropagação de gengibre (*Zingiber officinale*). **Revista Brasileira Agrociência**, v. 10, n. 1, p. 61-65, 2004.
- DE MENDIBURU, F. **Una herramienta de análisis estadístico para la investigación agrícola**. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería/UNI, Lima, PERU, 2009.
- EGESI, C.N.; ONYEKA, T.J.; ASIEDU R. Environmental stability of resistance to anthracnose and virus diseases of water yam (*Dioscorea alata*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n.2, p. 113-118, 2009.
- EGESI, C. N.; OGBE, O.; AKORODA, M.; ILONA, P.; DIXON, A. Resistance profile of improved cassava germplasm to cassava mosaic disease in Nigeria. **Euphytica**, v.155, p.215–224, 2007.
- ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B.; RUCKER, N. G. A. Produção de gengibre no município de Morretes, PR. **Scientia Agraria**, v.9, n.2, p.211–217.
- FLOR, H. H. Current status of the gene-for-gene concept. **Annual Review Phytopathology**. v.9, p.275–296, 1971.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. Controle físico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, A., eds. **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.786-803.
- GONZÁLEZ, M. E.; ESTÉVEZ, A.; CASTILLO, J. G.; SALOMÓN, J. L.; VARELA, M.; ORTIZ, U.; ORTIZ, E. Análisis de la estabilidad genotípica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante las representaciones biplots. **Cultivos Tropicales**, v.24, n.1, p.81-84, 2003.
- KARAMURA, D.; KARAMURA, E. Selection of cooking banana genotypes for yield and black Sigatoka resistance in different locations in Uganda. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.8, n. 5, p.60-71, 2016.
- LISSA, S.L. **Cultura do gengibre**. Curitiba: EMATER-PR, 1996. 12 p.
- MARCHIORO, N.P.X. **A sustentabilidade dos sistemas agrários no litoral do PARANÁ: o caso de Morretes**. Curitiba, 1999. 285 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná.
- MOREIRA, S. I.; DUTRA, D. C.; RODRIGUES, A. C.; OLIVEIRA, J. R.; DHINGRA, O. D.; PEREIRA, O. L. Fungi and bacteria associated with post-harvest rot of ginger rhizomes in Espírito Santo, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 218-226, 2013.

- MURASHIGE, G.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissues culture. **Plant Physiology**, v.15, p.473-497, 1962.
- PRIYA, R. S.; SUBRAMANIAN, R.B. Isolation and molecular analysis of R-gene in resistant *Zingiber officinale* (ginger) varieties against *Fusarium oxysporum* f.sp. *zingiberi*. **Bioresource Technology**, v.99, p. 4540–4543, 2008
- RAVINDRAN, P.N.; BABU, K.N. Ginger de genus *Zingiber*. **Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profile**, Edited by CRC Press 1° edition, v. 41, 2005. 547p.
- RUBIALES, D.; AVILA, C.M.; SILLERO J.C.; HYBL, M.; NARITS, L.; SASS, O.; FLORES F. Identification and multi-environment validation of resistance to *Ascochyta fabae* in faba bean (*Vicia faba*). **Field Crops Research**, v.126, p.165–170, 2012.
- SHANMUGAM, V.; THAKUR, H.; KAUR, J.; GUPTA, S.; RAJKUMAR, S.; DOHROO, N.P. Genetic diversity of *Fusarium* spp. inciting rhizome rot of ginger and its management by PGPR consortium in the western Himalayas. **Biological Control**, v.66, p. 1–7, 2013.
- SHARMA, R.C.; DUVEILLER, E. Advancement toward new spot blotch resistant wheat in South Asia. **Crop Science**, v.47, p.961–968, 2007.
- SHARMA, M.; KIRAN B. T. P.; GAUR, M.; GHOSHA, R.; RAMESHWAR, T.; CHAUDHARY, R.G.; UPADHYAYC, J.P.; GUPTA, O.; SAXENA, D.R.; KAUR, L.; DUBEYG, S.C.; ANANDANI V.P.; HARER P.N.; RATHOREA, A.; PANDE S. Identification and multi-environment validation of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* in chickpea. **Field Crops Research**, v.135, p.82-88, 2012.
- SHARMA, M.; GHOSH, R.; TELANGRE, R.; RATHORE, A.; SAIFULLA, M.; MAHALINGA D. M.; SAXENA, D. R.; JAIN, Y K. Environmental Influences on Pigeonpea-*Fusarium* udum Interactions and Stability of Genotypes to *Fusarium* Wilt **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-10, 2016.
- SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.8, p.1404-1412, 2012.
- SILVA, A. S.; OLIVEIRA, E. J.; LARANJEIRA, F. F.; JESUS, O. N. **Seleção de metodologias para inoculação da fusariose do maracujazeiro causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Passiflorae***. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. ISSN 1809-5003, 2011.

- SILVA, P.H.; SANTOS, J.B.; LIMA, I.A.; LARA, L.A.C.; ALVES F.C. Reaction of common bean lines and aggressiveness of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates. **Genetics and Molecular Research**, v.13, n.4, p.9138-9151, 2014.
- TABIEN, R. E.; AMONTE, O. S. PB.; SAN GABRIEL, R. C. GGE Biplot analysis of performance in farmers' fields, disease reaction and grain quality of bacterial leaf blight-resistant rice genotypes. **Crop Science Society of the Philippines**, v.33, n.1, p. 03-19, 2008.
- THAKUR, M.; SHARMA, S.; DOHROO, N.P.; SONI, M. In vitro selection of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) elite lines resistant to *Fusarium oxysporum* f.sp. *zingiberi*. **Annals of Plant Protection Sciences**, v.22, n.1, p.136-141, 2014.
- TRUJILLO, E. E. *Fusarium* yellows and rhizome rot of common ginger. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 53, p.1370-1371, 1963.
- TUMUHIMBISE, R.; BUREGYEYA, H.; BAREKYE, A.; SSALI, R. T.; TALENGERA, D.; KUBIRIBA, J.; MUHANGI, S.; NAMAGEMBE, B.; NAMANYA, P.; ARINAITWE, G.; TUSHEMERIRWE, W. K. Selection of cooking banana genotypes for yield and black Sigatoka resistance in different locations in Uganda. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 8, n.5, p. 60-71, 2016.
- VALE, F. X. R. D.; PARLEVLIET, J. E.; ZAMBOLIM, L. Concepts in plant disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, n.3, p.1-20, 2001.
- WICAKSANA, N.; GILANIA, S.A.; AHMADA, D.; KIKUCHIA, A.; WATANABEA, K. N. Morphological and molecular characterization of underutilized medicinal wild ginger (*Zingiber barbatum* Wall.) from Myanmar. **Plant Genetic Resources**, v.9, n.4, p.531-542, 2011.
- YAN, W.; KANG, M.S. GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Flórida: Boca Raton, 2003. 286p.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir destes estudos podemos ter um panorama sobre a utilização do melhoramento participativo e melhoramento clássico para seleção de genótipos de gengibre com resistência ao *Fusarium*. Levando em consideração as avaliações sintomatológicas, vimos que entre os genótipos selecionados mediante melhoramento clássico e os selecionados com melhoramento participativo houve apenas uma coincidência na seleção (G47). Por outro lado, este genótipo apresentou uma alta instabilidade quanto à resistência, se comportando de forma diferente nos ambientes avaliados, não sendo adequado para recomendação como uma variedade resistente.

No melhoramento clássico foram selecionados genótipos altamente resistentes e resistentes, onde foi possível identificar quais os genótipos com alta estabilidade da sua resistência (G43, G64), ou seja, quais deles mantiveram sua resistência em ambientes com condições climáticas diversas. Esses genótipos apresentaram uma média de rendimento superior e alta produção de perfilhos, apresentando estes caracteres com alta estabilidade.

Neste contexto, novos estudos deverão ser desenvolvidos visando testar estes genótipos em outros ambientes, sendo também interessante a continuidade da seleção de genótipos de gengibre resistentes conjuntamente com os agricultores da cadeia produtora de Ubatuba, nos mesmos ambientes já avaliados. Dessa forma, será possível a obtenção de materiais com boas características agronômicas, elevada resistência a fusariose e, principalmente, com alta estabilidade. Por fim, podemos perceber a importância de pesquisas que busque a identificação de prioridades de melhoramento a partir das necessidades dos agricultores, desta forma, melhores escolhas serão feitas pelos melhoristas durante a condução de programas de melhoramento de gengibre, assim como de outras culturas.