

Análise de redundância para estudo da relação entre desenvolvimento vegetativo e qualidade do abacaxi

Redundancy analysis for the study of the relationship between pineapple vegetative development and quality

Análisis de redundancia para el estudio de la relación entre el desarrollo vegetativo y la calidad de la piña

Recebido: 06/02/2022 | Revisado: 15/02/2022 | Aceito: 22/02/2022 | Publicado: 03/03/2022

Pietra de Souza Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3473-2432>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: pietra_sr@hotmail.com

Dayane Littig Barker

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0399-160X>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: dayanelittig@hotmail.com

Jasmini Fonseca da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-9909>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: jsmifonseca@gmail.com

Basílio Cerri Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5778-6185>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: basiliocerri@yahoo.com

Thayanne Rangel Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4856-3887>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: thayanne_rangel@hotmail.com

Kayo Cesar Corrêa Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9697-3613>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: correakayocesar@outlook.com

Johnny da Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3364-1336>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: johnnyrodriguesnl@hotmail.com

Lúcio de Oliveira Arante

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7266-6563>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: lucio.arantes@incaper.es.gov.br

Edilson Romais Schmidt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3457-7997>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
E-mail: edilson.schmidt@ufes.br

José Aires Ventura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1422-1739>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: ventura@incaper.es.gov.br

Sara Dousseau Arantes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-4153>

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil
E-mail: sara.arantes@incaper.es.gov.br

Resumo

A qualidade dos frutos do abacaxizeiro tem sido atribuída ao desenvolvimento de uma folha madura, denominada de “folha D”, como se fosse um padrão para a espécie, independente da cultivar e do manejo das plantas. O manejo da floração do abacaxizeiro é uma prática agrônômica consolidada e possibilita o planejamento da colheita antecipada, porém, ainda são necessários estudos em campo. A análise de redundância pode ser uma ferramenta útil para identificar padrões de resposta do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo correlacionado ao manejo agrônômico, possibilitando a definição de estratégias eficientes. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar por meio da

análise de redundância quais características vegetativas explicam a qualidade dos frutos do abacaxizeiro 'Vitória', considerando o manejo da floração. O estudo foi realizado com dados obtidos de uma pesquisa aplicada, conduzida em campo, em quatro épocas de plantio (janeiro, abril, julho e outubro), utilizando dois tipos de mudas (filhote de 100 a 200g e rebentão de 201 a 300 g) e três idades de indução floral (8, 10 e 12 meses). Foram obtidas seis características de plantas (comprimento e largura da folha "D", número de folhas, área foliar e número de mudas dos tipos rebento e filhote) e 21 características de qualidade físico-químicas de frutos (comprimento, diâmetro e circunferência do fruto, diâmetro do cilindro central, espessura da polpa, rendimento de polpa, porcentagem de área translúcida, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, vitamina C, estágio de maturação, firmeza da casca, cor da polpa). A partir destes dados foram obtidas as relações entre características de plantas, consideradas características explicativas, e características de frutos, consideradas características respostas através da análise de redundância (RDA), utilizando o software R versão 3.5.1. Com a eliminação da característica explicativa área foliar, o modelo contendo as outras cinco características explicativas restantes, foi estatisticamente significativo, existindo relação válida entre as cinco características de planta e as 21 características de frutos nos 24 ambientes. Desta forma, a análise RDA empregou cinco características explicativas (comprimento e largura da folha "D", número de folhas e número de mudas dos tipos rebento e filhote) para o modelo. Conclui-se que a maioria das características de frutos, tiveram baixa variabilidade entre elas, e com as características ambientais. O número de folhas é a característica que mais se relaciona com peso do fruto do abacaxizeiro 'Vitória'.

Palavras-chave: Ananas comosus (L.) Merrill; Análise multivariada; Escalonamento de produção.

Abstract

The quality of pineapple fruits has been attributed to the development of a mature leaf, called "leaf D", as if it were a standard for the species, regardless of cultivar and plant management. The management of pineapple flowering is a consolidated agronomic practice and allows the planning of early harvest, however, field studies are still needed. Redundancy analysis can be a useful tool to identify response patterns of vegetative and reproductive development correlated with agronomic management, enabling the definition of efficient strategies. Therefore, the objective of this work was to evaluate, through redundancy analysis, which vegetative characteristics explain the quality of the 'Vitória' pineapple fruits, considering the flowering management. The study was carried out with data obtained from an applied research, conducted in the field, in four planting seasons (January, April, July and October), using two types of seedlings (100 to 200g seedling and 201 to 300g sprout) and three ages of floral induction (8, 10 and 12 months). Six plant characteristics were obtained (length and width of leaf "D", number of leaves, leaf area and number of seedlings of the shoot and young types) and 21 characteristics of physicochemical quality of fruits (length, diameter and circumference of the fruit), diameter of the central cylinder, pulp thickness, pulp yield, percentage of translucent area, soluble solids, titratable acidity, pH, vitamin C, maturation stage, skin firmness, pulp color). From these data, the relationships between plant characteristics, considered explanatory characteristics, and fruit characteristics, considered response characteristics, were obtained through redundancy analysis (RDA), using software R version 3.5.1. With the elimination of the explanatory characteristic leaf area, the model containing the other five explanatory characteristics remaining was statistically significant, with a valid relationship between the five plant characteristics and the 21 fruit characteristics in the 24 environments. In this way, the RDA analysis employed five explanatory characteristics (length and width of the "D" leaf, number of leaves and number of seedlings of the shoot and young types) for the model. It is concluded that most of the fruit characteristics had low variability among them, and with the environment characteristics. The number of leaves is the characteristic that is most related to the weight of the 'Vitória' pineapple fruit.

Keywords: Ananas comosus (L.) Merrill; Multivariate analysis; Production Scheduling.

Resumen

La calidad de los frutos de piña se ha atribuido al desarrollo de una hoja madura, denominada "hoja D", como si fuera un estándar para la especie, independientemente del cultivo y manejo de la planta. El manejo de la floración de la piña es una práctica agronómica consolidada y permite planificar cosechas tempranas, sin embargo, aún se necesitan estudios de campo. El análisis de redundancia puede ser una herramienta útil para identificar patrones de respuesta del desarrollo vegetativo y reproductivo correlacionados con el manejo agronómico, permitiendo la definición de estrategias eficientes. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar, a través del análisis de redundancia, qué características vegetativas explican la calidad de los frutos de piña 'Vitória', considerando el manejo de la floración. El estudio se realizó con datos obtenidos de una investigación aplicada, realizada en campo, en cuatro épocas de siembra (enero, abril, julio y octubre), utilizando dos tipos de plántulas (100 a 200g plántula y 201 a 300g brote) y tres edades de inducción floral (8, 10 y 12 meses). Se obtuvieron seis características de planta (largo y ancho de hoja "D", número de hojas, área foliar y número de plántulas de los tipos brote y joven) y 21 características de calidad fisicoquímica de frutos (largo, diámetro y circunferencia del fruto), diámetro del cilindro central, espesor de pulpa, rendimiento de pulpa, porcentaje de área translúcida, sólidos solubles, acidez titulable, pH, vitamina C, estado de maduración, firmeza de la piel, color de la pulpa). A partir de estos datos, las relaciones entre las características de la planta, consideradas características explicativas, y las características del fruto, consideradas características de respuesta, se obtuvieron mediante análisis de redundancia (RDA), utilizando el software R versión 3.5.1. Con la eliminación del

área foliar característica explicativa, el modelo que contenía las otras cinco características explicativas restantes fue estadísticamente significativo, con una relación válida entre las cinco características de la planta y las 21 características del fruto en los 24 ambientes. De esta forma, el análisis RDA empleó cinco características explicativas (largo y ancho de la hoja “D”, número de hojas y número de plántulas de los tipos brote y joven) para el modelo. Se concluye que la mayoría de las características del fruto presentaron poca variabilidad entre ellas y con las características del ambiente. El número de hojas es la característica que más se relaciona con el peso del fruto de la piña 'Vitória'.

Palabras clave: Ananas comosus (L.) Merrill; Análisis multivariante; Programación de la producción.

1. Introdução

O Ananas comosus (L.) Merril popularmente conhecido como abacaxizeiro, é uma espécie frutífera muito apreciada e comercializada mundialmente. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, produzindo 2.650.479 toneladas de frutos em 2018 (FAO, 2020). No entanto, a produtividade brasileira tem sido em média 25 mil frutos ha⁻¹ (IBGE, 2020), valor que pode ser praticamente dobrado se o agricultor adotasse estratégias agronômicas já estabelecidas para a cultura.

A principal causa das perdas de produtividade no Brasil é a incidência de fusariose, atribuída ao plantio predominante da cultivar Pérola, muito susceptível a esta doença, embora existam cultivares resistentes no país (Reinhardt et al., 2019). Dentre as cultivares recomendadas para plantio em áreas endêmicas, destaca-se a cultivar Vitória, selecionada no Espírito Santo e lançada em 2006, é resistente a fusariose, não possui espinhos nas folhas (Ventura et al., 2009) e produz frutos de qualidade (Berilli et al., 2011).

A oferta dos frutos do abacaxizeiro no mercado oscila ao longo dos meses do ano, acarretando em grandes variações nos preços e prejuízos para o agricultor. No Espírito Santo, assim como na maioria dos estados produtores, ocorre a um aumento significativo na oferta de frutos nos meses de novembro e dezembro e escassez de abril a julho (CEASA/ES, 2013). Essa produção concentrada é reflexo da adoção deficiente de estratégias para o manejo da floração do abacaxizeiro, como o plantio escalonado utilizando mudas de diferentes padrões e a aplicação de compostos para a indução artificial da floração.

O desenvolvimento vegetativo do abacaxizeiro no momento da indução floral é determinante na produtividade e qualidade dos frutos, principalmente com relação a massa, critério utilizado na definição de preço. Quanto mais jovens as plantas forem induzidas menor será a massa dos frutos, fato comprovado inclusive para a cultivar Vitória (Barker et al., 2018). No entanto, na prática o técnico tem dificuldade de saber qual o momento ideal para efetuar a indução floral artificial, ficando na maioria das vezes empiricamente estabelecido.

A tomada de decisão no campo deve se basear em algum critério de desenvolvimento vegetativo, de preferência quantitativo, para que possam ser adotadas medidas de manejo conforme a necessidade. O manejo nutricional do abacaxizeiro baseia-se no teor de nutrientes de amostras de uma folha madura, denominada de “folha D”, identificada no campo juntando todas as folhas e selecionando a mais longa. Portanto, o agricultor brasileiro já está familiarizado com esta prática, facilitando a sua recomendação para a definição do momento da indução floral artificial, bastando saber se tem boa correlação com a qualidade dos frutos.

A qualidade físico-química dos frutos do abacaxizeiro tem sido estudada amplamente e a Correlação de Pearson para características vegetativas, como a largura e comprimento da folha “D” com a qualidade dos frutos do abacaxizeiro cultivar Vitória, mostraram magnitudes moderada quando considerado um grupo de dados de um ensaio de nutrição (Caetano et al., 2013) e baixa quando avaliada separadamente considerando as épocas de indução floral (Küster et al., 2018). Estes resultados são um indicativo de que não há correlação linear entre as variáveis consideradas nos estudos, e desta forma a correlação de Pearson não será útil para explicar as relações entre as características vegetativas das plantas de abacaxizeiro com as características do fruto.

Considerando que a produção dos frutos é influenciada diretamente pelo desenvolvimento vegetativo da planta na fase

de pré-florescimento (Caetano et al., 2013), busca-se uma ferramenta estatística que possibilite detectar padrões de resposta de qualidade físico-química de frutos do abacaxizeiro correlacionada ao manejo agrônomico. Dentre as ferramentas disponíveis, destaca-se a análise de redundância (RDA, Redundancy Analysis), que é uma extensão direta da análise de regressão múltipla para modelar os dados de resposta multivariada (Borcard et al., 2011). Tem sido considerada uma excelente ferramenta em ensaios complexos e com um grande número de dados, sendo largamente utilizada para identificar padrões de resposta em função de variáveis ambientais em estudos de ecologia (Capblancq et al., 2018). Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar por meio da análise de redundância quais características vegetativas explicam a qualidade dos frutos do abacaxizeiro ‘Vitória’, considerando o manejo da floração.

2. Metodologia

O estudo da relação entre características de plantas (características explicativas) e características de frutos (características respostas) foi feito a partir de plantios estabelecidos em quatro diferentes épocas usando dois tipos de muda sendo: filhote de 100 a 200 g e rebentão de 201 a 300 g e a indução floral feita em três diferentes tempos após o plantio, originando 24 ambientes conforme descritos na Tabela 1. As seis características de plantas e 21 características de frutos avaliadas estão descritas na Tabela 2. Para cada ambiente foram avaliados 24 frutos, totalizando 576 frutos.

Tabela 1. Identificação dos ambientes (ID) de acordo com a época de plantio, tipo de muda e tempo de indução ao florescimento em cultivos de abacaxizeiro cv. ‘Vitória’ realizado em Sooretama-ES.

ID	Época de plantio	Tipo de muda	Indução (meses)
1	Abril de 2015	Rebentão	8
2	Julho de 2015	Rebentão	8
3	Outubro de 2015	Rebentão	8
4	Janeiro de 2016	Rebentão	8
5	Abril de 2015	Filhote	8
6	Julho de 2015	Filhote	8
7	Outubro de 2015	Filhote	8
8	Janeiro de 2016	Filhote	8
9	Abril de 2015	Rebentão	10
10	Julho de 2015	Rebentão	10
11	Outubro de 2015	Rebentão	10
12	Janeiro de 2016	Rebentão	10
13	Abril de 2015	Filhote	10
14	Julho de 2015	Filhote	10
15	Outubro de 2015	Filhote	10
16	Janeiro de 2016	Filhote	10
17	Abril de 2015	Rebentão	12
18	Julho de 2015	Rebentão	12
19	Outubro de 2015	Rebentão	12
20	Janeiro de 2016	Rebentão	12
21	Abril de 2015	Filhote	12
22	Julho de 2015	Filhote	12
23	Outubro de 2015	Filhote	12
24	Janeiro de 2016	Filhote	12

Fonte: Autores.

Tabela 2. Nome, unidade e metodologia para coleta e análise das características explicativas e resposta usadas na análise de redundância a partir de plantas e de frutos do abacaxizeiro cv. Vitória realizado em Sooretama-ES.

Característica	Sigla	Metodologias
Seis características explicativas (de plantas)		
Comprimento da folha “D” (cm)	CF	Medida através de régua milimétrica, sendo medida a folha “D” por planta, no momento da indução floral.
Largura da folha “D” (cm)	LF	Medida através de régua milimétrica, feita no terço inferior da folha, medida a folha “D” por planta, no momento da indução floral.
Número de folhas	NF	Todas as folhas, no momento da indução floral.
Área foliar	AF	Por estimativa a partir de equação de regressão indicada por (Francisco et al., 2014).
Estrutura propagativa tipo rebento formada na planta	Rebentos	Contagem do número de rebentos por planta por ocasião da colheita do fruto.
Estrutura propagativa tipo filhote formada na planta	Filhotes	Contagem do número de filhotes por planta por ocasião da colheita do fruto.
21 características resposta (de frutos)		
Massa do fruto com coroa (g)	MFrC	Pesagem individual realizada através de balança eletrônica modelo Marconi, nº AS5500C.
Massa do fruto sem coroa (g)	MFrSC	Pesagem individual realizada através de balança eletrônica modelo Marconi, nº AS5500C.
Massa da coroa (g)	MC	Pesagem individual realizada através de balança eletrônica modelo Marconi, nº AS5500C.
Comprimento do fruto (cm)	CFr	Medição através de régua milimetrada, de uma extremidade a outra.
Diâmetro do fruto (cm)	DFr	Fruto seccionado ao meio na posição mediana. Medição através de régua milimetrada.
Diâmetro do cilindro (cm)	DC	Fruto seccionado ao meio na posição mediana. Medição através de régua milimetrada.
Rendimento de polpa (%)	RP	Os frutos foram descascados e levados a centrífuga, marca Mondial Premium e medido com auxílio de uma proveta, o RP é a relação entre volume/peso e os valores foram convertidos em percentagem.
Área translúcida (%)	ATr	A polpa foi classificada conforme (Martins et al., 2012) em: 1. Polpa completamente opaca; 2. Polpa com até 10% de área translúcida; 3. Polpa com 11% a 25% de área translúcida; 4. 26% a 50% de área translúcida; 5. Polpa com 51% a 75% de área translúcida; e 6. Com mais de 75% de área translúcida.
Sólidos solúveis (°Brix)	SS	Os sólidos solúveis foram determinados no suco. Utilizou-se o refratômetro da marca ATAGO, modelo PZO RR11, Nr. 20700, 0 – 35 °Brix, com compensação de temperatura a 20 °C. Foram seguidas as normas especificadas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).
Acidez titulável (% ácido cítrico)	AT	Expressa em porcentagem de ácido cítrico conforme metodologia padronizada pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).
pH	pH	O pH foi determinado no suco, Utilizou-se potenciômetro digital de bancada, modelo pH lab Metrohm/827, com compensação automática de temperatura. De acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Vitamina C (% ácido ascórbico)	VitC	Expressa em teor de ácido ascórbico conforme metodologia padronizada pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).
Maturação	Mat	Estádio de maturação aparente em que o fruto foi colhido – Verde, Pintado, Colorido ou Amarelo.
Firmeza da casca (Quilogramas-força Kgf).	FirC	Realizada em quatro pontos opostos da região equatorial de cada fruto, com medidor de força digital dinamômetro, modelo IP-90DI da Impac® com ponteira cilíndrica de 8 mm.
Circunferência do fruto (cm)	CircFr	Os frutos foram seccionados na região mediana transversal e medidos com régua graduada em centímetros.
Espessura da polpa (cm)	EspPo	Os frutos foram seccionados na região mediana transversal e medida com régua graduada em centímetros.
Índice de cor da casca	ICC	Índice de cor de casca (ICC) foi calculado utilizando os valores da escala CIELAB. $ICC = (1000 \times a^* / (L^* \times b^*))$
L*	L*	Leitura de quatro pontos da região mediana do fruto, com colorímetro Minolta Chroma meter CR-400, com base no sistema CIELAB, o qual a cor foi expressa em: L*= luminosidade (0 = preto e 100 = branco) conforme (Carvalho et al., 2016).
a*	a*	Leitura de quatro pontos da região mediana do fruto, com colorímetro Minolta Chroma meter CR-400, com base no sistema CIELAB, o qual a cor foi expressa em a*(-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho) conforme (Carvalho et al., 2016).
b*	b*	Leitura de quatro pontos da região mediana do fruto, com colorímetro Minolta Chroma meter CR-400, com base no sistema CIELAB, o qual a cor foi expressa em: b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo) conforme (Carvalho et al., 2016).
Índice de Escurecimento	IE	Índice de escurecimento (IE) foi calculado utilizando os valores da escala CIELAB, conforme descrito por Palou et al. (1999). $IE = (100 \times (X - 0.31)) / 0.172$ Sendo: $X = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.02b^*)$.

Fonte: Autores.

A partir dos dados das avaliações de plantas e frutos se determinou a média de cada característica, com a qual se trabalhou por meio da estatística multivariada. As características de frutos foram relacionadas com as características de plantas através da análise de redundância (RDA) seguindo o protocolo apresentado por (Borcard et al., 2011). A RDA é um método de análise multivariada que combina regressão e análise de componentes principais (PCA) para a análise conjunta de dois grupos distintos de características (Legendre; Legendre, 1998).

O primeiro procedimento para o estudo da RDA foi verificar a existência de multicolinearidade entre as características explicativas, que tem por finalidade eliminar uma ou mais características redundantes o que foi feito pelo cálculo do valor de VIF (variance inflation factor) segundo (Gómez et al., 2016). Adotou-se o critério de eliminação da característica que apresentasse $VIF > 4$ (Hair et al., 2010).

Considerando que, mesmo com a eliminação de características redundantes, ainda possam permanecer no modelo características de baixa variabilidade que pouco irão contribuir para a explicação das características respostas, verificou-se a necessidade de se eliminar da análise alguma característica de planta por meio de análise de variância. Em tal procedimento, o F calculado é comparado com F tabelado após permutações pelo teste de Monte Carlo, sendo a eliminação realizada em caso de $p \geq 0,05$. As hipóteses foram: H0: não há nenhuma relação entre as características explicativas (de plantas) e as características respostas (de frutos); H1: há relação entre as características explicativas (de plantas) e as características

respostas (de frutos).

Após os procedimentos anteriormente descritos, realizou-se a RDA, plotando os resultados num triplot.

Todas as análises foram realizadas com o software R versão 3.5.1 (R Foundation for Statistical Computing., 2018). O pacote utilizado foi o VEGAN - Community Ecology Package (Oksanen et al., 2019), sendo as variáveis de planta estandardizadas e as variáveis de frutos transformadas pela distância de Hellinger.

3. Resultados e Discussão

A realização da análise para determinação da multicolinearidade por meio do VIF demonstrou alta colinearidade e a necessidade de eliminação da característica área foliar (AF), conforme Tabela 3. Isto pode ser explicado pelo fato da AF ter sido estimada e na equação de estimação, segundo (Francisco et al., 2014), a área foliar de planta inteira é determinada em função do comprimento e da largura da folha D. Após a eliminação da característica explicativa AF, o modelo se torna adequado com a permanência das outras cinco características, obtendo-se $VIF < 4$.

Tabela 3 – Valores de VIF na determinação de multicolinearidade a partir da análise contendo as seis características explicativas iniciais e após a eliminação da característica de maior inflação.

VIF	Característica explicativa ⁽¹⁾					
	CF	LF	NF	AF	Rebentos	Filhotes
Inicial	98,86	76,47	4,01	297,91	2,72	1,99
Sem AF	3,57	1,74	3,70	-	2,71	1,81

⁽¹⁾ Para identificação do significado das siglas vide descrição na Tabela 2. Fonte: Autores.

A análise de variância mostrou que o modelo contendo as cinco características explicativas restantes, foi estatisticamente significativo ($p = 0,001$), não sendo, portanto, necessária a eliminação de mais nenhuma característica de planta, visto a existência de relação válida estatisticamente entre as cinco características de planta e as 21 características de frutos nos 24 ambientes (Tabela 4), desta forma, a análise RDA empregou cinco características explicativas (CF, LF, NF, Rebentos, Filhotes) para o modelo.

Em relação aos eixos da RDA, houve significância estatística ($p < 0,05$) para os dois primeiros eixos (Tabela 4), indicando que a análise gráfica bidimensional é adequada.

Tabela 4 – Análise de variância para verificação da adequação do modelo utilizando cinco características explicativas e 21 características respostas de abacaxizeiro ‘Vitória’ avaliadas em 24 ambientes.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Valor p ⁽¹⁾
(Modelo)	(5)	(0,0119759)	6,7548	0,001
RDA1	1	$9,493 \times 10^{-3}$	26,7720	0,002
RDA2	1	$2,282 \times 10^{-3}$	6,4349	0,048
RDA3	1	$1,409 \times 10^{-4}$	0,3975	0,985
RDA4	1	$5,370 \times 10^{-5}$	0,1515	0,990
RDA5	1	$6,383 \times 10^{-6}$	0,0182	0,998
Resíduo	18	0,0063826		

⁽¹⁾ Valor p obtido por simulação de Monte Carlo com 1000 permutações. Fonte: Autores.

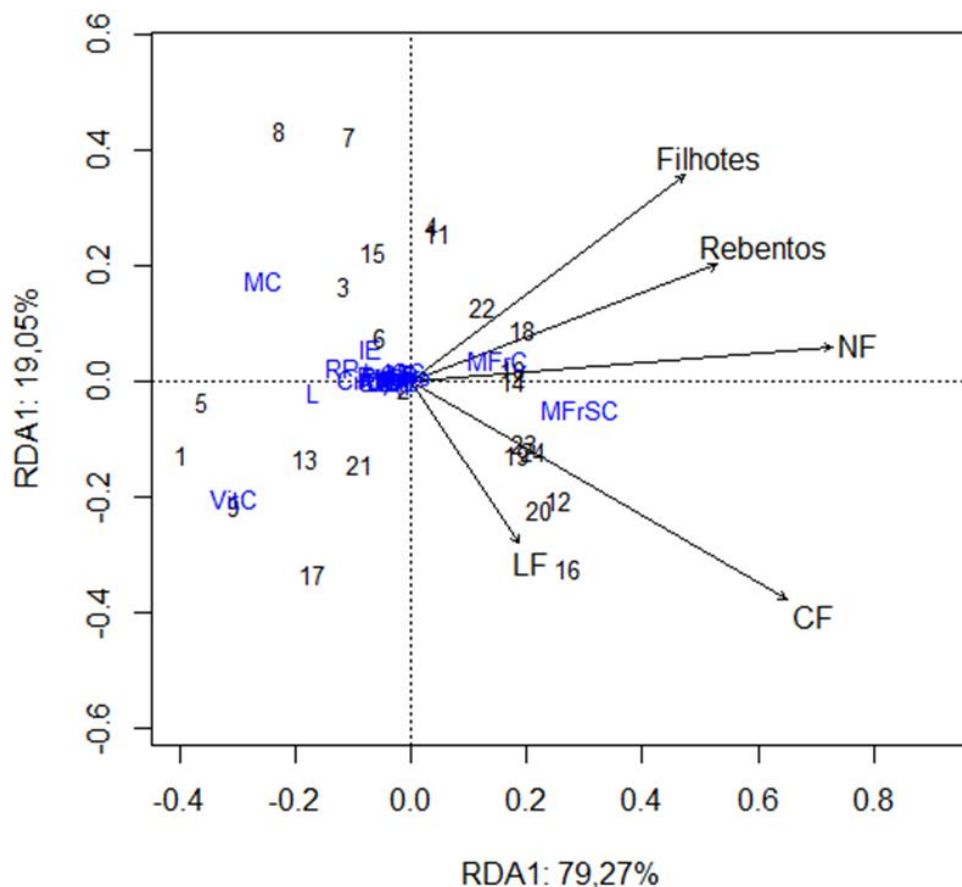
A representação da relação entre as cinco características de plantas e as 21 de frutos de abacaxizeiro cv. ‘Vitória’ é apresentada em triplot na Figura 1. O primeiro eixo canônico (RDA1) explica 79,27% da variação existente e o eixo RDA2 explica 19,05% da variação, totalizando 98,32% de toda a variação existente.

Pela análise gráfica, observa-se que a característica de planta que mais se relaciona com o peso de fruto é o número de folhas e a presença de estruturas propagativas (filhotes e rebentos), onde espera-se que plantas com maior número de folhas, filhotes e rebentos apresentem também maior peso de fruto. Estudos realizados em lavouras comerciais no Sul da África também associaram maior peso dos frutos com a quantidade de mudas tipo filhote na cultivar Sugarloaf, porém, ‘Smooth Cayenne’ não produziu este tipo de muda (Hotegni et al., 2014).

O número de folhas é uma variável quantitativa e não destrutiva, porém, não é comumente avaliada nos estudos com o abacaxizeiro. No entanto, área foliar, massa seca da parte aérea e comprimento da folha D foram correlacionadas positivamente com a massa do fruto em um estudo com o manejo hídrico da cultivar Pérola no estado do Sergipe (Melo et al., 2006).

De acordo com a análise de redundância, não foi possível detectar no presente estudo nenhuma relação entre o comprimento, largura da folha “D” do abacaxizeiro Vitória, com o peso do fruto, porém em outros trabalhos com a mesma cultivar, utilizando correlação de Pearson, (Caetano et al., 2013) correlacionou positivamente e (Kuster et al., 2018) obteve baixa magnitude. Contudo, as correlações realizadas por (Caetano et al., 2013) foram efetuadas utilizando um conjunto de todos os dados de um experimento com diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio, enquanto que nos estudos de (Kuster et al., 2018), a correlação foi efetuada considerando as épocas de indução floral separadamente. Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que as variáveis da folha “D” de fato não se correlacionam com a qualidade de frutos do abacaxizeiro cultivar Vitória quando se considera as variáveis ambientais.

Figura 1 – Representação da relação entre cinco características de plantas e 21 de frutos de abacaxizeiro ‘Vitória’ em 24 ambientes. Números indicam ambientes que estão descritos na Tabela 1. Siglas em preto indicam as características de planta, siglas em azuis características de frutos, ambas descritas na Tabela 2.



Fonte: Autores.

Outra relação evidente na Figura 1 é que, a característica química vitamina C, tende a ser maior quando a planta apresenta menor número de estruturas propagativas. Esta é uma característica interessante, pois existe uma prática de manejo que tem sido efetuada no campo, sem validação científica, que é a retirada de mudas do tipo filhote. Portanto, são necessários maiores estudos para melhor compreensão do efeito das mudas na qualidade dos frutos.

Referente às características de frutos, nota-se que quanto maior a massa da coroa (MC), menor tende a ser a massa do fruto (MFr), o que já fora demonstrado por outros autores como (Caetano et al., 2013), (Vilela et al., 2015) e (Kuster et al., 2018) para o abacaxizeiro 'Vitória'. Outra relação nítida é a verificada entre o teor de vitamina C e a massa de fruto, onde nota-se que frutos com maior massa tendem a apresentar menor teor de vitamina C. Ao analisar no triplot os ambientes mais ligados a vitamina C (VitC), ambientes 1; 5; 13; 17 e 21, nota-se que ambos têm em comum o fato das plantas terem sido plantadas em abril de 2015. De acordo com (Nunes et al., 2010), a concentração de vitamina C pode variar devidos alguns fatores, como tipo de cultivar, estágio de maturação, nutrição, época de plantio. Corroborando com os resultados observados neste trabalho, onde apenas frutos da mesma época de plantio apresentaram relação com a variável resposta.

A maior parte das 21 características de frutos, como teor de sólidos solúveis, firmeza, acidez titulável, pH, espessura da polpa, se concentram na origem dos quadrantes, demonstrando baixa variabilidade e pouca relação entre elas e com as características explicativas (de plantas). Apesar disso, destacamos que o uso de análise de redundância para este tipo de trabalho foi capaz de mostrar várias relações que não poderiam ser tão facilmente detectadas por estudos de correlações entre características duas a duas como a de Pearson ou de Spearman. Os autores (Gotelli & Ellison, 2011), salientam que, embora a análise de redundância seja originalmente destinada a relacionar um grupo de características bióticas com outro de características abióticas, o seu uso pode ter várias outras aplicações.

4. Conclusão

A maioria das características respostas teve baixa variabilidade entre elas e com as características explicativas.

A característica peso do fruto é a que mais relaciona com as características de planta, número de folhas e a presença de estruturas propagativas, filhotes e rebentos.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa e origem dos recursos experimentais. Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, pela colaboração e espaço concedido.

Referências

- Barker, D. L., Arantes, S. D., Schimdt, E. R., Arantes, L. D. O., Fontes, P. S. F., & Buffon, S. B. (2018). Post-harvest quality of 'Vitória' pineapple as a function of the types of shoots and age of the plant for floral induction. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4).
- Berilli, S. D. S., Almeida, S. B., Carvalho, A. J. C. D., Jesus Freitas, S. D., Berilli, A. P. C. G., & Santos, P. C. D. (2011). Avaliação sensorial dos frutos de cultivares de abacaxi para consumo in natura. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 592-598.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical ecology with R*. Springer, 2, 688.
- Caetano, L. C. S., Ventura, J. A., Costa, A. D. F. S. D., & Guarçoni, R. C. (2013). Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 883-890.
- Capblancq, T., Luu, K., Blum, M. G., & Bazin, E. (2018). Evaluation of redundancy analysis to identify signatures of local adaptation. *Molecular Ecology Resources*, 18(6), 1223-1233.
- Carvalho, R. R. B., Fonseca, A. A. O., Barreto, N. S. E., Luís, R., & Cardoso, M. S. S. (2016). Néctar de graviola e cupuaçu: desenvolvimento e estabilidade. *18(4)*, 413-421.

- CEASA/ES, (2013). <http://www.ceasa.es.gov.br/wp-content/uploads/2013/calendario_de_comercializacao_2013.pdf>.
- FAOSTAT, (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Crops database. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>.
- Francisco, J. P., Diotto, A. V., Folegatti, M. V., Silva, L. D. B. D., & Piedade, S. M. D. S. (2014). Estimativa da área foliar do abacaxizeiro cv. Vitória por meio de relações alométricas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(2), 285-293.
- Gómez, R. S, García Pérez, J., López Martín, M. D. M., & García, C. G. (2016). Collinearity diagnostic applied in ridge estimation through the variance inflation factor. *Journal of Applied Statistics*, 43(10), 1831-1849.
- Gotelli, N.J., Ellison, A.M. A primer of ecological statistics. (2a ed.) Sunderland: Sinauer Associates, 2011. 579p.
- HAIR, J.F. et al. Multivariate Data Analysis. (7a ed.) Pearson, 2010.
- Hotegni, V. N.F, Lommen, W. J., Agbossou, E. K., & Struik, P. C. (2014). Heterogeneity in pineapple fruit quality results from plant heterogeneity at flower induction. *Frontiers in Plant Science*, 5, 670.
- IAL Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. (4a ed.), Ministério da Saúde. 1018p.
- LUTZ, I. A. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. ANVISA.
- IBGE. (2008) instituto brasileiro de geografia e estatística. Produção Agrícola Municipal: PAM 2017. Sistema IBGE de Recuperação Automática: SIDRA, <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>.
- Küster, I. S., Alexandre, R. S., Arantes, S. D., Schmidt, E. R. S., Arantes, L. D. O., & Klem, D. L. B. (2018). Phenotypic correlation between leaf characters and physical and chemical aspects of cv. Vitória pineapple fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40.1-9.
- Legendre, P., & Legendre, L. (1988). Numerical Ecology. Amsterdam, Elsevier Science. 840p.
- Melo, A. S. D., Netto, A. D. O. A., Dantas Neto, J., Brito, M. E. B., Viégas, P. R. A., Magalhães, L. T. S., & Fernandes, P. D. (2006). Desenvolvimento vegetativo, rendimento da fruta e otimização do abacaxizeiro cv. Pérola em diferentes níveis de irrigação. *Ciência Rural*, 36, 93-98.
- Nunes, R. P, Da Silva, L. I. M. M., & de Araújo, B. M. (2010). Características físicas, físico-químicas, químicas e atividade enzimática de abacaxi cv. Smooth Cayenne recém colhido. *Alimentos e Nutricao (Brazilian Journal of Food and Nutrition)*, 21(2), 273-282.
- Oksanen, J. et al. (2019). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-5. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Palou, E., López-Malo, A., Barbosa-Cánovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. (1999). Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64(1), 42-45.
- Py, C. (1968). Contribution à l'étude du cycle de l'ananas. *Fruits*, 23(8), 403-413.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Teisson, C. (1972). Étude sur la Floraison Naturelle de l'Ananas en Côte D'Ivoire. *Fruits*, 27(10), 699-704.
- Ventura et al. (2008). <http://www.incaper.es.gov.br/servicos/images/abacaxi_vitoria.pdf>.
- Ventura, J. A., Costa, H., Cabral, J. R. S. & de Matos, A. P. (2009). 'VITÓRIA': new pineapple cultivar resistant to fusariosis. *Acta Hort.* 822, 51-56.
- Vilela, G. B., Pegoraro, R. F., & Maia, V. M. (2015). Predição de produção do abacaxizeiro Vitória por meio de características fitotécnicas e nutricionais. *Revista Ciência Agronômica*, 46, 724-732.