



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA

FEDERAL DO PARANÁ

Programa de Pós-Graduação em

Tecnologia de Alimentos

MARCELA MARTA LAZARETTI TORMENA

DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÃO

PARA BOLO CONTENDO FARINHA DE

MACA E YACON

DISSERTAÇÃO

CAMPO MOURÃO, PR, BRASIL

2016

MARCELA MARTA LAZARETTI TORMENA

**DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÃO PARA BOLO
CONTENDO FARINHA DE MACA E YACON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Evandro Bona

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a Renata Hernandez Barros Fuchs

CAMPO MOURÃO, PR, BRASIL

2016

,

.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

T684d Tormena, Marcela Marta Lazaretti

Desenvolvimento de formulação para bolo contendo farinha de
maca e yacon / Marcela Marta Lazaretti Tormena – 2016.
79 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Evandro Bona.

Coorientadora: Renata Hernandez Barros Fuchs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos.
Campo Mourão, 2016.

Inclui bibliografias.

1. Análise multivariada. 2. Alimentos – Avaliação sensorial. 3.
Alimentos – Dissertações. I. Bona, Evandro, orient. II. Fuchs, Renata
Hernandez Barros, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. IV.
Título.

CDD: 664

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn CRB 9/1219



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos

PPGTA UTFPR
Programa de Pós-Graduação
em Tecnologia de Alimentos

TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÃO PARA BOLO CONTENDO FARINHA DE MACA E YACON

Por

MARCELA MARTA LAZARETTI TORMENA

Essa dissertação foi apresentada às catorze horas, do dia dezoito de abril de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Linha de Pesquisa Ciência e Tecnologia de Produtos Alimentícios, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - PPGTA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Renata Hernandez Barros Fuchs (Coorientadora - PPGTA)

Prof. Dr. Dionísio Borsato (Membro Externo – UEL)

Profa. Dra. Maria Brígida dos Santos Scholz (Membro Externo – IAPAR)

A via original com as assinaturas encontra-se na secretaria do programa.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu força todos os dias para não desistir e saúde para trabalhar e realizar este trabalho.

Ao meu filho Pedro Lucas Lazaretti Tormena, que foi, e sempre será, minha inspiração e o meu grande motivador.

Ao meu esposo Osmar Tormena Junior, pelo amor, paciência, cuidado e dedicação dedicados a mim.

Aos meus pais, Neuza Baruffi Marta Lazaretti e Ijair Lazaretti que me ensinaram que a única herança proveitosa que se deixa a um filho são os estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Evandro Bona, por seu apoio e dedicação, e especial atenção nas revisões e sugestões, que foram fundamentais ao meu trabalho.

A minha Coorientadora, Prof.^a Dr.^a Renata Hernandez Barros Fuchs, que me ensinou muito sobre análise sensorial.

A minha amiga de laboratório Luana Tabalipa, que me ajudou na análise sensorial e tornou minha caminhada mais leve, com bom humor e comprometimento com o trabalho.

A todos os meus amigos, em especial Maresa Custódio Molinari Ferreira, Franciele Simão, Julia Maria Tonin Geiss e Anne Luize Lupatini, que me estenderam a mão sempre que possível.

Aos meus chefes, Roberto Carlos Guarido e Ana Carla Broetto Biazon, que me incentivaram e foram compreensivos durante esses dois anos.

À empresa Jasmine Alimentos, pela doação das farinhas de yacon e maca, utilizadas nesta pesquisa.

E a todos que de alguma forma, contribuíram com o meu trabalho.

RESUMO

TORMENA, Marcela M. L. *Desenvolvimento de formulação para bolo contendo farinha de maca e yacon*. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2016.

Neste trabalho foi desenvolvida uma formulação otimizada de bolo de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo por uma mistura de farinha de yacon e maca peruana. Os tubérculos escolhidos são alimentos com propriedades funcionais benéficas à saúde, como ação antioxidante e efeito prebiótico. A influência das proporções das farinhas e a quantidade de água acrescentada à massa foram avaliadas através de análise sensorial, colorimetria, perfil de textura e volume específico. Foi aplicado um planejamento experimental do tipo *simplex-centroid*, para as proporções das três farinhas, com a quantidade de água como uma variável de processo avaliada em três níveis distintos. De acordo com os resultados do atributo aceitabilidade geral dos bolos, os julgadores foram segmentados em dois grupos pela técnica do *k-means*. Após a segmentação foram construídos modelos de regressão para aceitabilidade geral média de cada grupo sendo obtido valores de R^2_{ajustado} de 92,5 % para o grupo 1 e 98,9 % para o grupo 2. Através da otimização pelo método *simplex* sequencial foi determinada uma formulação otimizada para o grupo 1 (49 % de trigo, 37 % de yacon, 14,0 % de maca e 140,0 mL de água) e outra para o grupo 2 (35 % de trigo, 65 % de yacon, 0,0 % de maca e 120,0 mL de água). Além dessas formulações, foi proposta uma terceira mistura com o maior teor de maca (32 %) que não alterasse significativamente a aceitação geral de ambos os grupos. De maneira geral, os resultados da avaliação sensorial indicaram que a presença do yacon aumenta o grau de aceitação do bolo, mesmo com a adição da maca que se mostrou sensorialmente menos aceita. Foi identificada uma correlação significativa entre a aceitação geral dos bolos e seu sabor. Assim também, a cor sensorial foi diretamente relacionada a bolos mais escuros e com maior saturação do marrom. As três formulações otimizadas em conjunto com duas formulações controle foram utilizadas em uma análise de perfil livre. Os resultados da análise de perfil livre foram submetidos à análise de componentes comuns com pesos específicos, cujos resultados, na forma de um gráfico de consenso e de saliências, tornaram observáveis os efeitos diretos da substituição do trigo pelo yacon e pela maca, sobre as propriedades sensoriais dos bolos produzidos. A correlação das componentes comuns com os atributos dos julgadores foi utilizada para a descrição sensorial das amostras. Assim, uma maior proporção de maca intensifica a cor marrom, o aroma e sabor de queimado. Já uma maior proporção de yacon produz uma melhor aparência, maciez, sabor doce e de chocolate. Isto corrobora a afirmação que a substituição do trigo pelo yacon nos bolos produzidos traz melhorias às suas características sensoriais, enquanto a adição de maca traz prejuízos sensíveis às mesmas.

Palavras-chave: planejamento de misturas com variável de processo, análise multivariada, otimização com restrições, segmentação de julgadores, perfil livre, análise de componentes comuns e pesos específicos.

ABSTRACT

TORMENA, Marcela M. L. *Development of a formulation for chocolate cake with maca and yacon flours*. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2016.

This work describes the development of an optimized chocolate cake formulation with partial substitution of wheat flour by a mixture of yacon flour and maca flour. The chosen tubercles are functional foods with benefits to human health, as antioxidant activity and prebiotic effect. The influence of the proportions of the flours, as the amount of water added to the batter, were evaluated through the results of sensory analysis, colorimetry, texture profiling and specific volume. The simplex-centroid experimental design was proposed for the three mixture variables (flours proportions) and one process variable (amount of water added to the batter) in three distinct levels. The consumers were segmented through the k-means technique, grouped by their overall acceptability of the cakes. A regression model for the overall acceptability was constructed for both groups, with a R^2_{adjusted} of 92.5 % for group 1 and 98.9 % for group 2. The sequential simplex method was used to optimize the formulation for group 1 (49 % wheat, 37 % yacon, 14 % maca and 140 mL of water) and, group 2 (35 % wheat, 65 % yacon, 0 % maca and 120 mL of water). It was proposed a third formulation with greater maca content (32 %) and minimal effect on overall acceptability for both groups. In general, the sensory evaluation results indicated that the presence of yacon increases the acceptability of the cakes, even when maca was added, which alone showed less desirable. A significant correlation was observed between the overall acceptability of the cakes and their flavor. In addition, the sensory evaluation of color was found strongly correlated to darker cakes and saturated browns. The free-choice profiling was applied to the three optimized formulations along with two control formulations. The data acquired was evaluated with common components and specific weights analysis. The results, presented as similarity map and subject space, made directly observable the effects of wheat substitution by yacon and maca over the sensory characteristics of the produced cakes. The correlation of the common components with the consumers' attributes was used for sensory description of samples. Thus, a greater proportion of maca enhances the brown color, but also the burnt aroma and taste of the cakes. Whereas, a higher proportion of yacon produces a better appearance, softness, sweetness and increased chocolate flavor. This corroborates the claim that the replacement of wheat by yacon in the produced cakes brings improvements to their sensory characteristics, while adding maca is clearly deleterious to them.

Keywords: mixture design with process variable, multivariate analysis, constrained optimization, consumer segmentation, free-choice profiling, common component and specific weights analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planejamento <i>simplex-centroid</i> com restrição de mínimo para a farinha de trigo.	27
Figura 2: Fluxograma de preparo dos bolos.	29
Figura 3: Ficha da avaliação sensorial usando escala hedônica de nove pontos.	30
Figura 4: Espaço de cores CIELAB, em coordenadas cartesianas (Adaptado de: VIEIRA, 2014).	32
Figura 5: Curva característica de um ensaio de análise de perfil de textura (TPA).	33
Figura 6: Resultados médios do teste de aceitação com um intervalo de confiança de 95 %.	41
Figura 7: Agrupamento obtido pelo k-means representado no eixo das duas primeiras componentes principais.	43
Figura 8: Valores de aceitabilidade geral médios para os julgadores dos grupos 1 e 2.	44
Figura 9: Valores experimentais médios da aceitabilidade geral versus predito pelos modelos de regressão para os grupos 1 (a) e 2 (b).	44
Figura 10: Diagramas ternários para a aceitabilidade geral média em função da composição da mistura expressa como pseudocomponentes: Grupo 1 (a), (b) e (c); Grupo 2 (d), (e) e (f).	47
Figura 11: Gráficos de biplot: (a) CP1 vs. CP2, (b) CP1 vs. CP3 e (c) CP2 vs. CP3.	49
Figura 12: Mapa de cores CIELab, indicando a região dos bolos produzidos (a) e a região destacada com a representação dos mesmos (b). Ambos os mapas foram produzidos com $L^* = 34$, o valor médio da luminosidade das amostras.	51
Figura 13: Superfícies de resposta, em termos de pseudocomponentes, para o ΔE fixando a quantidade de água em (a) 120 mL, (b) 150 mL e (c) 180 mL.	52
Figura 14: Resultados da TPA para os parâmetros de dureza e mastigabilidade.	55
Figura 15: Resultados da TPA para os parâmetros de elasticidade, coesividade e resiliência.	56
Figura 16: Superfícies de resposta obtidas para a dureza (a-c) e mastigabilidade (d-f) em termos de pseudocomponentes.	57
Figura 17: Superfícies de resposta obtidas para a coesividade (a-c) e resiliência (d-f) em termos de pseudocomponentes.	58
Figura 18: Resultados das análises de volume específico.	59

Figura 19: Superfícies de resposta, em termos de pseudocomponentes, para o volume específico fixando a quantidade de água em (a) 120 mL, (b) 150 mL e (c) 180 mL.	60
Figura 20: Avaliação do perfil livre usando CCSWA: (a) Gráfico de consenso e (b) gráfico de saliências.	61
Figura 21: Correlação dos atributos dos julgadores com as dimensões comuns 1 e 2: (a) julgador J6; (b) julgador J8. A linha horizontal pontilhada representa o valor crítico para a correlação ser estatisticamente significativa ($p < 0,05$).	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulação padrão para bolo de chocolate.	25
Tabela 2: Planejamento <i>simplex-centroid</i> repetido para cada nível da variável de processo.	28
Tabela 3: Parâmetros avaliados em uma análise do perfil de textura (TPA).	34
Tabela 4: Segmentação dos 56 julgadores em dois grupos usando o método k-means.	42
Tabela 5: Tabela da MANOVA para avaliar o efeito da segmentação.	42
Tabela 6: Modelos de regressão para a aceitação geral dos bolos para os dois grupos de julgadores.	45
Tabela 7: Formulações otimizadas.	46
Tabela 8: Médias gerais e por grupo para os atributos sensoriais textura, sabor e cor.....	50
Tabela 9: Matriz de correlação para os atributos sensoriais.	50
Tabela 10: Matriz de correlação entre cor sensorial e cor instrumental.	53
Tabela 11: Parâmetros estatísticos dos modelos de regressão obtidos para as variáveis medidas na TPA.	54
Tabela 12: Matriz de correlação entre textura sensorial e textura instrumental.	60
Tabela 13: Correlações significativas ($p < 0,05$) entre as CCs e os atributos sensoriais...	63

SUMÁRIO

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	8
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 A maca peruana.....	15
2.2 O yacon	16
2.3 Experimentos com misturas	18
2.3.1 Variáveis de mistura.....	18
2.3.2 Variáveis de processo.....	19
2.4 Análise sensorial	20
2.4.1 Teste de aceitação usando escala hedônica	21
2.4.2 Perfil livre.....	21
2.5 Análise multivariada dos dados	22
2.5.1 Segmentação dos consumidores.....	22
2.5.2 Análise de Componentes Principais	23
2.5.3 Otimização.....	23
2.5.4 Análise de componentes comuns e pesos específicos	24
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Materiais.....	25
3.2 Métodos.....	25
3.2.1 Planejamento experimental	25

3.2.2	Preparação dos bolos	28
3.3	Avaliação das formulações	29
3.3.1	Teste de aceitação.....	29
3.3.2	Determinação do volume específico	30
3.3.3	Determinação de cor.....	31
3.3.4	Análise do perfil de textura	32
3.3.5	Análise microbiológica.....	34
3.3.6	Perfil Livre	35
3.4	Análise multivariada dos dados	36
3.4.1	Segmentação dos julgadores	36
3.4.2	Otimização simplex sequencial com restrições.....	36
3.4.3	Análise de componentes principais	37
3.4.4	Análise de componentes comuns e pesos específicos	37
3.4.5	Implementação Computacional.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Análise Microbiológica.....	40
4.2	Análise sensorial usando a escala hedônica	40
4.3	Segmentação dos Julgadores.....	40
4.5	Otimização	46
4.6	Análise de Componentes Principais.....	48
4.7	Correlação entre os atributos sensoriais.....	48
4.8	Colorimetria	51
4.9	Análise de textura.....	53
4.10	Volume específico.....	59
4.11	Perfil livre	61
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65

APÊNDICE I – FICHA DE AVALIAÇÃO DA ANÁLISE DE PERFIL LIVRE.....	72
APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO APRESENTADO AOS JULGADORES	73
ANEXO I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	74
ANEXO II – TERMO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	77

1 INTRODUÇÃO

Novas formulações de alimentos têm sido estudadas diariamente em busca de produtos que apresentem características funcionais importantes para uma alimentação mais saudável. Algumas plantas como o yacon (*Smallanthus sonchifolius*) e a maca peruana (*Lepidium meyenii*), que são plantas andinas nativas, têm sido utilizadas como suplementos em dietas no mundo inteiro, mais comumente na América do Sul (VALENTOVÁ et al., 2008).

A presença da inulina e dos fruto-oligossacarídeos presentes no yacon, atraem bastante a atenção de pesquisadores para esses carboidratos. Estes compostos têm sido designados como prebióticos e fibras alimentares solúveis, por sua não digestibilidade pelas enzimas do trato digestivo humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras de saúde, especialmente as bifidobactérias, baixo valor calórico e a influência sobre a função intestinal e sobre os parâmetros lipídicos. Além de serem benéficos a saúde, estes carboidratos presentes no yacon são usados para melhorar aspectos sensoriais em produtos de panificação de baixo valor calórico (MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; HAULY, 2004).

Assim como o yacon, a maca peruana também é uma raiz que está associada a benefícios para a saúde. Alguns estudos feitos com ratos mostraram um aumento efetivo na quantidade de espermatozoides destes roedores, o que leva a conclusão de ser benéfico à problemas de fertilidade, além de ser um alimento com propriedades antioxidantes, entre outros benefícios a saúde humana (ZHENG et al., 2000).

A exigência do consumidor por alimentos que apresentam, além da alta qualidade sensorial e nutricional, benefícios associados à saúde, faz surgir a necessidade de novos ingredientes, que possam atender a essas exigências do mercado (IDRIS et al., 1996). Nesse contexto, a inulina e as oligofrutoses vêm sendo incorporadas em diversos produtos alimentares, principalmente em produtos de panificação e confeitaria, como bolo, que têm grande aceitação pelo mercado consumidor devido às suas características reológicas: produtos leves e facilmente mastigáveis; apresentam textura porosa que facilita a digestão e são normalmente muito saborosos (LEITÃO et al., 1984).

Porém, a introdução de alimentos exóticos é um processo que pode apresentar dificuldades. Características específicas de sabor, aparência e textura podem constituir uma barreira para as diferentes culturas. Outra dificuldade é a disponibilidade dos alimentos *in natura*, que pode variar bastante geograficamente. Uma alternativa viável é a incorporação destes alimentos, em sua forma processada (com melhor capacidade de distribuição, além de melhor vida de prateleira), em outras receitas, de forma a mitigar aspectos menos desejáveis das suas características sensoriais, com o mínimo de comprometimento das suas propriedades funcionais (MADE ARTIKA et al., 2011).

Tendo em vista as características funcionais e nutricionais tanto da maca e do yacon, considerando seus benefícios à saúde humana, o presente trabalho busca desenvolver uma mistura para bolo de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo pelas farinhas de yacon e maca. Neste trabalho foi estudado o efeito das diferentes proporções das farinhas de trigo, yacon e maca sobre as características sensoriais dos bolos produzidos, bem como sua aceitabilidade por parte do público consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma formulação para bolo de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo pelas farinhas de yacon e maca.

2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar um planejamento de mistura do tipo *simplex-centroid* (mistura de farinhas de trigo, maca e yacon) com a inclusão de um parâmetro de processo (quantidade de água);
- Avaliar o efeito das variáveis do planejamento experimental na textura, volume específico e cor instrumental dos bolos;
- Realizar a análise microbiológica dos bolos produzidos;
- Aplicar um teste de aceitação nas formulações desenvolvidas;
- Fazer a segmentação dos julgadores pelo método *k-means*;
- Correlacionar as características físicas das formulações com as respostas da aceitação;
- Otimizar a formulação com base na aceitação geral;
- Aplicar a análise descritiva por perfil livre para a formulação controle e otimizada;
- Empregar a análise de componentes comuns e pesos específicos para avaliar os dados obtidos no perfil livre.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A maca peruana

A maca tem se destacado na área dos novos alimentos devido as suas funções relacionadas com a saúde e bem-estar de pessoas que buscam uma alimentação de alto valor nutricional. Este alimento é uma fonte abundante de proteínas, ácidos graxos insaturados e minerais. As raízes de maca fresca têm teor de água superior a 80 %. Já a raiz desidratada de maca contém 8,87–11,6 % de proteínas, 1,09–2,2 % de lipídios, 54,6–60,0 % de carboidratos (23,4 % de sacarose, 1,55 % de glicose, 4,56 % de oligossacarídeos e 30,4 % polissacarídeos), 8,23–9,08 % de fibra, 4,9–5,0 % de cinzas e um teor de energia de 6630 kJ.kg⁻¹ (DINI et al., 1994; RONDÁN-SANABRIA; FINARDI-FILHO, 2009; VALENTOVÁ et al., 2006).

Existem 18 tipos de aminoácidos na raiz de maca. Entre eles sete aminoácidos essenciais são encontrados, e seu conteúdo é maior do que os de batatas e cenouras. A porcentagem de ácidos graxos insaturados, tais como ácido linoleico e oleico, é 52,7–60,3 % dos ácidos graxos totais, o que mostra uma boa composição de compostos insaturados (WANG et al., 2007). A farinha da raiz da maca também é uma excelente fonte de minerais (DINI et al., 1994). Esta raiz também é conhecida por conter uma variedade de fitoquímicos com elevada capacidade antioxidante (RONDÁN-SANABRIA; FINARDI-FILHO, 2009; SANDOVAL et al., 2002; ZHA et al., 2014), como campesterol, estigmasterol, sitosterol, isotiocianatos de benzilo, catequinas e outros glucosinolatos (CAMPOS et al., 2013; LI; AMMERMANN; QUIRÓS, 2001; ZHENG et al., 2000).

Entre os potenciais benefícios desta raiz destacam-se a capacidade de aliviar o reumatismo, doenças respiratórias, regular a secreção hormonal, estimular o metabolismo, melhorar a memória, antidepressiva, combater a anemia, entre outros (REA, 1992; RUBIO et al., 2007). A presença de alcaloides e esteróis, bem como os seus glucosinolatos e derivados (FAHEY; ZALCMANN; TALALAY, 2001), também pode ser correlacionada com a sua atividade benéfica contra o câncer de próstata. Além disso, a presença de fitosteróis e de outros metabolitos secundários na maca estão relacionados com a sua função de anti-osteoporose (WANG et al., 2007). Glucosinolatos (GLS) são os metabolitos secundários mais importantes na maca (JOHNS, 1981), sendo a maioria deles do tipo aromático (DINI; TENORE; DINI, 2002; FLORES et al., 2003; LI; AMMERMANN; QUIRÓS, 2001).

Os GLS estão presentes em diferentes partes da maca, como por exemplo, sementes, brotos (YÁBAR et al., 2011) e variam em conteúdo de acordo com a idade da planta e cor do hipocótilo (CLÉMENT et al., 2010). A maior quantidade de glucosinolatos na maca são encontrados em hipocótilos frescas, seguido de sementes, brotos, hipocótilos secas e folhas frescas (LI; AMMERMANN; QUIRÓS, 2001). A maca ganhou atenção como um estimulante sexual e da fertilidade feminina, sendo notada internacionalmente, o que levou esta cultura a ser referida como o “*Ginseng* dos Andes” em muitos países ocidentais (LEE et al., 2011; VALENTOVÁ et al., 2006; WANG et al., 2007). Em Uchiyama et al. (2014), foi mostrada a influência da maca nos níveis do hormônio luteinizante (LH) em ratos fêmeas. Foi concluído que o uso deste tubérculo aumenta os níveis desse hormônio no organismo, aumentando assim, a fertilidade dos roedores. Comparando os ecótipos da maca, a maca preta apresentou o maior efeito sobre a produção de espermatozoides em ratos machos (GONZALES et al., 2006).

A maca apresenta-se na natureza em pelo menos oito formas, que se diferenciam entre si através da cor de suas raízes, como, preto, cinza, branco, roxo, amarelo, e as combinações amarelo/roxo, e branco/roxo (GONZALES et al., 2006; REA, 1992). O ecótipo da cor amarela é o mais encontrado na região do Peru, onde essa raiz é muito cultivada (WANG et al., 2007). A parte subterrânea (hipocótilo) da maca é comestível, sendo considerado um alimento básico para os povos indígenas desta zona árida, podendo ser consumidos frescos, ou armazenados para consumo posterior (WANG et al., 2007). O tubérculo dessa planta quando seco é moído em uma farinha fina para a utilização no consumo humano (LEE et al., 2005). Devido a estudos realizados destacando o potencial nutricional e funcional da maca, houve um aumento significativo na sua produção e exportação da farinha da maca seca ou gelatinizada e de extratos alcoólicos (CAMPOS et al., 2013).

Embora o consumo da maca, como suplemento, como farinha ou cápsulas seja difundido, uma busca nas bases de dados da literatura especializada não encontrou trabalhos sobre sua incorporação na alimentação como ingrediente de formulações.

2.2 O yacon

Na medicina popular, as raízes de yacon são consumidas por pessoas que sofrem de diabetes ou de vários distúrbios digestivos ou renais. Estas raízes são ingeridas frescas ou

cozidas e tem sido consideradas um alimento funcional devido as grandes quantidades de frutanos (inulina e frutooligossacarídeos) (CARABIN; FLAMM, 1999; CASTRO et al., 2013; VALENTOVÁ et al., 2006). Já as folhas possuem quantidades elevadas de flavonoides, ácidos fenólicos e triptofano (DELGADO et al., 2012).

A inulina é um frutano linear, um polissacarídeo de reserva vegetal constituída por moléculas de frutose ligadas por ligações $\beta(2 \rightarrow 1)$, com uma unidade de glicose terminal ligado por uma ligação $\alpha(1 \rightarrow 2)$ (GONZALEZ-TOMÁS; COLL-MARQUÉS; COSTELL, 2008; KAYS; NOTTINGHAM, 2007) e está presente em mais de 36 mil espécies de plantas (APOLINÁRIO et al., 2014; FRANCK, 2002; KALYANI NAIR; KHARB; THOMPSON, 2010; MADRIGAL; SANGRONIS, 2007). Os frutooligossacarídeos são fermentados seletivamente por muitas bifidobactérias e lactobacilos, que também são consideradas prebióticas (ARCIA; COSTELL; TÁRREGA, 2011; DE CASTRO et al., 2009; PEDRESCHI et al., 2003; WANG, 2009). Eles também são usados como adoçantes naturais e xaropes para pessoas que sofrem de problemas digestivos (CHARALAMPOPOULOS; RASTALL, 2012).

O tratamento oral com xarope de yacon aumenta o trânsito intestinal e sensação de saciedade em obesos (GENTA et al., 2009). Muitas pesquisas têm sido realizadas com o yacon devido seu efeito antidiabético. Esta raiz pode modular a concentração plasmática de insulina e inibir a gliconeogênese hepática (GENTA et al., 2009). Este fato faz do yacon uma raiz atraente para as pessoas que sofrem com a diabetes e também torna-se um aliado no controle do peso, por sua aplicabilidade como um adoçante de valores calóricos relativamente baixos (OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011). Em Oliveira; Braga; Fernandes, (2013), foi investigado o efeito do extrato aquoso da raiz de yacon sobre a diabetes do tipo 1 em ratos. Foi concluído que esta raiz teve um efeito benéfico sobre o tratamento dessa enfermidade e na ajuda da perda de peso dos ratos. As raízes do yacon também são ricas em compostos fenólicos, principalmente ácidos clorogênicos e outros derivados do ácido cafeico (TAKENAKA et al., 2003; YAN et al., 1999). Sendo assim, o yacon tem sido também bastante estudado em busca de características antioxidantes, o que o torna um composto cada vez mais interessante para a indústria de alimentos.

Diferentemente da maca, que ainda não possui grande aplicação no mercado consumidor de alimentos, o yacon já é bastante conhecido, e seu uso mais difundido na indústria alimentícia. Uma das principais aplicações do yacon na indústria de alimentos é

devido ao seu alto teor de inulina, um adoçante natural que não é absorvido pelo corpo humano (ALMEIDA; SCHMIDT; OLIVEIRA, 2014).

A farinha do yacon pode ser aplicada na produção de pães com propriedades prebióticas (ROLIM et al., 2011) e alimentos suplementados por yacon (através da incorporação da sua farinha em doces, bolos e biscoitos) promovem melhorias no sistema imunológico (VAZ-TOSTES et al., 2014).

2.3 Experimentos com misturas

2.3.1 Variáveis de mistura

De uma forma geral, experimentos com misturas tratam das proporções dos ingredientes de um produto e devem satisfazer duas restrições. Para q componentes, $0 \leq x_i \leq 1$ para $1 \leq i \leq q$ (onde x_i indica a proporção do i -ésimo componente) e $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$. Todas as combinações possíveis dos diferentes componentes constituem um espaço *simplex* de dimensão $q - 1$, sobre o qual uma superfície de resposta pode ser obtida para um determinado parâmetro de interesse. Em experimentos que envolvem a mistura de ingredientes, as características de interesse no produto dependem apenas da proporção dos componentes da mistura e não de seus valores absolutos (CORNELL, 2011). Uma abordagem intuitiva em experimentos de formulação é avaliar as respostas associadas a cada ingrediente separado, a cada par de ingredientes (em proporções iguais), a cada trio de ingredientes (também em proporções iguais); e assim, sucessivamente. Um planejamento experimental deste tipo é chamado de *simplex-centroid* (CORNELL; DENG, 1982; DUTCOSKY et al., 2006). Em outras palavras, no planejamento experimental *simplex-centroid*, a análise de uma mistura de q componentes é feita através de $2^q - 1$ ensaios que correspondem a cada uma das q permutações de substâncias simples $(1,0,0,\dots,0)$; as $\binom{q}{2}$ permutações $(\frac{1}{2},\frac{1}{2},0,\dots,0)$ de misturas binárias; as $\binom{q}{3}$ permutações $(\frac{1}{3},\frac{1}{3},\frac{1}{3},\dots,0)$ de misturas ternárias; assim sucessivamente, até a mistura q -nária $(\frac{1}{q},\frac{1}{q},\frac{1}{q},\dots,\frac{1}{q})$, que é o ponto centroide (CORNELL, 2011).

Obtidos os resultados para os pontos experimentais do planejamento *simplex-centroid* é possível ajustar um polinômio de ordem q que modela a superfície de resposta. Para o caso específico de três componentes, são avaliadas apenas sete misturas distintas,

assim, não há graus de liberdade suficientes para a construção de um modelo cúbico completo (que demanda 10 ensaios distintos) (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2010). Portanto, a análise de regressão fica restrita a complexidade máxima do modelo cúbico especial conforme a Equação (1), onde $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$.

$$y(\mathbf{x}) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

O modelo da Eq. (1) pode ser demasiadamente complexo, mesmo para pequenos valores de q . Assim, é comum a utilização de modelos de ordem inferior cujo resíduo, de acordo com a ANOVA, seja aceitável (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

Muitas vezes pode haver restrições adicionais, de valores mínimos associados à cada componente da mistura. Ou seja, a região experimental não cobre todo o espaço *simplex*, mas apenas um subespaço do mesmo. Nestes casos, os componentes originais são representados através de pseudocomponentes (x'_i) (CORNELL, 2011). Para misturas onde um ou mais componentes possuem limites inferiores (L_i), tal que $L_i \leq x_i \leq 1$, com $i = 1, 2, \dots, q$, a transformação para pseudocomponentes é dada por

$$x'_i = \frac{x_i - L_i}{1 - L} \quad (2)$$

onde $L = \sum_{i=1}^q L_i < 1$.

2.3.2 Variáveis de processo

Outras variáveis que não sejam componentes da mistura, mas que influenciam nas propriedades da mesma, podem ser consideradas variáveis de processo (*e.g.* temperatura de cozimento, tempo de cozimento, quantidade de água adicionada, etc.) (CINI et al., 2013). Para diferenciar as variáveis de processo daquelas de mistura é comum representá-las na forma codificada como z_i , com $0 \leq i \leq r$, sendo r o número de variáveis de processo. Se a variável de processo for testada em dois níveis é possível ajustar um modelo de regressão linear, caso sejam testados três níveis, adota-se uma modelo quadrático conforme a Equação (3), onde $\mathbf{z} = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_r)$ (MONTGOMERY, 2013).

$$w(\mathbf{z}) = \alpha_0 + \alpha_1 z_1 + \alpha_{11} z_1^2 \quad (3)$$

Assim como no modelo das variáveis de mistura, o modelo da variável de processo, descrito na Eq. (3), pode ser truncado para um modelo de ordem inferior que ainda tenha boa representatividade dos efeitos (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2010).

Como as variáveis de mistura são independentes das variáveis de processo, pode-se escrever

$$\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = y(\mathbf{x})w(\mathbf{z}) \quad (4)$$

onde $\eta(\mathbf{x}, \mathbf{z})$ representa o modelo de regressão em termos das variáveis de mistura e de processo (CORNELL, 2011).

O planejamento de misturas é aplicado, muitas vezes, no desenvolvimento de novos alimentos, ou de reformulações de alimentos existentes, com propriedades funcionais e/ou benefícios à saúde. Por exemplo, através da aplicação de planejamentos de mistura foi possível comprovar que adição de proporções específicas de inulina, oligofruktoses e goma acácia na formulação de barras de cereais não altera negativamente suas características sensoriais, ao mesmo tempo conferindo propriedades prebióticas (DUTCOSKY et al., 2006). Em outra aplicação também foi demonstrado que a substituição de lipídeos pela inulina em sobremesas lácteas também apresenta benefícios à saúde, bem como melhores características sensoriais, dependendo da proporção substituída (ARCIA; COSTELL; TÁRREGA, 2011).

2.4 Análise sensorial

A análise sensorial é definida como um método científico usado para evocar, medir, analisar e interpretar as reações do público consumidor às características dos alimentos, conforme percebidas pelos sentidos da visão, olfato, sabor, tato e audição. Os métodos afetivos, ou subjetivos, mensuram a avaliação da aceitabilidade de um produto por parte da população. Essas metodologias podem ser aplicadas na avaliação de um dado produto de maneira independente, ou comparativa a outros produtos. Métodos afetivos podem ser classificados como quantitativos ou qualitativos, dependendo da forma com que a avaliação

é feita. Os métodos quantitativos permitem que uma maior gama de técnicas estatísticas seja aplicada na análise dos resultados. A análise sensorial é uma componente crucial no desenvolvimento de novos alimentos e/ou novas tecnologias de alimentos, seja no âmbito acadêmico ou industrial. Seus resultados pautam diretamente o sucesso comercial de qualquer produto alimentício no mercado (DUTCOSKY, 2013).

Dentre as aplicações mais comuns da análise sensorial destacam-se: desenvolvimento de novos produtos, melhoramento de produtos existentes, avaliação de processos de produção e controle de qualidade, avaliação da estabilidade de armazenamento (tempo de prateleira), bem como estudos sobre a própria aceitabilidade de uma população consumidora e a sua correlação com medidas instrumentais (SIMPSON; PIGGOT; WILLIAMS, 1995).

2.4.1 Teste de aceitação usando escala hedônica

Testes de aceitação são uma classe de testes quantitativos, sendo que estes avaliam a resposta de consumidores a um conjunto de perguntas, no intuito de determinar a aceitabilidade de um produto e identificar fatores sensoriais determinantes. A escala hedônica de nove pontos é amplamente utilizada em testes de aceitação com adultos. Sua escala de avaliação varia desde o “desgostei muitíssimo” (1) até o “gostei muitíssimo” (9) (DUTCOSKY, 2013).

2.4.2 Perfil livre

O perfil livre é uma técnica sensorial descritiva proposta por Williams & Langron, que foi desenvolvida baseada no princípio que as pessoas percebem as mesmas características mesmo que expressem de forma diferente (DE OLIVEIRA; BENASSI, 2010). Os julgadores têm a liberdade de utilizar termos descritivos na quantidade e como desejarem (WILLIAMS; LANGRON, 1984). Por esse método há uma diminuição no tempo de análise por não haver necessidade de consenso e eliminação de treinamentos e seleção (DE OLIVEIRA; BENASSI, 2010).

Uma das vantagens do perfil livre, é que este método permite através da diferenciação de atributos entre os julgadores, a verificação das características sensoriais importantes para

a maioria dos consumidores, além disso, após o estabelecimento de atributos por parte dos julgadores, eles podem retirar ou adicionar termos da lista originalmente desenvolvida durante o processo de avaliação dos produtos (MARCELLINI; DELIZA; BOLINI, 2006).

O perfil livre vem sendo utilizado, recentemente, no estudo dos fatores que levam à aprovação sensorial de bolos sem glúten (MORAIS et al., 2014), na otimização de formulações para biscoitos (SANTOS et al., 2015), no estudo dos efeitos que diferentes variedades de lúpulo sobre o sabor e aroma da cerveja (DONALDSON; BAMFORTH; HEYMANN, 2012), bem como no estudo das interações no pareamento de alimentos (TRAYNOR et al., 2013).

2.5 Análise multivariada dos dados

2.5.1 Segmentação dos consumidores

Diferenças individuais dentro do universo de julgadores que participaram do teste de aceitação podem ter grande influência na análise dos resultados obtidos. Assim, uma análise mais fiel deve levar em conta a distribuição de grupos de julgadores “semelhantes”. As similaridades da análise sensorial dentro de um grupo podem ser as mais variadas, como sexo, idade, diferenças de humor, etc. (DUTCOSKY, 2013). Na análise de segmentação, os grupos raramente estão bem definidos e com fronteiras claramente delineadas. Muitas vezes, faz-se necessário lançar mão de hipóteses da presença de dois ou mais grupos, com algum critério de agrupamento utilizado, e verificar a validade estatística dos resultados obtidos. A análise de componentes principais (ACP) pode ser usada na segmentação em si, porém indexar os grupos identificados sobre os eixos principais da ACP pode ser útil na corroboração e justificativa da escolha dos agrupamentos. Nesse contexto, é comum a utilização prévia do algoritmo *k-means* para distribuir as amostras de acordo com um número de grupos estabelecidos *a priori*. Neste método, o algoritmo converge para uma solução onde as amostras são agrupadas de forma a minimizar a norma euclidiana da amostra em relação ao centroide do seu grupo. Conforme já mencionado, os agrupamentos obtidos pelo *k-means* são comumente representados sobre os eixos principais da ACP (NAES; BROCKHOFF; TOMIC, 2010).

As técnicas de agrupamento, ou segmentação, de consumidores para melhor visualizar diferentes perfis de avaliação de produtos são largamente empregadas na análise de dados obtidos na análise sensorial, particularmente em testes de aceitação (WESTAD; HERSLETH; LEA, 2004).

2.5.2 Análise de Componentes Principais

A ideia da Análise de Componentes Principais (ACP) é reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixos mais conveniente para a análise dos dados. As variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n componentes principais, no qual a principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 apresenta maior variância estatística que a componente principal 2, que por sua vez apresenta maior variância estatística que a componente principal 3 e assim por diante (NAES; BROCKHOFF; TOMIC, 2010).

Este método permite a diminuição da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras pois, embora a informação estatística presente nas n variáveis originais seja a mesma dos componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais que 90 % desta informação (MOITA NETO; MOITA, 1998). A ACP pode ser utilizada em trabalhos de caracterização e comparação de diferentes produtos alimentares de uma mesma família (YI et al., 2015).

2.5.3 Otimização

Os resultados da análise sensorial podem ser utilizados para obter superfícies de resposta para prever as características sensoriais do produto em função das variáveis de mistura e de processo envolvidas. Nessas superfícies de resposta modeladas podem ser identificados pontos que representam formulações ótimas de acordo com a aceitabilidade do produto.

Um método de otimização de uso bastante difundido é o método *simplex* sequencial, neste método, o *simplex* é um poliedro com faces planares que se desloca sobre a superfície de resposta, evitando regiões de resposta insatisfatória. Para uma superfície de resposta com

n variáveis independentes, o *simplex* é um poliedro de $n + 1$ vértices. Trata-se de um processo recursivo, onde, ao se aproximar de uma região ótima, o *simplex* converge sobre o ponto ótimo (BONA et al., 2000). O método *simplex* sequencial pode ser empregado na busca de parâmetros relevantes em processos, como a desidratação osmótica de uma maçã (BORSATO et al., 2010), na salga de queijo prato (BONA et al., 2005), ou na otimização de misturas ternárias de proteínas (CASTRO et al., 2003).

2.5.4 Análise de componentes comuns e pesos específicos

Existem diferentes metodologias de análise multitabelas para o estudo de conjuntos de matrizes, com diferentes variáveis, sobre as mesmas amostras. A Análise de Procrustes Generalizada (GPA) é bastante utilizada para avaliar os dados gerados pela análise de perfil livre (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995). Uma alternativa à GPA é a análise de componentes comuns e pesos específicos (CCSWA - Common Component and Specific Weight Analysis) (JOUAN-RIMBAUD BOUVERESSE et al., 2011; QANNARI; COURCOUX; VIGNEAU, 2001; QANNARI et al., 2000), a qual permite a atribuição de pesos diferentes aos julgadores em cada dimensão, permitindo uma análise diferenciada da importância dos julgadores (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995). O objetivo da CCSWA é identificar, dentro de um conjunto de matrizes sobre as mesmas amostras (linhas das matrizes) porém com diferentes variáveis (colunas das matrizes), um espaço comum de representação, para todas as matrizes, com diferentes contribuições (pesos, ou saliências) de cada bloco. Com isso não é apenas possível indicar as componentes comuns mais expressivas na variabilidade dos dados, como também é possível associar esta dimensão à alguma das variáveis presentes nos blocos.

A técnica CCSWA é aplicada em diferentes áreas, como no estudo de componentes indesejados na constituição das garrafas PET (KASSOUF et al., 2013). Bem como, na área de alimentos (MAZEROLLES et al., 2006) no estudos sobre adstringência (SIMOES COSTA et al., 2015) e aroma de vinhos (ŠUKLJE et al., 2016). E, mais especificamente para análise dos dados do perfil livre (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995; QANNARI et al., 2000).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Foram utilizadas as farinhas de yacon e de maca doadas pela empresa Jasmine Alimentos. Os demais ingredientes necessários para o preparo dos bolos foram adquiridos no varejo da cidade de Campo Mourão. Os ingredientes utilizados, bem como suas quantidades para a confecção de cada bolo, encontram-se na Tabela 1 (MOSCATTO et al., 2006).

Tabela 1: Formulação padrão para bolo de chocolate.

Ingredientes	Quantidade
Ovos	4 unidades*
Margarina light	60 g
Açúcar refinado	100 g
Achocolatado em pó	40 g
Farinha**	200 g
Fermento	10 g
Água**	120–180 mL

*Cada ovo tem, aproximadamente, 50 g.

**As proporções específicas das farinhas de trigo, yacon e maca, bem como a quantidade exata de água, encontram-se na Tabela 2.

A margarina *light* (30 % de lipídeos) e a farinha de trigo utilizadas são da marca Coamo, o açúcar refinado da marca União, o achocolatado em pó Nescau e o fermento químico Pó Royal.

A quantidade de ingredientes por bolo foi planejada para atender as necessidades das análises experimentais às quais cada bolo foi submetido. Ou seja, cada bolo preparado deve ser suficiente para as 56 análises sensoriais de aceitação, bem como as análises das características físico-químicas e microbiológicas.

3.2 Métodos

3.2.1 Planejamento experimental

Neste estudo foram variadas as proporções das três farinhas ($q = 3$) na formulação de bolos de chocolate, assim são necessários $2^q - 1 = 7$ ensaios distintos definidos de acordo com um planejamento *simplex-centroid*. Deste ponto em diante, será adotado que as

proporções da farinha de trigo, yacon e maca serão representadas como x_1 , x_2 e x_3 , respectivamente.

Ensaio preliminares mostraram ser necessário manter uma proporção mínima de farinha de trigo para viabilizar a produção do bolo, pois uma mistura com farinha de trigo em proporção inferior a 35 % não produz uma massa viável para o experimento. Isto se deve ao fato de as proteínas do glúten, presentes na farinha de trigo, serem responsáveis pela formação da rede visco-elástica da massa (BUSHUK, 1985). A glutenina é responsável pela característica de força e de elasticidade, enquanto a gliadina confere a viscosidade e extensibilidade da massa (UTHAYAKUMARAN et al., 2000). O complexo glúten formado confere as massas importantes propriedades reológicas (ARENDRT; RENZETTI; DAL BELLO, 2009). Para incorporar essa restrição de quantidade mínima de farinha de trigo ($L_1 = 0,35$, $L_2 = 0$ e $L_3 = 0$) e permitir a utilização do planejamento *simplex-centroid*, os componentes originais da mistura foram descritos em termos de pseudocomponentes (CALADO; MONTGOMERY, 2003; CORNELL, 2011) conforme a Equação (2).

$$x'_1 = \frac{x_1 - 0,35}{0,65} \quad x'_2 = \frac{x_2}{0,65} \quad x'_3 = \frac{x_3}{0,65} \quad (5)$$

A Figura 1 mostra os pontos experimentais, do planejamento *simplex-centroid*, com as restrições aplicadas conforme as equações apresentadas em (5).

A quantidade de água adicionada à mistura, considerada uma variável de processo (CORNELL; DENG, 1982; CORNELL, 2011), foi avaliada em três níveis (120 mL, 150 mL e 180 mL), sendo os valores codificados de acordo com a Equação (6), onde V_{H_2O} é o volume de água (em mL) e z_1 representa a variável de processo. A quantidade de água é um importante parâmetro para diversos efeitos, tais como dissolução total de todos os componentes da mistura; a viscosidade da massa, necessária ao seu pré-processamento; a capacidade do forno de remover umidade enquanto assa o bolo; e a umidade final do bolo produzido, relacionada às suas características sensoriais (CAUVAIN; YOUNG, 2008).

A vantagem da codificação é que os modelos obtidos possuem domínios experimentais simples e similares, independentemente das ordens de grandeza inerentes às medidas que o código representa (FERREIRA, 2015).

Como exposto na Tabela 2, foram produzidos 21 bolos seguindo um planejamento *simplex-centroid* com uma variável de processo em três níveis (CORNELL, 2011). Cada formulação de bolo foi referenciada através de um código que indica a presença das farinhas de trigo (T), yacon (Y) e maca (M). Um sinal “+” foi posto após a farinha de maior proporção e, entre parênteses, está indicado o nível da variável de processo z_1 .

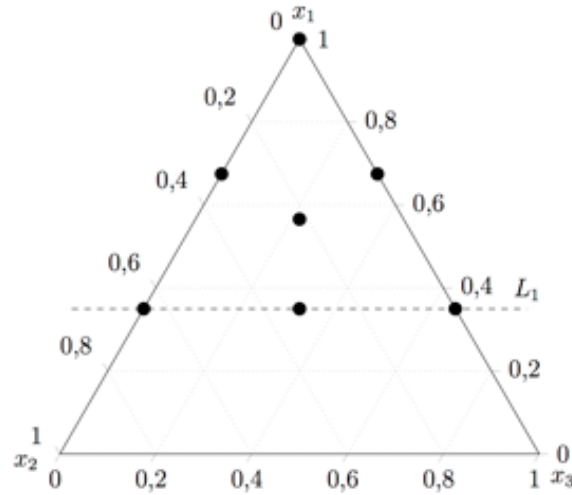


Figura 1: Planejamento *simplex-centroid* com restrição de mínimo para a farinha de trigo.

$$z_1 = \frac{V_{H_2O} - 150}{30} \quad (6)$$

Para analisar os resultados do planejamento proposto foi feita uma regressão linear para a combinação dos modelos das Equações (1) e (3) conforme descrito na Equação (4),

$$\begin{aligned} \eta(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = & \gamma_1^0 x_1 + \gamma_2^0 x_2 + \gamma_3^0 x_3 + \gamma_{12}^0 x_1 x_2 + \gamma_{13}^0 x_1 x_3 + \gamma_{23}^0 x_2 x_3 + \gamma_{123}^0 x_1 x_2 x_3 \\ & + \gamma_1^1 x_1 z_1 + \gamma_2^1 x_2 z_1 + \gamma_3^1 x_3 z_1 + \gamma_{12}^1 x_1 x_2 z_1 + \gamma_{13}^1 x_1 x_3 z_1 \\ & + \gamma_{23}^1 x_2 x_3 z_1 + \gamma_{123}^1 x_1 x_2 x_3 z_1 + \gamma_1^{11} x_1 z_1^2 + \gamma_2^{11} x_2 z_1^2 + \gamma_3^{11} x_3 z_1^2 \\ & + \gamma_{12}^{11} x_1 x_2 z_1^2 + \gamma_{13}^{11} x_1 x_3 z_1^2 + \gamma_{23}^{11} x_2 x_3 z_1^2 + \gamma_{123}^{11} x_1 x_2 x_3 z_1^2 \end{aligned} \quad (7)$$

onde os coeficientes $\gamma_i^j = \beta_i \alpha_j$ representam os parâmetros de mistura e de processo combinados. Cada efeito γ_i^j representa a interação das variáveis de mistura e de processo sobre a variável dependente η . Por exemplo, a influência combinada das farinhas e da quantidade de água é dada por $\gamma_{123}^1 = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \alpha_1$. Esse efeito pode indicar se o efeito das variáveis de mistura e processo são sinérgicos ($\gamma_{123}^1 > 0$), independentes ($\gamma_{123}^1 \approx 0$) ou

antagônicos ($\gamma_{123}^1 < 0$). O termo de mais alta ordem da Eq. (7), $\gamma_{123}^{11}x_1x_2x_3z_1^2$, que representa o efeito da interação das três variáveis de mistura com a variável de processo quadrática, foi transferido para o resíduo do modelo. Isto foi feito pois ele, comumente, não é significativo e sua retirada possibilita uma análise da significância estatística dos demais efeitos (MONTGOMERY, 2013).

Tabela 2: Planejamento *simplex-centroid* repetido para cada nível da variável de processo.

Código	Variáveis de Mistura						Variável de Processo	
	Componentes originais			Pseudocomponentes			Original	Codificada
	Trigo	Yacon	Maca	x_1	x_2	x_3	Água (mL)	z_1
T(-)	100 %	0 %	0 %	1	0	0	120	-1
TY+(-)	35 %	65 %	0 %	0	1	0	120	-1
TM+(-)	35 %	0 %	65 %	0	0	1	120	-1
T+Y(-)	67,5 %	32,5 %	0 %	0,5	0,5	0	120	-1
T+M(-)	67,5 %	0 %	32,5 %	0,5	0	0,5	120	-1
TYM(-)	35 %	32,5 %	32,5 %	0	0,5	0,5	120	-1
T+YM(-)	56,6 %	21,7 %	21,7 %	0,33	0,33	0,33	120	-1
T(0)	100 %	0 %	0 %	1	0	0	150	0
TY+(0)	35 %	65 %	0 %	0	1	0	150	0
TM+(0)	35 %	0 %	65 %	0	0	1	150	0
T+Y(0)	67,5 %	32,5 %	0 %	0,5	0,5	0	150	0
T+M(0)	67,5 %	0 %	32,5 %	0,5	0	0,5	150	0
TYM(0)	35 %	32,5 %	32,5 %	0	0,5	0,5	150	0
T+YM(0)	56,6	21,7 %	21,7 %	0,33	0,33	0,33	150	0
T(+)	100 %	0 %	0 %	1	0	0	180	1
TY+(+)	35 %	65 %	0 %	0	1	0	180	1
TM+(+)	35 %	0 %	65 %	0	0	1	180	1
T+Y(+)	67,5 %	32,5 %	0 %	0,5	0,5	0	180	1
T+M(+)	67,5 %	0 %	32,5 %	0,5	0	0,5	180	1
TYM(+)	35 %	32,5 %	32,5 %	0	0,5	0,5	180	1
T+YM(+)	56,6 %	21,7 %	21,7 %	0,33	0,33	0,33	180	1

3.2.2 Preparação dos bolos

A preparação de cada um dos 21 bolos produzidos foi feita seguindo o fluxograma da Figura 2 sendo utilizadas formas redondas (20 cm de diâmetro) com furo central (Rochedo). Foi utilizada uma batedeira Philips Walita Daily na preparação, sendo os bolos assados em um forno Dako de quatro bocas.

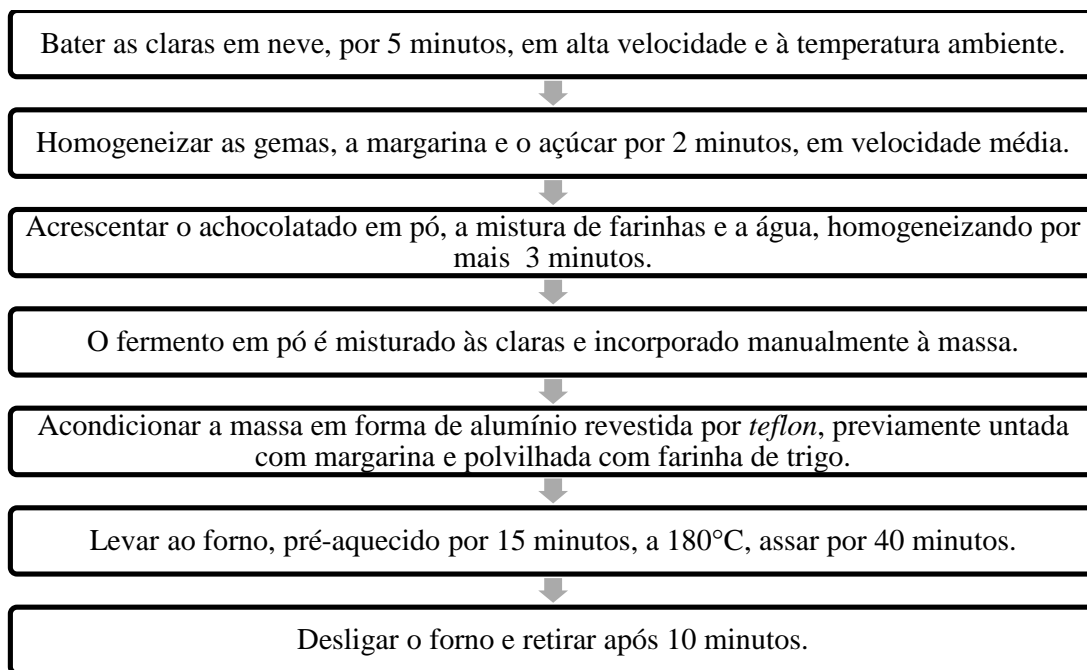


Figura 2: Fluxograma de preparo dos bolos.

3.3 Avaliação das formulações

3.3.1 Teste de aceitação

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UTFPR sob a inscrição CAAE 42532915.8.0000.5547, com o número de comprovante 015238/2015, de forma a possibilitar os testes com seres humanos. Os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial, sala C103, da UTFPR de Campo Mourão.

O grupo de julgadores que se dispuseram a ajudar nesta pesquisa foram selecionados através de um questionário. Neste eles responderam se eram fumantes ou não, se eram portadores de doença grave (ambas as condições os excluía da participação nos testes), bem como sua idade, gênero e hábitos alimentares, em especial, a frequência de consumo de alimentos integrais.

No teste de aceitação, foi utilizada a escala hedônica de 9 pontos (sendo 9 gostei muitíssimo e 1 desgostei muitíssimo) (DUTCOSKY, 2013) para quantificar os atributos textura, sabor, cor e impressão geral dos bolos produzidos. Um total de 56 julgadores participaram deste teste, esta quantidade se justifica pelo grande número de formulações a

serem testadas (DUTCOSKY et al., 2006; FUCHS et al., 2013). Os julgadores participantes foram pessoas do Campus Campo Mourão da UTFPR, recrutados ao acaso, com idade entre 18 e 40 anos, de ambos os sexos. As amostras foram servidas em copos descartáveis, codificados com três dígitos aleatórios, contendo pequenos pedaços de bolo de aproximadamente 2 g. As amostras foram apresentadas de forma monádica, aleatória e uniformemente distribuída, aos julgadores, juntamente com uma ficha individual para preenchimento (Figura 3). Não mais do que três amostras eram testadas por seção. Foi solicitado aos julgadores que expressassem o quanto gostaram ou desgostaram dos produtos, nos critérios apresentados na ficha. Foi fornecido água em copos descartáveis para que os julgadores limpem o palato a cada nova amostra testada.

Nome: _____	Data: ___/___
Avalie a amostra _____ de acordo com os critérios abaixo. Sua avaliação deve seguir a escala:	
1 - Desgostei muitíssimo	
2 - Desgostei muito	
3 - Desgostei regularmente	
4 - Desgostei ligeiramente	
5 - Indiferente	
6 - Gostei ligeiramente	
7 - Gostei regularmente	
8 - Gostei muito	
9 - Gostei muitíssimo	
	Textura _____
	Sabor _____
	Cor _____
	Impressão geral _____
Comentários: _____	

Figura 3: Ficha da avaliação sensorial usando escala hedônica de nove pontos.

3.3.2 Determinação do volume específico

O volume específico é uma medida de quanto espaço (volume) é necessário para acomodar uma quantidade de matéria (massa) sendo seu valor comumente dado em mL.g^{-1} , ou seja, o inverso da massa específica.

Para a determinação do volume específico foram cortados e pesados 12 pedaços cilíndricos de 36 mm de diâmetro de cada bolo formulado. Em equipamento apropriado, dotado de recipiente de volume conhecido e contendo sementes de painço, foi determinado

o volume ocupado por cada pedaço de bolo neste recipiente, através do deslocamento das sementes para uma proveta graduada. O volume específico médio, expresso em $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, foi obtido pela razão entre o volume e a massa de cada um dos 12 pedaços de bolo, de cada formulação (MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; HAULY, 2004). As medidas de volume específico foram feitas em triplicata.

3.3.3 Determinação de cor

Colorímetros são aparelhos capazes de descrever as cores de forma quantitativa. Para tanto, as cores são separadas em componentes em um espaço de cores. Existem diferentes espaços de cores para representações digitais, como o RGB, o YCbCr, entre outros. Cada um deles oferece vantagens e desvantagens em determinadas aplicações (ZARIT; SUPER; QUEK, 1999).

Nos estudos de colorimetria de alimentos, é comum a utilização do espaço CIELAB, expressado pelos parâmetros L^* , a^* e b^* . A grande vantagem da utilização do espaço de cores CIELAB está no fato desta representação incluir toda a gama de cores perceptíveis ao olho humano, bem como ser uma representação independente ao dispositivo de reprodução das cores (sendo muito usado como intermediário na conversão de espaços de cores). O parâmetro L^* representa a luminosidade, ou o brilho, delimitado por $L^* = 0$ (preto) e $L^* = 100$ (branco). Os canais de cores, a^* ($-100 \leq a^* \leq 100$) e b^* ($-100 \leq b^* \leq 100$), representam um cinza neutro para $a^* = b^* = 0$. O parâmetro a^* representa as cores verde e vermelho, verde para $a^* < 0$ e vermelho para $a^* > 0$. Enquanto o parâmetro b^* representa as cores azul e amarelo, azul para $b^* < 0$ e amarelo para $b^* > 0$ (HOFFMANN, 2013), conforme indicado na Figura 4.

O espaço CIELAB também pode ser representado através de coordenadas cilíndricas, onde a representação cartesiana de a^* e b^* é substituída por uma representação polar conhecida como *chroma* C^* e uma tonalidade cromática *hue* H^* , definidas respectivamente como ficando a luminosidade L^* inalterada (HOFFMANN, 2013; OLIVEIRA et al., 2003).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (8)$$

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (9)$$

A croma é a quantidade total de cor (a^* e b^*) presente, enquanto a tonalidade cromática indica a proporção entre a^* e b^* (com sinal obtido a partir dos quadrantes).

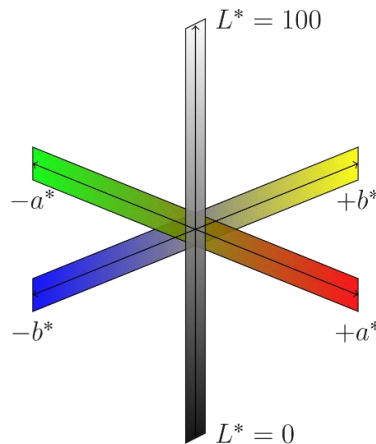


Figura 4: Espaço de cores CIELAB, em coordenadas cartesianas (Adaptado de: VIEIRA, 2014).

No intuito de comparar quantitativamente as diferenças de cor e luminosidade define-se a variação total de cor ΔE como

$$\Delta E = \sqrt{(L_{pad}^* - L_i^*)^2 + (a_{pad}^* - a_i^*)^2 + (b_{pad}^* - b_i^*)^2} \quad (10)$$

onde o índice *pad* indica o valor padrão do bolo com 100 % de farinha de trigo.

A análise da cor do bolo de chocolate foi realizada através do colorímetro MiniScan EZ da HunterLab®, sendo a cor expressa em termos dos parâmetros L^* , a^* e b^* , do espaço de cores CIELab. Foram realizadas cinco medidas para cada amostra.

3.3.4 Análise do perfil de textura

A análise do perfil de textura (TPA, do inglês *Texture Profile Analysis*) é uma técnica de dupla compressão de uso disseminado no estudo quantitativo da textura dos alimentos. Nesta técnica, amostras de alimentos são comprimidas duas vezes, em um curto intervalo de tempo, analogamente ao processo de mastigação, sendo obtidos os parâmetros de textura. Uma das grandes vantagens da TPA é que através de um único ensaio podem ser averiguados

diversos parâmetros de textura. Porém, cabe aos pesquisadores a decisão de quais parâmetros são aplicáveis às particularidades de cada estudo.

A Figura 5 representa graficamente um ensaio TPA utilizando um texturômetro. Através da análise desta curva de textura é possível obter os parâmetros (TEXTURE TECHNOLOGIES, 2014) descritos na Tabela 3.

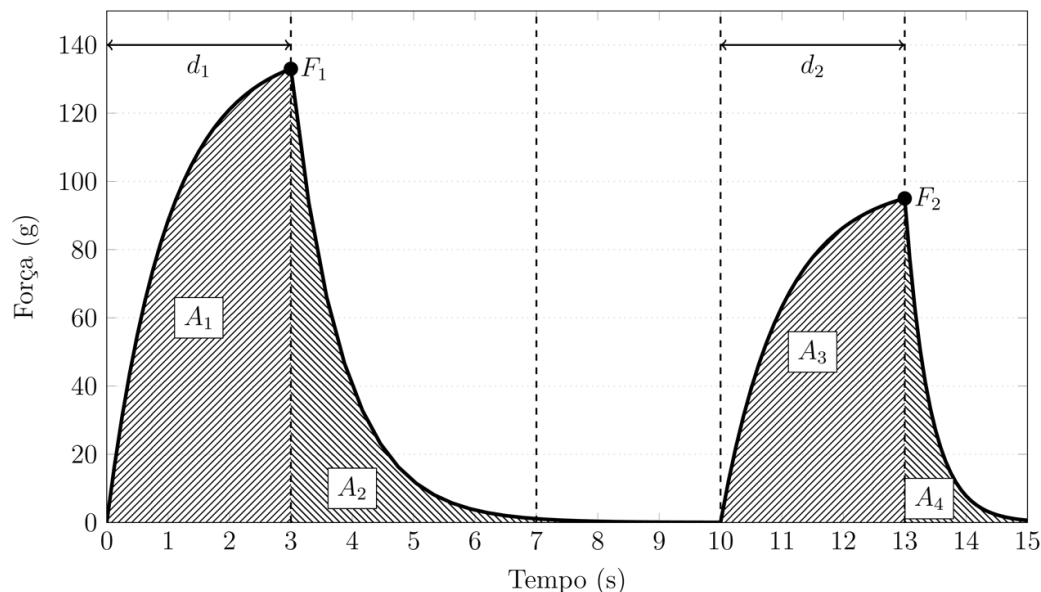


Figura 5: Curva característica de um ensaio de análise de perfil de textura (TPA).

Cada bolo, sem a crosta, foi cortado em pedaços cilíndricos de 36 mm de diâmetro utilizando-se um cortador de aço inoxidável. Os pedaços de bolo foram submetidos a um ciclo duplo de compressão em Texturômetro TA TX/Express Enhanced (Texture Technologies Corp., Stable Micro Systems, NY) sendo que 30 % da altura original do bolo foi comprimida por um *probe* cilíndrico de 36 mm de diâmetro tipo P/36R, a uma velocidade de 2 mm/s. Os ensaios com o texturômetro foram repetidos nove vezes para cada amostra.

Foram mensurados os parâmetros: dureza, fraturabilidade, adesividade, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade, coesividade e resiliência (TEXTURE TECHNOLOGIES, 2014). Os valores de cada parâmetro foram obtidos diretamente do *software* Exponent Lite Express.

Muito embora a ferramenta de análise ofereça todos os parâmetros, nem todos são pertinentes à análise de um bolo de chocolate. Os parâmetros de fraturabilidade e gomosidade não são aplicáveis para este tipo de alimento. A adesividade também se mostrou

extremamente baixa (conforme o esperado) e pode ser desprezada. Desta maneira, apenas os parâmetros de dureza, elasticidade, mastigabilidade, coesividade e resiliência serão utilizados na caracterização da textura dos bolos produzidos.

Tabela 3: Parâmetros avaliados em uma análise do perfil de textura (TPA).

Parâmetro	Significado	Definição
Dureza	Máxima força da primeira compressão	Valor no ponto F_1
Fraturabilidade	A força necessária para fraturar um produto (apenas quando este sofre fratura)	Valor do ponto F_1
Coesividade	Mede a resistência à segunda compressão, comparada à primeira.	$\frac{A_3+A_4}{A_1+A_2}$, ou aproximadamente $\frac{A_3}{A_1}$
Elasticidade	Mostra o quanto da altura original um produto comprimido é capaz de expandir	$\frac{d_2}{d_1}$
Gomosidade	Parâmetro secundário da TPA, definido apenas para produtos semissólidos	(dureza) \times (coesividade)
Mastigabilidade	Parâmetro secundário da TPA, definido apenas para produtos sólidos	(gomosidade) \times (elasticidade)
Resiliência	Medida do “esforço” do produto para retomar sua altura original	$\frac{A_2}{A_1}$
Adesividade	Alguns produtos possuem propriedades adesivas, tracionando o <i>probe</i> após a compressão	Trabalho negativo, omitido na Figura 5.

3.3.5 Análise microbiológica

De acordo com a Instrução Normativa nº 62 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2003), dentro dos parâmetros da Resolução RDC nº 12 (ANVISA, 2000), foram realizadas as análises de pesquisa de Coliformes a 45 °C; *Salmonella sp.* e de *Estafilococos coagulase-positiva*, previamente aos testes sensoriais, no intuito de averiguar o cumprimento das condições sanitárias cabíveis ao preparo de alimentos para consumo humano.

3.3.6 Perfil Livre

As formulações utilizadas no perfil livre foram definidas após a otimização da mistura para o bolo com base na aceitabilidade geral. As amostras foram servidas à temperatura ambiente, em porções de, aproximadamente, 2 g em copos plásticos codificados com três dígitos. A ordem de apresentação foi aleatória. Os testes foram realizados em cabines individuais, no Laboratório de Análise Sensorial da UTFPR de Campo Mourão.

Inicialmente foi realizada uma pré-seleção com 20 julgadores, consumidores de alimentos integrais, que não apresentam doença celíaca e que apresentaram interesse e disponibilidade de tempo no período da realização da análise. Os julgadores são alunos e servidores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná com idades entre 18 e 40 anos.

Os julgadores foram previamente selecionados através do teste triangular (DUTCOSKY, 2013) em duas sessões, em dias consecutivos, utilizando três das formulações otimizadas, duas iguais e uma diferente, nos quais era pedido ao julgador que apontasse a amostra diferente em cada caso. O critério utilizado para seleção de julgadores foi o mínimo de 75 % de acertos no total de testes realizados (DE OLIVEIRA; BENASSI, 2010). Por fim, doze (12) julgadores foram selecionados nesta etapa.

Para o levantamento de atributos, as amostras das receitas otimizadas e de controle foram servidas aos pares, de maneira que os julgadores pudessem analisá-las com relação às semelhanças e diferenças nas características de aparência, sabor, odor e textura. Essa comparação entre as amostras no levantamento de atributos, permite ao julgador identificar de forma mais eficientes os atributos de maior importância nos produtos a serem analisados. Após as sessões de levantamento de atributos, a líder discutiu com os julgadores, individualmente, o significado de cada termo usado por eles. Com as listas de atributos de cada julgador, foram elaboradas as fichas de intensidade e, também foi feita, uma lista de definição de atributos que os julgadores relataram à líder. Utilizou-se neste trabalho escalas não estruturadas de 9 cm.

Foi empregada uma sessão para testar as fichas de análise sensorial, já simulando o teste descritivo com os bolos. Nessa sessão, quando necessário os julgadores alteraram suas fichas, inserindo ou excluindo atributos. Por fim, em outras três sessões, em dias alternados, os bolos foram preparados de manhã para serem servidos no período da tarde, onde foi feita a avaliação dos mesmos, as amostras foram servidas uma por vez, de forma aleatorizada e

balanceada. Cada amostra foi apresentada ao julgador em um total de três repetições (DUTCOSKY, 2013).

3.4 Análise multivariada dos dados

3.4.1 Segmentação dos julgadores

Os julgadores foram segmentados de acordo com a nota para a aceitabilidade geral usando o algoritmo do *k-means*, a quantidade de grupos foi definida de acordo com os critérios de Calinski e Harabasz (COWGILL; HARVEY; WATSON, 1999), Davies-Bouldin (DAVIES; BOULDIN, 1979) e *silhouette* (ROUSSEEUW, 1987). A existência dos grupos foi validada através da MANOVA, teste de média para as notas dos grupos nas diferentes formulações e gráfico dos membros de cada grupo nas primeiras componentes principais da ACP.

Após a segmentação, a nota média de cada grupo foi ajustada ao modelo proposto na Equação (7).

3.4.2 Otimização simplex sequencial com restrições

Para a otimização foi empregado o algoritmo simplex sequencial adaptado para respeitar a restrição de mistura ($\sum x_i = 1$) (CASTRO et al., 2003). O processo de otimização *simplex* sequencial é feito através de uma versão do algoritmo de Nelder-Mead (BONA et al., 2000; GAO; HAN, 2012). Neste, a otimização em n dimensões (variáveis independentes) é feita através de um poliedro com $n + 1$ vértices. O objetivo é encontrar um conjunto de vértices que represente um ponto ótimo da superfície de resposta.

No algoritmo Nelder-Mead há quatro operações possíveis: reflexão, expansão, contração e encolhimento, cada um definido originalmente por um escalar, de acordo com a versão do método utilizada. Uma iteração completa do algoritmo Nelder-Mead consiste de seis passos: ordenação, reflexão, expansão, contração externa, contração interna e encolhimento. Uma explicação detalhada do método pode ser encontrada em Bona et al., (2000) e Gao; Han, (2012).

3.4.3. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) é um método bastante versátil que pode ser utilizado em quase todos os tipos de dados tabelados de forma a obter uma visão geral. Esse método é baseado na ideia de encontrar as dimensões mais relevantes em termos da variabilidade, chamadas de componentes principais (CP). Os resultados principais são comumente apresentados num gráfico de escores, que descreve a relação entre as amostras e os carregamentos do gráfico, o que descreve as relações entre as variáveis originais (NAES; BROCKHOFF; TOMIC, 2010).

O escore de cada formulação de bolo, junto aos carregamentos de cada variável estudada, podem ser combinadas em um gráfico *biplot* sobre as componentes principais obtidas através da ACP (WESTAD; HERSLETH; LEA, 2004). Dessa forma, é possível identificar as formulações que levam à uma melhor aceitação para cada grupo. É possível também identificar quais parâmetros são mais correlacionados à uma melhor ou pior aceitação, ou quais são praticamente desprezíveis.

3.4.4 Análise de componentes comuns e pesos específicos

A avaliação de cada julgador para as amostras avaliadas no perfil livre foi tabulada como uma matriz (bloco) \mathbf{X}_i , com $1 \leq i \leq 12$, de dimensão $n \times m$, onde n é o número de amostras avaliadas e m é o número de atributos escolhidos pelo julgador. Cada matriz \mathbf{X}_i foi centrada na média produzindo uma matriz \mathbf{X}_{iC} , que por sua vez foi dividida por sua norma de Frobenius (para matrizes reais: $\|\mathbf{X}\|_F = \text{traço}(\sqrt{\mathbf{X}^T \mathbf{X}})$), para normalização, resultando em uma matriz escalada \mathbf{X}_{iS} . Assim, com os $p = 12$ blocos originais centrados e normalizados, o próprio valor p corresponde à variância total dos dados (JOUAN-RIMBAUD BOUVERESSE et al., 2011).

Um procedimento iterativo (JOUAN-RIMBAUD BOUVERESSE et al., 2011) pode ser iniciado, tomando um parâmetro que corresponde à quantidade de variação não explicada pelas componentes comuns já obtidas e igualando-o a p .

Uma matriz de covariância $\mathbf{W}_i = \mathbf{X}_{iS} \mathbf{X}_{iS}^T$, de dimensão $n \times n$ é calculada para cada matriz \mathbf{X}_{iS} . No procedimento iterativo, uma matriz de covariância global \mathbf{W}_G é calculada como a soma ponderada de \mathbf{W}_i

$$\mathbf{W}_G = \sum_{i=1}^p \lambda_i \mathbf{W}_i \quad (11)$$

onde λ_i são pesos inicialmente unitários.

A matriz de covariância global \mathbf{W}_G é então decomposta em seus valores singulares, de maneira que

$$\mathbf{W}_G = \mathbf{U}_W \mathbf{S}_W \mathbf{V}_W^T \quad (12)$$

onde \mathbf{U}_W é uma matriz de vetores singulares linha a linha, \mathbf{S}_W é uma matriz diagonal com valores singulares em ordem decrescente e \mathbf{V}_W é uma matriz de vetores singulares coluna a coluna.

A primeira coluna de \mathbf{U}_W representa o vetor de escore normalizado de \mathbf{W}_G associado ao maior valor singular. Essa coluna é escolhida como a primeira estimativa de escore da componente comum, chamada de \mathbf{q} . Uma nova estimativa de λ_i é obtida usando \mathbf{q} e \mathbf{W}_i ,

$$\lambda_i = \mathbf{q}^T \mathbf{W}_i \mathbf{q} \quad (13)$$

bem como um valor de falta de ajuste é obtido a partir dos valores atualizados de λ_i ,

$$\mathbf{Res} = \mathbf{W}_i - \lambda_i \mathbf{q} \mathbf{q}^T \quad (14)$$

onde \mathbf{Res} é uma matriz de resíduos, cuja soma quadrática dos elementos provê a falta de ajuste.

A matriz \mathbf{Res} é uma matriz de resíduos da variação que não foram atribuídos a uma componente comum até este ponto da iteração. O valor da falta de ajuste é a variância dos blocos não explicada por essas componentes comuns.

Novos valores de \mathbf{W}_G , \mathbf{q} e λ são computados, através da iteração, até que a falta de ajuste convirja. O valor final de \mathbf{q} é tomado como a primeira componente comum, o valor final de λ_i indica o peso de \mathbf{X}_i na componente comum (sua “saliência”), indicando a dispersão das amostras sobre esta dimensão (podendo ser interpretada então como uma medida de variância).

Um valor porcentual da variância “explicada” pelas componentes comuns já obtidas pode ser obtido através da diferença entre a variância não explicada pela falta de ajuste, divididas por p . Após isto a variação não explicada pode ser atualizada para o valor da falta de ajuste.

Cada matriz \mathbf{X}_{iS} é reduzida através dos vetores de escores normalizados

$$\mathbf{X}_{iS} = (\mathbf{I} - \mathbf{q}\mathbf{q}^T)\mathbf{X}_{iS} \quad (15)$$

e novas matrizes de covariância \mathbf{W}_i são obtidas a partir dessas matrizes, e, subsequentemente, as novas componentes comuns, dando sequência à iteração.

3.4.5 Implementação Computacional

Toda a análise dos dados foi conduzida em rotinas desenvolvidas no software MATLAB versão R2008b.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Microbiológica

Para a pesquisa de coliformes a 45 °C as amostras analisadas apresentaram valores de inferiores a 3,0 NMP/g, para um intervalo de confiança de 95 % (limite inferior não aplicável e limite superior de 9,5 NMP/g). Isto comprova condições higiênicas e sanitárias de preparo satisfatórias, pois os valores encontram-se abaixo do máximo tolerado de 100 NMP/g para coliformes a 45 °C. As amostras apresentaram completa ausência de *Salmonella sp.* e de *Estafilococos coagulase* confirmando que os bolos produzidos são próprios para o consumo humano.

4.2 Análise sensorial usando a escala hedônica

Os resultados do teste de aceitação de cada uma das 21 formulações de bolo estão sumarizados na Figura 6, com os resultados apresentados como a média das respostas e um intervalo de confiança de 95 %. Observa-se que o melhor bolo, pela impressão geral, foi o TY(+), enquanto os piores bolos foram o T+M(0) e o TYM(+). A análise dos outros atributos avaliados mostrou que os bolos com maca, porém, sem yacon, possuem avaliação consistentemente inferior aos bolos com mistura apenas de trigo e yacon. Os bolos de trigo e yacon superaram os bolos contendo apenas trigo em muitas avaliações. Verificou-se que a presença de yacon, bem como diferentes valores da quantidade de água trazem um efeito positivo na tolerância dos atributos sensoriais quanto à presença da maca.

A análise da Figura 6 mostra que houve uma expressiva variabilidade nas notas de todos os atributos que pode ser constatada através da amplitude dos intervalos de confiança. Assim, será verificado se essa variação possa estar relacionada com a existência de grupos de julgadores com diferentes comportamentos.

4.3 Segmentação dos Julgadores

De acordo com as notas de aceitação geral, cada julgador pode ser representado por um vetor com 21 dimensões, onde cada dimensão representa a nota atribuída para cada formulação. Portanto, para avaliar o comportamento dos julgadores nesse espaço hiperdimensional é necessária a utilização de um método multivariado. Dessa forma, foi

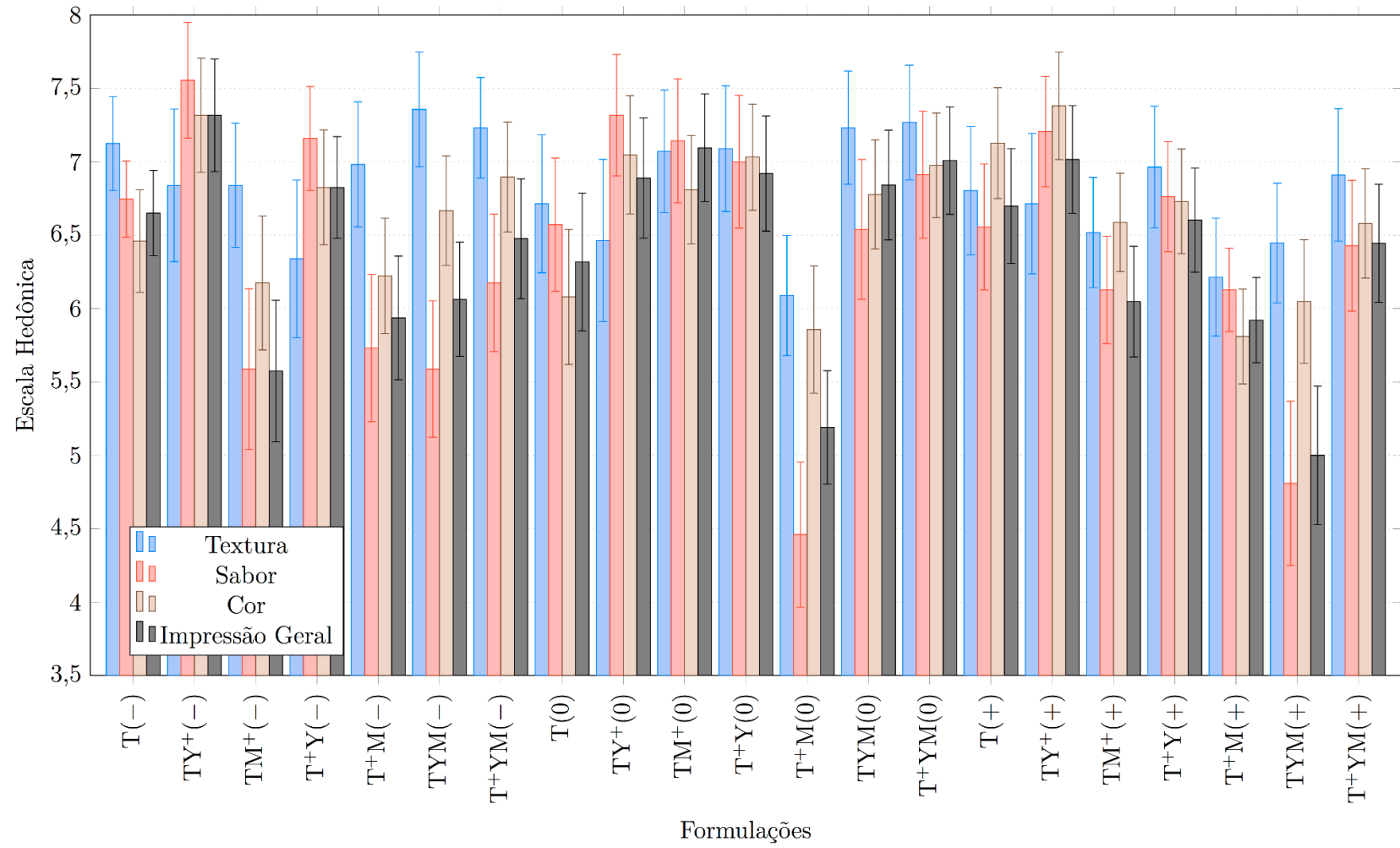


Figura 6: Resultados médios do teste de aceitação com um intervalo de confiança de 95 %.

aplicado o método *k-means*, usando a distância Euclidiana como métrica de similaridade, para avaliar o agrupamento dos julgadores em função da aceitabilidade geral.

A análise de segmentação usando o *k-means* foi realizada para a formação de 2 e 3 grupos, a divisão em mais que três grupos é inviável devido à quantidade de julgadores disponíveis. Através dos critérios de Calinski-Harabasz, Davies-Bouldin e *silhouette* foi identificado que dois grupos seria o ideal para os dados avaliados (COWGILL; HARVEY; WATSON, 1999; DAVIES; BOULDIN, 1979; ROUSSEEUW, 1987). A disposição dos julgadores (codificados como P1 até P56) nos grupos 1 e 2 está apresentada na Tabela 4. O grupo 1 foi formado por 30 julgadores (53,5 %) e grupo 2 por 26 julgadores (46,43 %).

Tabela 4: Segmentação dos 56 julgadores em dois grupos usando o método k-means.

Grupo 1						Grupo 2					
P1	P2	P4	P5	P8	P10	P3	P6	P7	P9	P17	P18
P11	P12	P13	P14	P15	P16	P19	P21	P25	P27	P30	P31
P20	P22	P23	P24	P26	P28	P34	P35	P36	P37	P39	P40
P29	P32	P33	P38	P41	P46	P42	P43	P44	P45	P48	P50
P47	P49	P51	P52	P55	P56	P53	P54				

Os resultados da MANOVA para os agrupamentos (Tabela 5) mostram que a segmentação em dois grupos é estatisticamente significativa, pois a interação grupo*produto possui $p = 0,021$ (WESTAD; HERSLETH; LEA, 2004).

Tabela 5: Tabela da MANOVA para avaliar o efeito da segmentação.

Fonte	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F	p
Formulação	427,94	20	21,40	11,62	$2,88 \times 10^{-34}$
Grupo	412,80	1	412,80	224,18	$2,20 \times 10^{-46}$
Formulação*Grupo	64,78	20	3,24	1,76	0,021
Resíduo	2088,12	1134	1,84		
Total	3000,32	1175			

Na Figura 7, os eixos sobre os quais os julgadores são representados correspondem às duas primeiras componentes da análise de componentes principais (ACP), com uma variância total de 40,12 %. Nesse gráfico fica clara a separação entre os julgadores, sendo que aqueles pertencentes ao grupo 2 estão localizados no quadrante positivo e aqueles do grupo 1 no quadrante negativo da CPI.

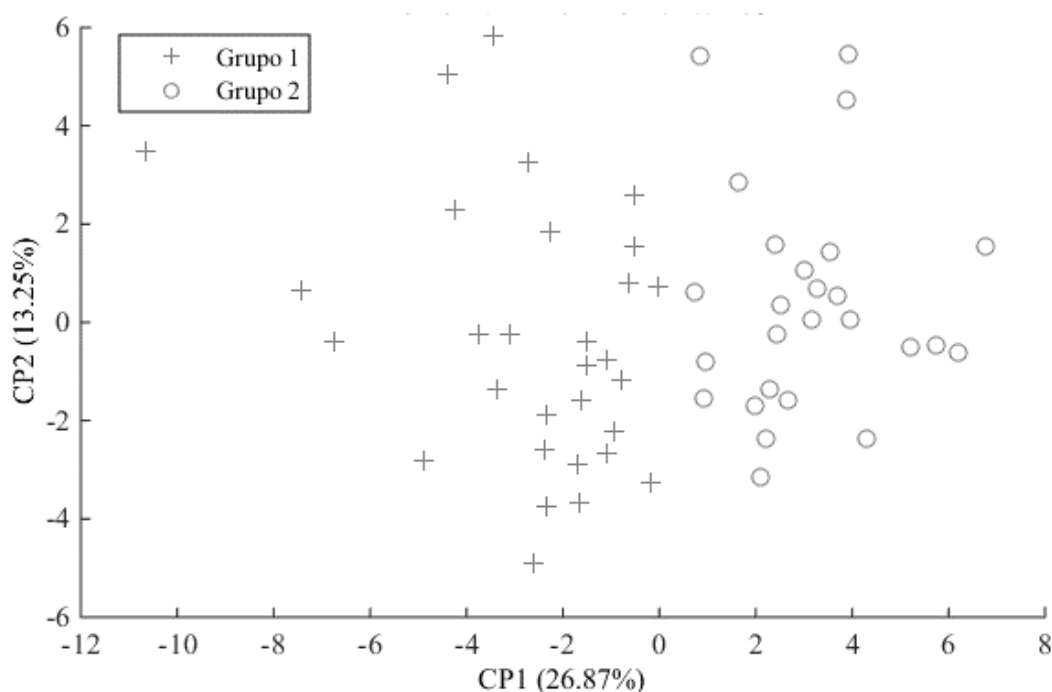


Figura 7: Agrupamento obtido pelo k-means representado no eixo das duas primeiras componentes principais.

A segmentação dos julgadores em dois grupos permitiu o ajuste de modelos mais precisos em relação à uma análise usando a média geral. A segmentação em dois grupos também pode ser justificada pela diferença estatística entre as notas médias atribuídas para as diferentes formulações (Figura 8). Destaca-se que poucas formulações tiveram notas estatisticamente iguais para os dois grupos (T(-), T+Y(-), TYM(-), T+M(+)).

Nota-se que a avaliação dos bolos de trigo entre os grupos 1 e 2 são bastante próximas, enquanto diferenças apreciáveis são notadas nas formulações com maca e yacon. Os julgadores do grupo 2 mostraram, particularmente, uma maior tolerância à presença da maca, cuja influência global nos bolos foi de uma menor aceitabilidade. Foi verificado, através da avaliação do questionário sobre hábitos alimentares, que 73 % dos julgadores do grupo 2 são consumidores habituais de alimentos integrais, contra apenas 47 % do grupo 1. Outra observação, de grande relevância neste estudo, é o efeito que a presença do yacon tem sobre a avaliação sensorial dos bolos. Não só a adição do yacon tornou os bolos mais aceitáveis, como também aumentou a tolerância à presença da maca nas formulações. A influência positiva do yacon sobre a avaliação sensorial pode ser atribuída ao seu conteúdo de inulina e outros fruto-oligosacarídeos, cuja adição em outros tipos de alimentos gera

resultados análogos aos aqui observados (GUGGISBERG et al., 2009; MENDOZA et al., 2001).

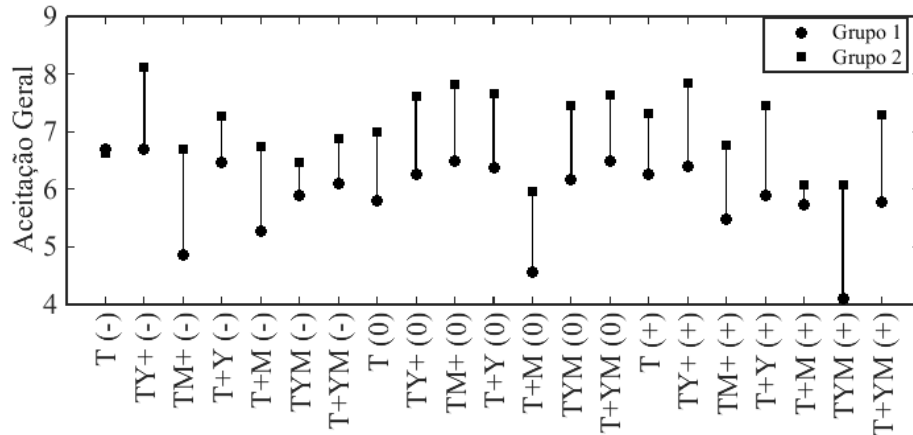


Figura 8: Valores de aceitabilidade geral médios para os julgadores dos grupos 1 e 2.

4.4 Análise do planejamento experimental

Usando as médias por formulação foi ajustado um modelo para cada grupo usando a Equação (7). Na Tabela 6 estão apresentados os coeficientes para cada efeito do modelo e a qualidade estatística dos modelos obtidos. A segmentação permitiu um modelo com melhor ajuste, comparado à uma análise global. Os valores de $R^2_{ajustado}$, de 93,8 % e 98,9 % para os grupos 1 e 2, respectivamente, em conjunto com os baixos desvios padrão da estimativa e os pequenos resíduos de todos os pontos experimentais, ilustrados na Figura 9, corroboram a boa capacidade preditiva dos modelos. Devido à complexidade da Equação (7), associado ao emprego de pseudocomponentes, não foi realizada a avaliação direta dos efeitos apresentados na Tabela 6. Portanto, optou-se pela análise das superfícies de resposta dispostas na Figura 10.

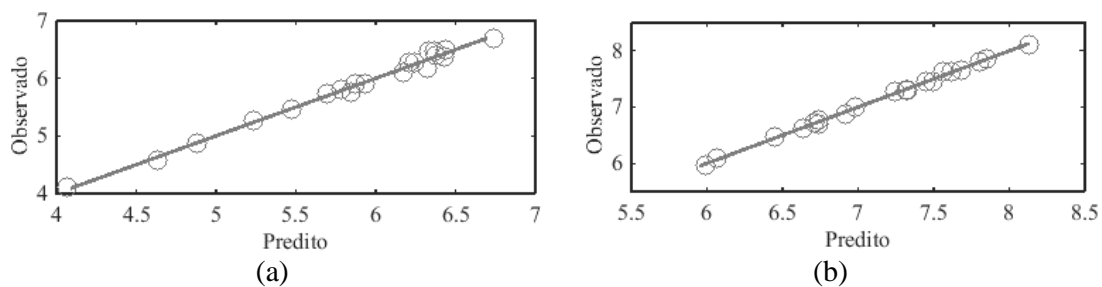


Figura 9: Valores experimentais médios da aceitabilidade geral versus predito pelos modelos de regressão para os grupos 1 (a) e 2 (b).

Tabela 6: Modelos de regressão para a aceitação geral dos bolos para os dois grupos de julgadores.

Efeito	Coeficientes ^a	
	Grupo 1	Grupo 2
γ_1^0	5,78 (0,19)	6,98 (0,04)
γ_2^0	6,21 (0,18)	7,61 (0,06)
γ_3^0	6,44 (0,18)	7,80 (0,06)
γ_{12}^0	1,75 (0,90) ^c	1,55 (0,29)
γ_{13}^0	-5,91 (0,90)	-5,59 (0,29)
γ_{23}^0	0,50 (1,21) ^b	-0,86 (0,30)
γ_{123}^0	19,64 (3,84)	19,58 (1,31)
γ_1^1	-0,19 (0,12) ^c	0,34 (0,04)
γ_2^1	-0,20 (0,12) ^c	-0,14 (0,04)
γ_3^1	0,37 (0,12)	0,04 (0,08) ^b
γ_{12}^1	-0,41 (0,89) ^b	0,04 (0,39) ^b
γ_{13}^1	0,75 (0,89) ^b	-1,98 (0,20)
γ_{23}^1	-3,95 (0,65)	-0,48 (0,20) ^c
γ_{123}^1	7,52 (4,27) ^c	11,31 (1,49)
γ_1^{11}	0,71 (0,24)	0,02 (0,14) ^b
γ_2^{11}	0,35 (0,22) ^c	0,38 (0,08)
γ_3^{11}	-1,26 (0,22)	-1,07 (0,08)
γ_{12}^{11}	-3,23 (1,08)	-2,08 (0,33)
γ_{13}^{11}	4,45 (1,08)	3,73 (0,33)
γ_{23}^{11}	-3,60 (0,65)	-3,56 (0,36)
$R^2_{ajustado}$	0,9246	0,9894
p	0,0076	0,0002
Desvio padrão da estimativa	0,19	0,06

^a O erro padrão dos coeficientes está em parênteses.

^b Efeitos agrupados no resíduo ($p > 0,05$).

^c Efeitos sem significância estatística ($p > 0,05$) mantidos para preservar o ajuste global

No geral observa-se nos diagramas ternários, através dos valores associados às escalas de cores, que os julgadores do grupo 2 atribuem notas superiores àquelas dos julgadores do grupo 1. Ficou evidente, também, que a variação na quantidade de água altera a aceitação geral dos bolos. Para o nível inferior de água (120 mL), os bolos com menor aceitação foram àqueles com maior proporção de maca para o grupo 1 (Figura 10(a)), já o grupo 2 (Figura 10(d)) apenas o bolo com maior quantidade de yacon teve maior aceitação. No nível intermediário de água (150 mL – Figura 10(b) e 10(e)), ambos os grupos tiveram um comportamento similar com uma menor aceitação dos bolos com a mistura binária de 32,5 % de maca e 67,5 % de trigo (valores reais após a conversão dos pseudocomponentes utilizados na Figura 10). No nível superior de água (180 mL), para o grupo 1 (Figura 10(c)) o bolo com menor aceitação foi aquele com 32,5 % de yacon, 32,5 % de maca e 35 % de

trigo. Já para o grupo 2 (Figura 10(f)), além da formulação preterida pelo grupo 1, os julgadores aceitaram menos a formulação mais rica na combinação trigo e maca. Esse comportamento é confirmado pela inspeção da Figura 8 também, ficando assim comprovada a importância de incorporar a variável de processo no planejamento. Visto que, a aceitação geral dos bolos foi sensivelmente afetada pela quantidade de água utilizada em conjunto com a mistura de farinhas. Outra característica notória da Figura 10 é o deslocamento do ponto de máximo dos diagramas ternários, para ambos os grupos, em função do nível de água utilizado.

Para ambos os grupos ficou claro que o aumento na proporção de yacon torna os bolos mais desejáveis, além de aumentar a tolerância à presença de maca na mistura. A influência positiva que o yacon tem sobre a avaliação sensorial pode ser atribuída ao seu conteúdo de inulina, bem como o de outros fruto-oligossacarídeos, que possuem sabor adocicado. Efeitos similares foram observados em pesquisas análogas (GUGGISBERG et al., 2009; MENDOZA et al., 2001).

4.5 Otimização

Foi realizada a otimização das formulações usando o método *simplex* sequencial e os modelos de regressão dos grupos 1 e 2 (Tabela 6). Na Tabela 7 a Formulação F1 foi a de melhor aceitação para o grupo 1, já a Formulação F2 foi a preferida para o grupo 2. Com o intuito de aumentar a proporção de maca, uma função de desejabilidade foi aplicada conjuntamente à otimização *simplex* sequencial, buscando uma maior proporção de maca com mínimo impacto na aceitação geral. Como resultado, foi proposta a Formulação F3 que é uma alternativa com maior teor de maca, com aceitação maior de 6,0 (gostei ligeiramente) para grupo 1 e maior de 7,0 (gostei regularmente) para o grupo 2.

Tabela 7: Formulações otimizadas.

Componente	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3
Trigo (%)	49,0	35,0	43,0
Yacon (%)	37,0	65,0	25,0
Maca (%)	14,0	0,0	32,0
Água (mL)	140,0	120,0	150,4
Segmento	Nota Prevista *		
Grupo 1	6,34 – 7,04	–	6,13 – 6,75
Grupo 2	–	7,96 – 8,30	7,52 – 7,78

* Intervalo de confiança de 95 % para a nota prevista.

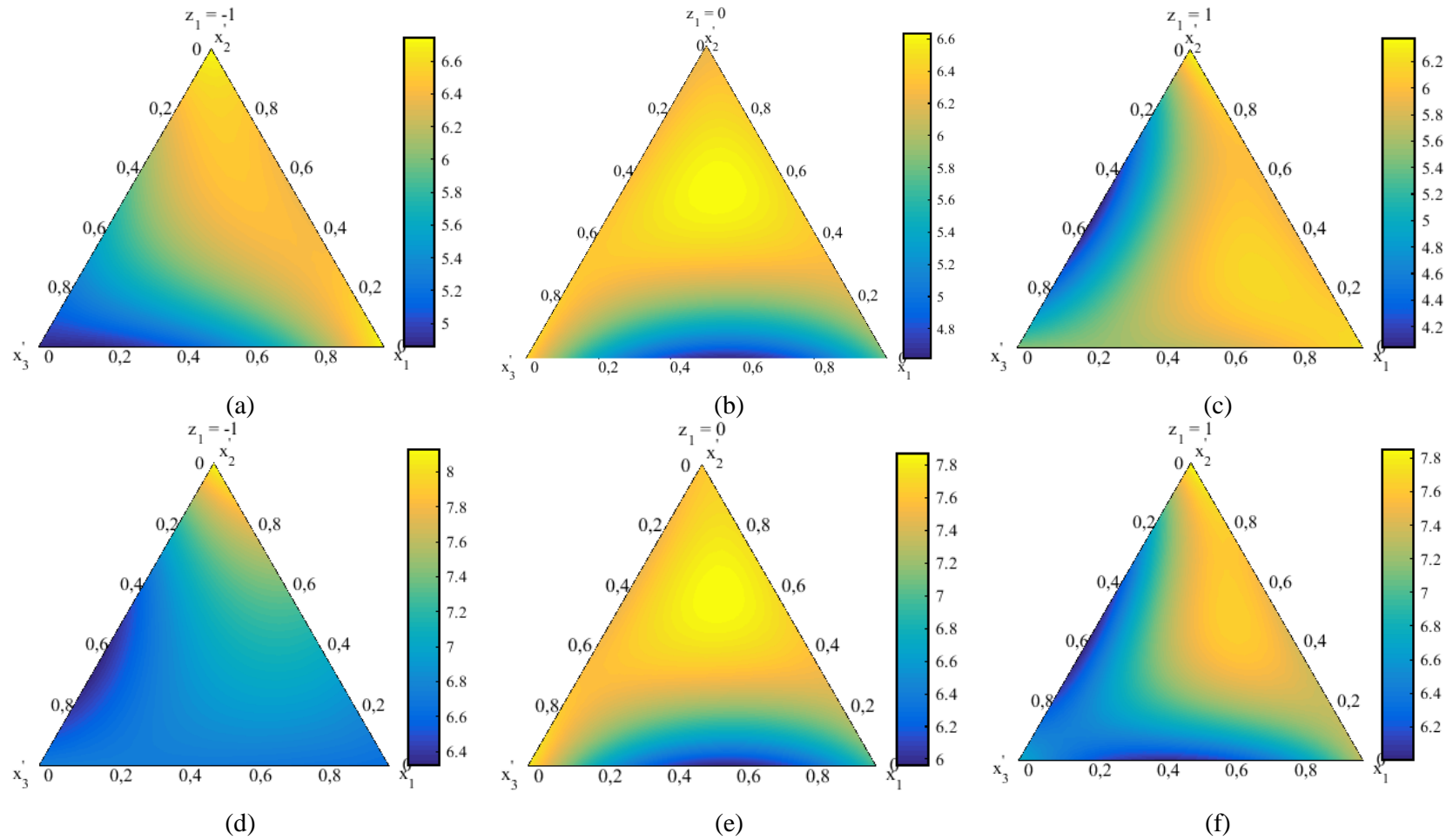


Figura 10: Diagramas ternários para a aceitabilidade geral média em função da composição da mistura expressa como pseudocomponentes: Grupo 1 (a), (b) e (c); Grupo 2 (d), (e) e (f).

4.6 Análise de Componentes Principais

Para avaliar todos os parâmetros em conjunto foi empregada uma análise de componentes principais (ACP) e o gráfico de *biplot* (gráfico combinado dos *scores* e *loadings*). Na Figura 11 estão representados os gráficos da CP1 vs. CP2, CP1 vs. CP3 e CP2 vs. CP3.

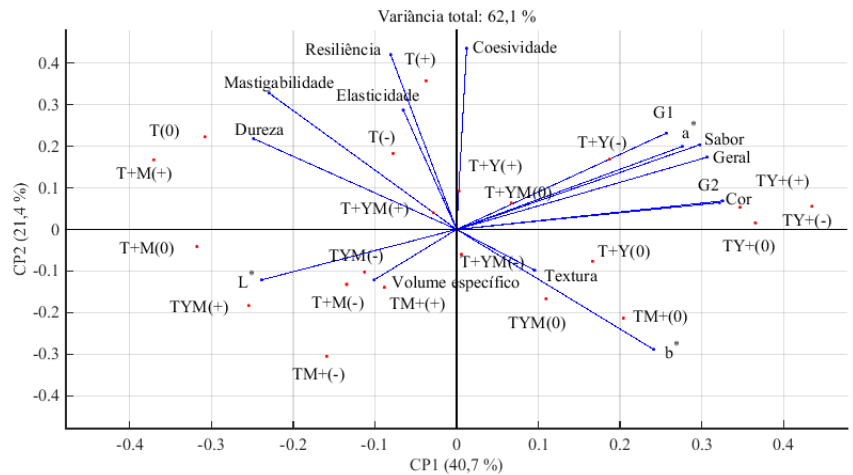
A Figura 11 confirma a preferência pelos bolos com maior teor de yacon pois, os vetores que representam a aceitação geral média, aceitação média do grupo 1 (G1) e aceitação média do grupo 2 (G2) apontam para tais formulações. Por outro lado, as formulações com maior proporção de maca encontram-se no sentido oposto a esses vetores.

4.7 Correlação entre os atributos sensoriais

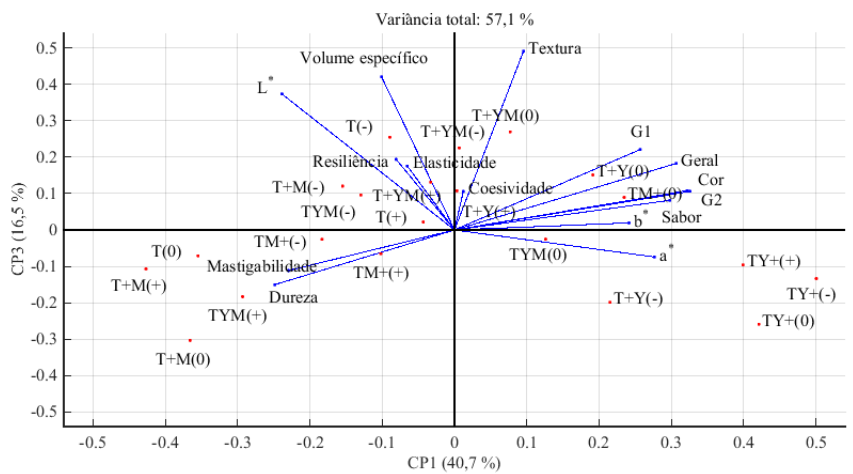
No intuito de melhor compreender quais características tornam um bolo mais ou menos desejável foi realizada uma análise das notas médias de cada formulação (Tabela 8) usando a segmentação dos julgadores baseada na aceitação geral (Tabela 4).

De acordo com a Tabela 8 poucas formulações tiveram notas estatisticamente diferentes. Para a textura foram 5 formulações (TM+(-), T+M(-), T+YM(-), TYM(+), T+YM(+)), para o sabor não houve diferenças para nenhuma formulação e para cor foram 3 formulações (TM+(-), TM+(0), T+Y(0)). Diferentemente da aceitação geral, o efeito da segmentação não foi muito importante para os atributos textura, cor e sabor. Assim, para as análises posteriores serão consideradas apenas as médias gerais para esse atributo.

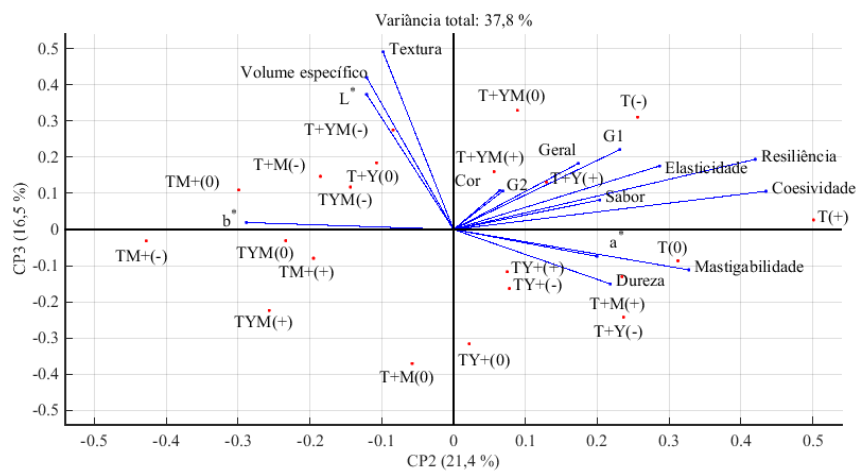
Na Tabela 9 está representada a matriz de correlação para os atributos sensoriais. Para ambos os grupos o sabor possui uma maior correlação com a aceitação geral, enquanto a textura teve a menor correlação. Já para a cor, o grupo 2 apresentou uma correlação maior que aquela atribuída ao grupo 1. Esse padrão de correlação também está representado nos *biplots* da Figura 11.



(a)



(b)



(c)

Figura 11: Gráficos de biplot: (a) CP1 vs. CP2, (b) CP1 vs. CP3 e (c) CP2 vs. CP3.

Tabela 8: Médias gerais e por grupo para os atributos sensoriais textura, sabor e cor.

Formulação	Textura			Sabor			Cor		
	Geral	G1	G2	Geral	G1	G2	Geral	G1	G2
T(-)	7,12 ^a	7,20 ^a	7,04 ^a	6,66 ^a	6,80 ^a	6,50 ^a	6,45 ^a	6,20 ^a	6,73 ^a
TY+(-)	6,84 ^a	7,03 ^a	6,62 ^a	7,77 ^a	7,97 ^a	7,54 ^a	7,36 ^a	7,47 ^a	7,23 ^a
TM+(-)	6,84 ^{ab}	6,30 ^b	7,46 ^a	5,39 ^a	5,07 ^a	5,77 ^a	6,36 ^{ab}	5,77 ^b	7,04 ^a
T+Y(-)	6,34 ^a	6,33 ^a	6,35 ^a	7,18 ^a	7,13 ^a	7,23 ^a	6,84 ^a	7,03 ^a	6,62 ^a
T+M(-)	6,98 ^{ab}	6,47 ^b	7,58 ^a	5,50 ^a	5,47 ^a	5,54 ^a	6,27 ^a	5,93 ^a	6,65 ^a
TYM(-)	7,36 ^a	7,43 ^a	7,27 ^a	5,45 ^a	5,87 ^a	4,96 ^a	6,84 ^a	6,90 ^a	6,77 ^a
T+YM(-)	7,23 ^{ab}	6,93 ^b	7,58 ^a	6,07 ^a	6,05 ^a	6,10 ^a	6,94 ^a	6,73 ^a	7,17 ^a
T(0)	6,71 ^a	6,40 ^a	7,08 ^a	6,52 ^a	6,27 ^a	6,81 ^a	6,09 ^a	5,87 ^a	6,35 ^a
TY+(0)	6,46 ^a	6,40 ^a	6,54 ^a	7,45 ^a	7,47 ^a	7,42 ^a	7,07 ^a	6,87 ^a	7,31 ^a
TM+(0)	7,07 ^a	6,80 ^a	7,38 ^a	7,16 ^a	6,83 ^a	7,54 ^a	6,79 ^{ab}	6,33 ^b	7,31 ^a
T+Y(0)	7,09 ^a	6,73 ^a	7,50 ^a	6,89 ^a	6,37 ^a	7,50 ^a	7,09 ^{ab}	6,63 ^b	7,62 ^a
T+M(0)	6,09 ^a	6,07 ^a	6,12 ^a	4,41 ^a	4,50 ^a	4,31 ^a	5,96 ^a	5,87 ^a	6,08 ^a
TYM(0)	7,23 ^a	7,27 ^a	7,19 ^a	6,41 ^a	6,17 ^a	6,70 ^a	6,70 ^a	6,33 ^a	7,12 ^a
T+YM(0)	7,27 ^a	7,15 ^a	7,40 ^a	6,90 ^a	6,61 ^a	7,23 ^a	6,98 ^a	6,78 ^a	7,21 ^a
T(+)	6,80 ^a	6,73 ^a	6,88 ^a	6,50 ^a	6,33 ^a	6,69 ^a	7,23 ^a	7,23 ^a	7,23 ^a
TY+(+)	6,71 ^a	6,90 ^a	6,50 ^a	7,20 ^a	7,17 ^a	7,23 ^a	7,48 ^a	7,47 ^a	7,50 ^a
TM+(+)	6,52 ^a	6,40 ^a	6,65 ^a	6,13 ^a	5,73 ^a	6,58 ^a	6,68 ^a	6,47 ^a	6,92 ^a
T+Y(+)	6,96 ^a	6,73 ^a	7,23 ^a	6,68 ^a	6,27 ^a	7,15 ^a	6,77 ^a	6,40 ^a	7,19 ^a
T+M(+)	6,21 ^a	6,10 ^a	6,35 ^a	6,07 ^a	6,07 ^a	6,08 ^a	5,77 ^a	5,90 ^a	5,62 ^a
TYM(+)	6,45 ^a	6,00 ^a	6,96 ^a	4,63 ^a	4,20 ^a	5,11 ^a	6,20 ^a	5,77 ^a	6,69 ^a
T+YM(+)	6,91 ^{ab}	6,48 ^b	7,40 ^a	6,35 ^a	6,10 ^a	6,65 ^a	6,63 ^a	6,32 ^a	6,98 ^a
Média	6,82	6,66	7,00	6,69	6,49	6,92	6,35	6,21	6,51
T	6,88	6,78	7,00	6,59	6,43	6,77	6,56	6,47	6,67
T + Y	6,73	6,69	6,79	7,10	6,97	7,24	7,19	7,06	7,35
T + M	6,62	6,36	6,92	6,31	6,04	6,60	5,78	5,61	5,97
T + Y + M	7,08	6,88	7,30	6,71	6,47	6,99	5,97	5,83	6,13

Sobrescritos iguais na mesma linha, para o mesmo atributo, indicam médias sem diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) no Teste de Tukey.

G1 = grupo 1; G2 = grupo 2; T = trigo; Y = yacon; M = maca.

Tabela 9: Matriz de correlação para os atributos sensoriais.

	Textura	Sabor	Cor	Aceitação (Grupo 1)	Aceitação (Grupo 2)
Textura	1,000	0,225	0,408	0,448*	0,387
Sabor	0,225	1,000	0,685*	0,896*	0,874*
Cor	0,408	0,685*	1,000	0,669*	0,813*
Aceitação (Grupo 1)	0,448*	0,896*	0,669*	1,000	0,742*
Aceitação (Grupo 2)	0,387	0,874*	0,813*	0,742*	1,000

* Correlações estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

4.8 Colorimetria

Os resultados das análises com o colorímetro também podem ser observados graficamente na Figura 12. Na Figura 12(a) está ilustrado o espaço de cores CIELab no intervalo $0 \leq a^* \leq 100$ e $0 \leq b^* \leq 100$ para uma luminosidade média das amostras de $L^* = 34$. Devido à compressão da gama de cores ao traduzir os valores do espaço CIELab para RGB, na produção da Figura 12, podem haver diferenças na acurácia da cor, bem como na sua representação em diferentes mídias. Na Figura 12, a região quadrangular delimitada pelas curvas de *chroma* C^* e pelas linhas de tonalidade cromática *hue* H^* compreende todos os bolos produzidos, como exposto em maior detalhe na Figura 12(b).

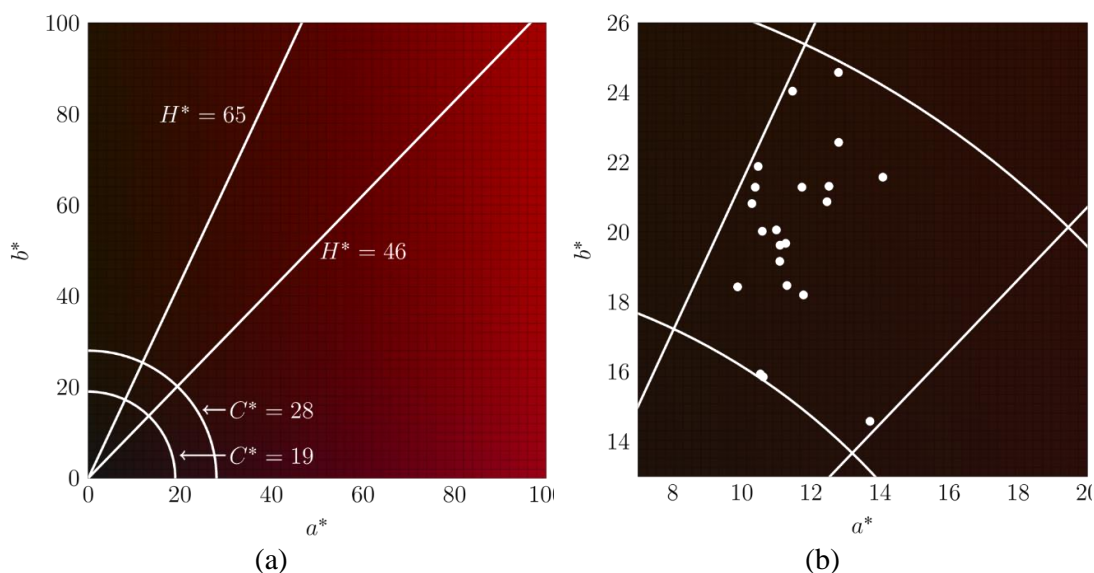


Figura 12: Mapa de cores CIELab, indicando a região dos bolos produzidos (a) e a região destacada com a representação dos mesmos (b). Ambos os mapas foram produzidos com $L^* = 34$, o valor médio da luminosidade das amostras.

Foi feita a média dos parâmetros do espaço CIELab para os bolos contendo apenas trigo (formulações T(-), T(0) e T(+)) na Tabela 2) resultando $L^* = 35,69$, $a^* = 12,04$ e $b^* = 16,21$. Os valores obtidos dos parâmetros da colorimetria dos bolos produzidos são consistentes com os resultados para bolos com substituição parcial do trigo pelo yacon em (PADILHA et al., 2010). Usando esses valores médios como padrão de cor e com auxílio da Equação 10 foi calculada a diferença global de cor entre as amostras (ΔE). Os valores de ΔE foram ajustados ao modelo proposto na Equação (7) para avaliar o efeito da proporção das farinhas e da quantidade de água na diferença global de cor. O modelo obtido teve um bom

ajuste aos dados experimentais com $R_{ajustado}^2$ de 98,81 % e $p < 0,0001$ e as superfícies de resposta para os níveis de água estudados estão dispostos na Figura 13.

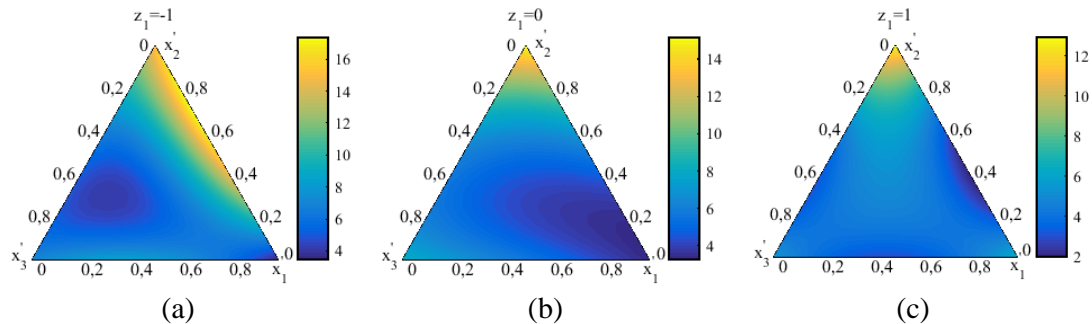


Figura 13: Superfícies de resposta, em termos de pseudocomponentes, para o ΔE fixando a quantidade de água em (a) 120 mL, (b) 150 mL e (c) 180 mL.

Pela análise da Figura 13 é possível observar que as formulações contendo uma maior quantidade de yacon apresentaram maiores diferenças para a formulação padrão contendo apenas trigo, em conformidade com resultados de trabalhos similares (PADILHA et al., 2010). Já as formulações mais ricas em farinha de maca apresentaram diferenças intermediárias. Além disso, é possível visualizar que a quantidade de água não possui muita influência na diferença de cor das formulações.

A faixa dos parâmetros de colorimetria dos bolos produzidos (luminosidade média de 35, *chroma* entre 19 e 28 e tonalidade cromática entre 46 e 65) se mostrou parcialmente similar à colorimetria do chocolate ao leite e meio amargo (NACANO, 2013). A luminosidade se mostrou bastante similar, os bolos produzidos apresentaram um *chroma* um pouco superior enquanto a tonalidade cromática dos bolos produzidos se mostrou mais tendenciosa para o amarelo que o chocolate puro. Este desvio para o amarelo foi inferior ao de bolos com substituição do chocolate de cacau por pó de cupuaçu e *kafir* (ESTELLER; ZANCANARO JÚNIOR; LANNES, 2006), se mantendo mais fiel à aparência tradicional do chocolate.

Se comparado à outros produtos de chocolate, como sobremesas de pudim de chocolate (OLIVEIRA et al., 2003), os bolos produzidos se mostraram aproximadamente com a mesma luminosidade e *chroma*, porém as sobremesas utilizam uma tonalidade cromática substancialmente menor, muito mais tendenciosa para o vermelho.

Para avaliar a relação entre cor sensorial e a cor instrumental foi construída uma matriz de correlação entre a avaliação e os parâmetros obtidos no espaço CIELab (Tabela 10).

Tabela 10: Matriz de correlação entre cor sensorial e cor instrumental.

	Cor^a	L*	a*	b*	ΔE	C*	H*
Cor^a	1,0000	-0,5383 [†]	0,7548 [†]	0,4771 [†]	0,5386 [†]	0,6485 [†]	-0,1112
L*	-0,5383 [†]	1,0000	-0,6858 [†]	-0,2439	-0,7979 [†]	-0,4039	0,2366
a*	0,7548 [†]	-0,6858 [†]	1,0000	0,1669	0,6231 [†]	0,4238	-0,5246 [†]
b*	0,4771 [†]	-0,2439	0,1669	1,0000	0,5384 [†]	0,9630 [†]	0,7460 [†]
ΔE	0,5386 [†]	-0,7979 [†]	0,6231 [†]	0,5384 [†]	1,0000	0,6597 [†]	0,0533
C*	0,6485 [†]	-0,4039	0,4238	0,9630 [†]	0,6597 [†]	1,0000	0,5398 [†]
H*	-0,1112	0,2366	-0,5246 [†]	0,7460 [†]	0,0533	0,5398 [†]	1,0000

^a Avaliação sensorial da cor.

[†] Correlações estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Pelas correlações obtidas verifica-se que os julgadores tiveram uma preferência maior pelos mais escuros (menor L^*), e com maiores valores de a^* e b^* que correspondem aos tons de marrom, atributo esperado em bolos de chocolate. Esta correlação está em concordância com Padilha et al., (2010). A correlação com o parâmetro C^* se mostrou significativa, o que representa uma preferência por bolos com cor mais intensa. Essas conclusões são confirmadas pela inspeção da Figura 11 e observação das relações entre os vetores G1, G2 e os demais parâmetros de cor reportados na Tabela 10.

4.9 Análise de textura

As Figura 14 e Figura 15 apresentam os resultados das análises com o texturômetro. Com nove medidas por bolo produzido foi obtido, no geral, um intervalo de confiança (95 %) estreito indicando uma boa reprodutibilidade nos ensaios de TPA. A fim de evitar problemas de escala, os valores absolutos de dureza e mastigabilidade estão expostos na Figura 14, enquanto que os valores relativos de elasticidade, coesividade e resiliência estão expostos na Figura 15.

As superfícies de resposta obtidas através do ajuste dos dados experimentais à Equação (7) estão dispostas nas Figura 16 e Figura 17 e os parâmetros estatísticos dos ajustes na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros estatísticos dos modelos de regressão obtidos para as variáveis medidas na TPA.

	$R^2_{ajustado}$	p	Desvio padrão da estimativa
Dureza	0,9504	0,0003	103,72
Mastigabilidade	0,9479	0,0001	77,36
Elasticidade	0,5187	0,0761	0,018
Coabilidade	0,9653	> 0,0001	0,014
Resiliência	0,9444	> 0,0001	0,016

Os resultados apresentados nas Figura 14 e Figura 16 mostram que a mastigabilidade e a dureza dos bolos são diminuídas com a adição da farinha de yacon, independentemente da quantidade de água adicionada, conforme observado em Moscatto et al., (2006). Já para as farinhas de trigo e água houve uma interação importante com o nível de água utilizado. No geral houve um aumento da mastigabilidade e da dureza quando utilizado 150 mL de água que corresponde também ao comportamento observado para o trigo. Já para a farinha de maca foi observado o efeito contrário, ou seja, o aumento na quantidade de água deixou os bolos contendo maior quantidade de maca mais macios. Pela inspeção da Figura 16, também ficou claro que a dureza e a mastigabilidade tiveram o mesmo comportamento perante as variáveis analisadas. Essa semelhança que pode ser estatisticamente confirmada através do alto valor do coeficiente de correlação linear entre os parâmetros ($r = 0,9612$).

A análise das Figura 15 e Figura 17 mostra que, enquanto a substituição da farinha de trigo pela farinha de yacon traz diminuições nos valores de coabilidade e resiliência, este efeito é ainda mais pronunciado na adição da farinha de maca. O efeito do yacon na coabilidade já fora observado em Moscatto et al., (2006). Não houve mudanças significativas na elasticidade dos bolos produzidos, conseqüentemente não foi possível ajustar um modelo de regressão com boas propriedades preditivas (Tabela 11). Além disso, a Figura 17 demonstra que a coabilidade e a resiliência apresentam o mesmo comportamento que é estatisticamente comprovado pelo alto coeficiente de correlação linear ($r = 0,9379$).

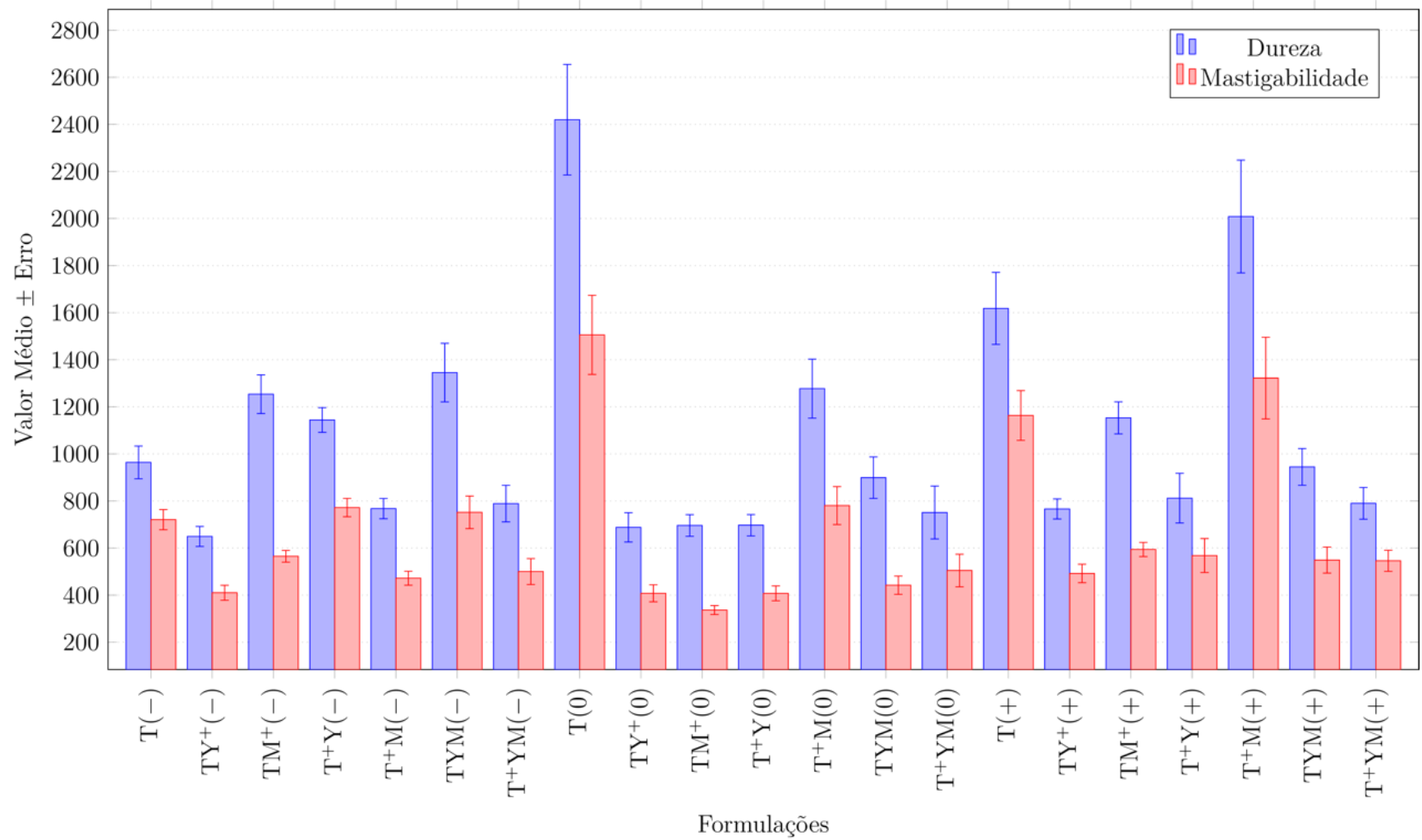


Figura 14: Resultados da TPA para os parâmetros de dureza e mastigabilidade.

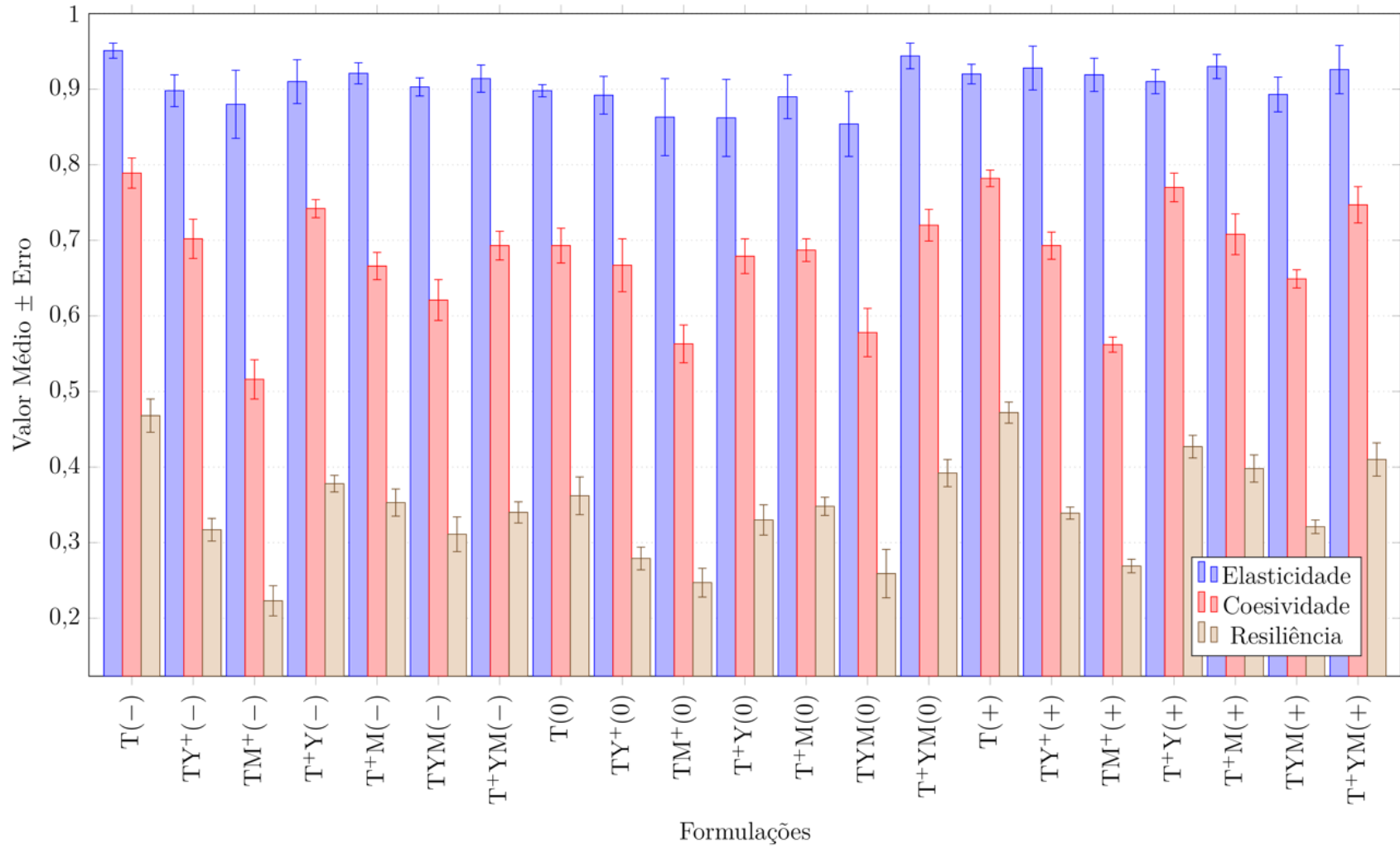
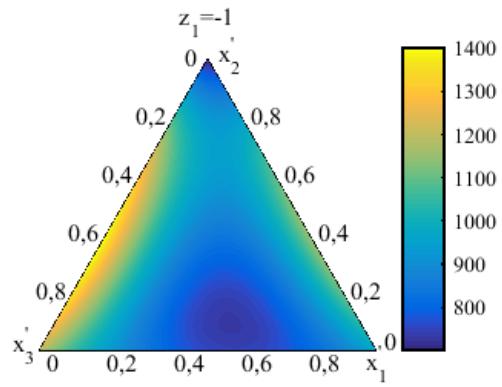
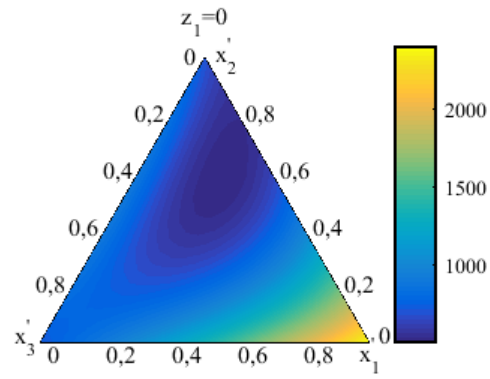


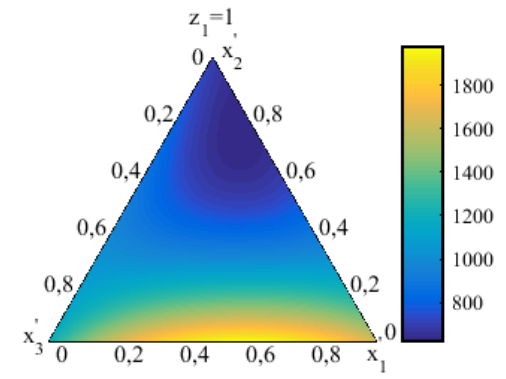
Figura 15: Resultados da TPA para os parâmetros de elasticidade, coesividade e resiliência.



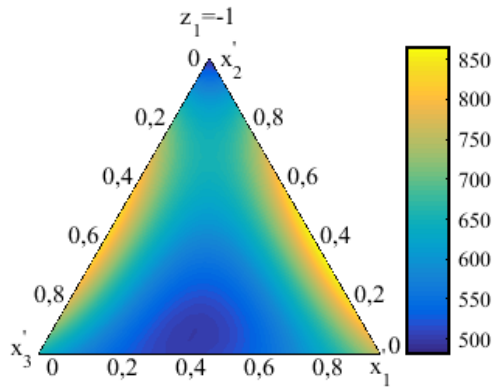
(a)



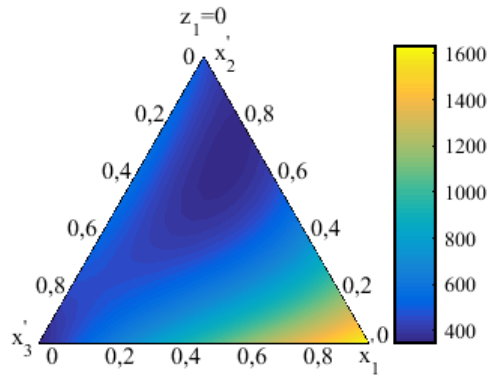
(b)



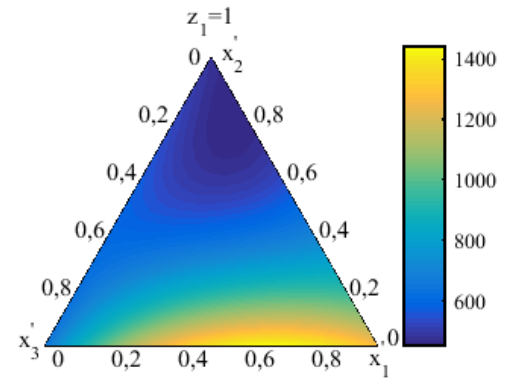
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 16: Superfícies de resposta obtidas para a dureza (a-c) e mastigabilidade (d-f) em termos de pseudocomponentes.

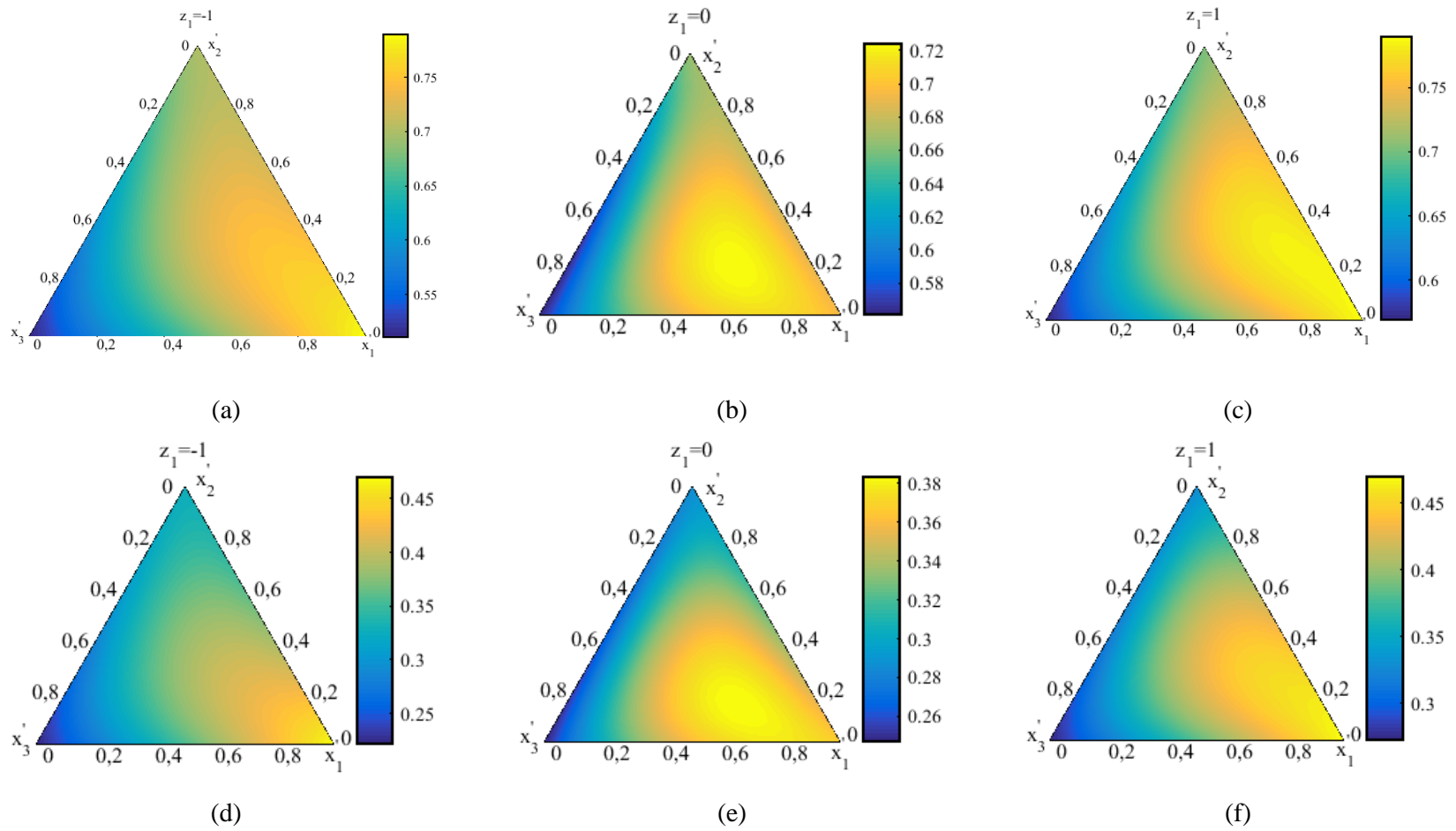


Figura 17: Superfícies de resposta obtidas para a coesividade (a-c) e resiliência (d-f) em termos de pseudocomponentes.

4.10 Volume específico

A observação da Figura 18 mostra que a presença da farinha de yacon diminui o volume específico do bolo, em relação ao bolo padrão de trigo, para qualquer quantidade de água adicionada, estando este resultado em concordância com outros trabalhos (MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; HAULY, 2004). Bolos com substituição apenas pela farinha de maca não apresentam diferenças significativas dos valores de volume específico em relação ao bolo padrão. Bolos com substituição da farinha de trigo por ambas as farinhas de yacon e maca mostraram leve diminuição do seu volume específico, em relação aos bolos de trigo.

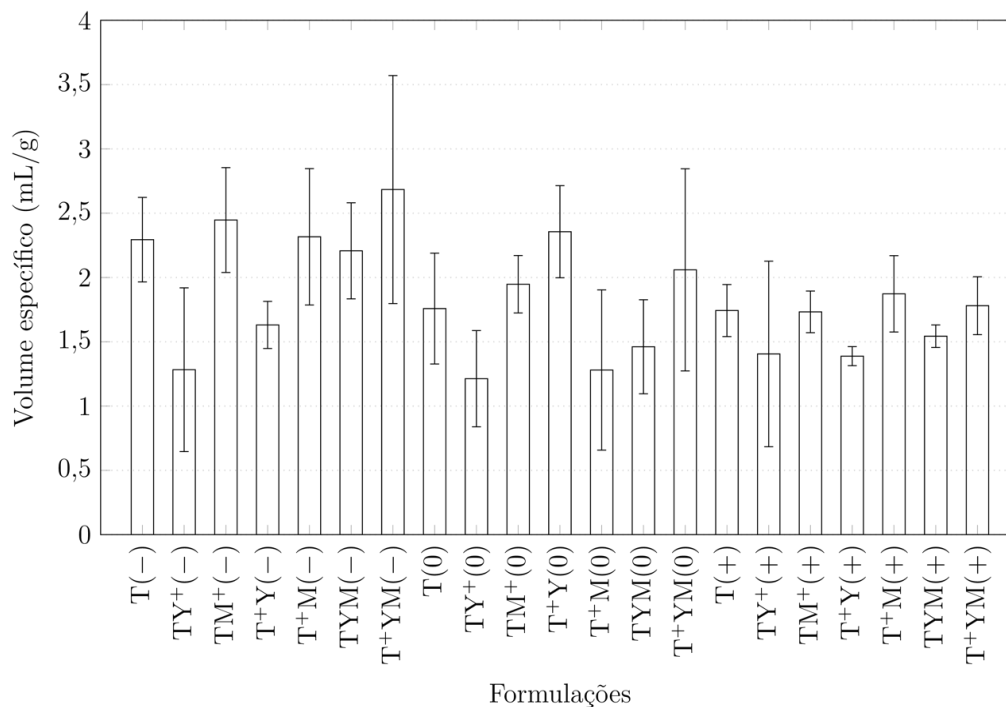


Figura 18: Resultados das análises de volume específico.

Na Figura 19 estão dispostas as superfícies de resposta para o volume específico conforme o modelo de regressão, Equação (7), ajustado aos dados experimentais ($R_{ajustado}^2 = 0,9948$ e $p = 0,0047$). De maneira geral, pela análise dos valores nas escalas de cores é possível concluir que houve uma redução do volume específico em função do aumento da quantidade de água. Além disso, os bolos com yacon sempre apresentaram volumes menores e o comportamento variou de acordo com o nível de água empregado. Para

120 mL de água, os bolos mais volumosos foram aqueles com a presença das três farinhas. Com 150 mL de água a mistura binária yacon e trigo forneceu os bolos com maior volume específico, e para 180 mL, foi a mistura maca e trigo.

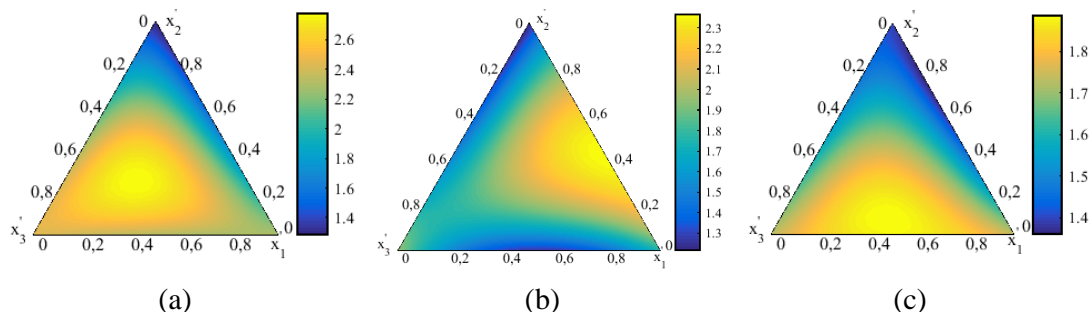


Figura 19: Superfícies de resposta, em termos de pseudocomponentes, para o volume específico fixando a quantidade de água em (a) 120 mL, (b) 150 mL e (c) 180 mL.

Foi avaliada a correlação entre a textura sensorial, os parâmetros da TPA e o volume específico conforme a Tabela 12.

Poucas correlações estatisticamente significativas foram observadas, assim como em trabalhos similares (GÓMEZ et al., 2007), e a única relação mais importante com a textura sensorial foi com o volume específico. Aparentemente, os julgadores, que não eram treinados, associaram a textura apenas com a informação visual do volume ocupado pelo bolo. O volume específico também teve uma relação inversa com a adesividade. As demais correlações significativas foram entre os próprios parâmetros da TPA, muitos deles, linearmente dependentes.

Tabela 12: Matriz de correlação entre textura sensorial e textura instrumental.

	TEX	VE	DR	ADS	ELS	MSG	GMS	CSV	RSL
TEX	1,000	0,550*	-0,368	-0,302	-0,042	-0,371	-0,373	-0,068	0,002
VE	0,550*	1,000	0,012	-0,647*	0,134	-0,025	-0,033	-0,145	0,042
DR	-0,368	0,012	1,000	-0,319	0,109	0,961*	0,970*	0,059	0,208
ADS	-0,302	-0,647*	-0,319	1,000	-0,171	-0,300	-0,294	0,013	-0,289
ELS	-0,042	0,134	0,109	-0,171	1,000	0,281	0,234	0,620*	0,708*
MSG	-0,371	-0,025	0,961*	-0,300	0,281	1,000	0,999*	0,324	0,455*
GMS	-0,373	-0,033	0,970*	-0,294	0,234	0,999*	1,000	0,294	0,421
CSV	-0,068	-0,145	0,059	0,013	0,620*	0,324	0,294	1,000	0,938*
RSL	0,002	0,042	0,208	-0,289	0,708*	0,455*	0,421	0,938*	1,000

TEX = textura sensorial, VE = volume específico, DR = dureza, ADS = adesividade, ELS = elasticidade, MSG = mastigabilidade, GMS = gomosidade, CSV = coesividade, RSL = resiliência.

* Correlações estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

4.11 Perfil livre

As três formulações de bolo de chocolate propostas na etapa de otimização (Tabela 7) e duas formulações controle (T(-) e T(+)) conforme a Tabela 2) foram submetidas à avaliação de perfil livre por 12 julgadores (J1–J12). Cada uma das formulações foi julgada em três repetições genuínas (R1–R3).

Os dados provenientes do perfil livre foram analisados através do método CCSWA para a obtenção uma distribuição de consenso dos julgadores. Assim, foi determinado que duas componentes comuns (CC1 e CC2) são suficientes para representar 95,1 % da variância dos dados.

Na Figura 20(a) observa-se que as formulações foram claramente segmentadas e as repetições identificadas pelos julgadores. As amostras T(-) e T(+) estão bem próximas devido à semelhança de composição, de acordo com os julgadores o nível de água não resultou em grandes diferenças sensoriais nas formulações contendo apenas trigo. Partindo das proporções de farinha das misturas otimizadas (Tabela 7), é possível observar que as formulações F1 e F3 que contêm maca estão no quadrante negativo da CC1 que representa 75,7 % da variância contida nos dados. Além disso, a formulação F3 que apresenta o maior teor de maca apresenta os menores valores na CC1. Já a amostra F2 que possui maior proporção de yacon e ausência de maca ficou próxima à origem da CC1 enquanto que as amostras controle que continham apenas trigo possuem os maiores valores na CC1. Na CC2, que representa 19,4 % da variância, observou-se que a formulação F2, com o maior teor yacon, apresentou os menores valores nessa componente. A formulação F1 (37 % de yacon) também ficou no quadrante negativo, porém mais próxima da origem da CC2. Já as formulações F3 (25 % de yacon) e as formulações contendo apenas trigo localizaram-se no quadrante positivo da CC2.

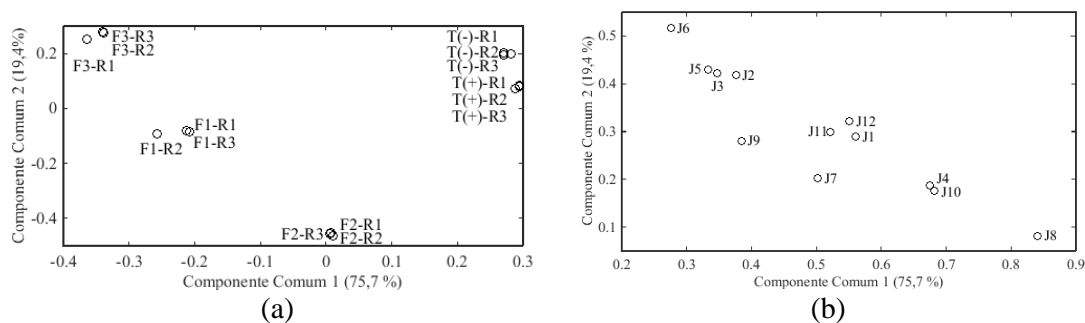


Figura 20: Avaliação do perfil livre usando CCSWA: (a) Gráfico de consenso e (b) gráfico de saliências.

Na Figura 20(b) são apresentadas as saliências de cada julgador para cada componente comum. Ou seja, o peso que cada julgador tem para a formação daquela componente comum. O julgador J8 é o mais importante para a construção da CC1 enquanto que o J6 é mais importante para a CC2. A análise das saliências também permite identificar os julgadores que não conseguiram discriminar as amostras, i.e., aqueles que apresentam baixas saliências em todos as componentes comuns mais relevantes (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995). Nenhum dos 12 julgadores que participaram do perfil livre apresentaram, simultaneamente, saliências próximas de zero nas componentes comuns 1 e 2.

Na Figura 21 está representado através de diagramas de barras as correlações entre os atributos utilizados pelo julgador J6 (mais importante para a CC2) e J8 (mais importante para a CC1). A linha horizontal tracejada representa o valor crítico para considerar a correlação estatisticamente significativa ao nível de 95 % de confiança. A correlação dos valores das CCs com os valores dos atributos utilizados pelos julgadores pode ser utilizada para a descrição sensorial das amostras (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995).

As demais correlações estatisticamente significativas entre as componentes comuns e os atributos dos julgadores foram organizadas na Tabela 13.

Analisando as correlações, positivas de negativas, dos atributos avaliados pelos julgadores J1–J12 com as componentes comuns encontradas, é possível inferir uma interpretação sensorial das componentes comuns e, conseqüentemente, uma associação entre as proporções de yacon e maca sobre as características sensoriais relevantes.

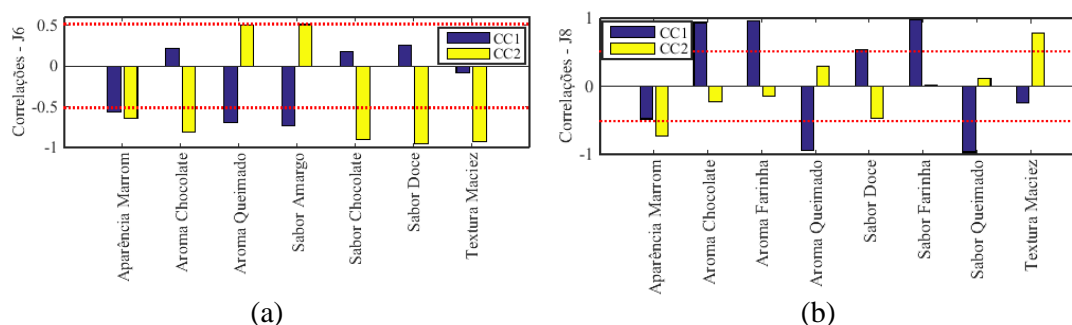


Figura 21: Correlação dos atributos dos julgadores com as dimensões comuns 1 e 2: (a) julgador J6; (b) julgador J8. A linha horizontal pontilhada representa o valor crítico para a correlação ser estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Assim, uma maior proporção de maca intensifica a cor marrom (10 correlações inversas na CC1, nenhuma correlação direta), o aroma e sabor de queimado (11 e 5 correlações inversas na CC1, respectivamente, nenhuma correlação direta). Já uma maior proporção de yacon produz uma melhor aparência (9 correlações inversas na CC2, nenhuma correlação direta), maciez (5 correlações inversas na CC2, 2 correlações diretas), sabor doce (2 correlações inversas na CC2, nenhuma correlação direta) e de chocolate (7 correlações inversas na CC2, nenhuma correlação direta).

Uma maior proporção de maca, muito embora traga contribuições à aparência percebida do bolo, traz prejuízo às duas características sensoriais cruciais, seu sabor e aroma. Conforme verificado experimentalmente, a adição da maca traz sabor e aroma de queimado ao bolo, diminuindo sua aceitabilidade.

Já uma maior proporção de yacon, além de também trazer benefícios à aparência do bolo, não introduz nenhum atributo deletério à sua aceitação sensorial. Bolos com maior proporção de yacon tiveram características desejáveis como: maciez, doçura e sabor de chocolate, acentuadas.

Tabela 13: Correlações significativas ($p < 0,05$) entre as componentes comuns (CC) e os atributos sensoriais levantados no perfil livre.

Correlações com a CC1		Correlações com a CC2	
Negativa	Positiva	Negativa	Positiva
Aroma queimado (11)	Aroma chocolate (6)	Aparência marrom (9)	
Aparência marrom (10)	Aroma farinha (3)	Sabor chocolate (7)	Dureza (4)
Sabor queimado (8)	Sabor chocolate (3)	Maciez (5)	Sabor queimado (2)
Maciez (3)	Sabor farinha (3)	Aroma chocolate (4)	Aroma queimado (2)
Aroma chocolate (2)	Dureza (2)	Umidade (2)	Maciez (1)
Umidade (2)	Secura (1)	Sabor doce (2)	Aroma chocolate (1)
Sabor chocolate (2)	Sabor doce (1)	Aroma queimado (1)	Secura (1)
Aroma fermento (1)	Sabor manteiga (1)	Sabor cru (1)	
Sabor doce (1)	Umidade (1)	Viscosidade (1)	
Aroma óleos exóticos (1)	Sabor leite (1)		

6 CONCLUSÕES

O planejamento experimental proposto se mostrou bastante eficiente para a construção das superfícies de resposta da análise sensorial, bem como para as respostas obtidas pelas análises instrumentais realizadas.

A etapa de segmentação foi importante para garantir modelos com maior capacidade preditiva. Além disso, foi comprovado que os consumidores que consomem produtos integrais com mais frequência são mais tolerantes à substituição do trigo pelo yacon e pela maca.

O método otimização simplex sequencial possibilitou a determinação de formulações ótimas para cada grupo além de propor outra possível mistura com maior teor de maca.

O emprego do perfil livre associado à CCSWA foi capaz de fazer uma descrição sensorial das formulações otimizadas junto às duas formulações de controle. A substituição do trigo pelo yacon traz características desejáveis, como maior maciez, doçura e acentuação do sabor e aroma de chocolate. Já a substituição do trigo pela maca, embora benéfica à avaliação da aparência do bolo, trouxe prejuízos às avaliações de aroma e sabor.

Em suma, a análise dos resultados obtidos neste trabalho mostra que enquanto a substituição do trigo pelo yacon se mostrou desejável, havendo melhora na percepção sensorial, a substituição pela maca se mostrou deletéria à avaliação sensorial, introduzindo um desagradável aroma e sabor de queimado nos bolos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. T.; SCHMIDT, H.; OLIVEIRA, V. R. DE. Physicochemical profile and sensory evaluation of cakes with flaxseed and yacon flour associated to sweeteners. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 32, n. 1, p. 135–144, jun. 2014.
- ANVISA. **Resolução RDC no 12, de 02 de janeiro de 2001** Brasília Diário Oficial da União, 2000.
- APOLINÁRIO, A. C. et al. Inulin-type fructans: a review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. **Carbohydrate polymers**, v. 101, n. 1, p. 368–78, jan. 2014.
- ARCIA, P. L.; COSTELL, E.; TÁRREGA, A. Inulin blend as prebiotic and fat replacer in dairy desserts: optimization by response surface methodology. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 5, p. 2192–200, maio 2011.
- ARENDT, E. K.; RENZETTI, S.; DAL BELLO, F. Dough microstructure and textural aspects of gluten-free yeast bread and biscuits. In: **Gluten-Free Food Science and Technology**. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2009. p. 107–129.
- BARROS NETO, B. DE; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BONA, E. et al. Aplicativo para otimização empregando o método simplex sequencial. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 5, p. 1201–1206, 2000.
- BONA, E. et al. Difusão multicomponente durante a salga mista de queijo prato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 394–400, 2005.
- BORSATO, D. et al. Simulation of the multicomponent diffusion during the osmotic dehydration of apple: determination of the diffusion coefficients by the simplex method. **Semina-Ciencias Agrarias**, v. 31, n. 2, p. 391–403, 2010.
- BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, v. 30, n. 7, p. 447–451, 1985.
- CALADO, V.; MONTGOMERY, D. **Planejamento de Experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: E-papers, 2003.
- CAMPOS, D. et al. Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 747–754, ago. 2013.
- CARABIN, I. G.; FLAMM, W. G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. **Regulatory toxicology and pharmacology : RTP**, v. 30, n. 3, p. 268–82, dez. 1999.
- CASTRO, A. et al. Dietary fiber, fructooligosaccharides, and physicochemical properties of homogenized aqueous suspensions of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 392–400, jan. 2013.
- CASTRO, I. A. et al. Simultaneous optimization of response variables in protein mixture formulation: Constrained simplex method approach. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, p. 103–110, 2003.
- CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects**. 2. ed. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2008.

CHARALAMPOPOULOS, D.; RASTALL, R. A. Prebiotics in foods. **Current opinion in biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 187–91, abr. 2012.

CINI, J. R. DE M. et al. Comparação dos métodos de determinação da estabilidade oxidativa de biodiesel B100, em mistura com antioxidantes sintéticos: aplicação do delineamento simplex-centroide com variável de processo. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 79–84, 2013.

CLÉMENT, C. et al. Influence of colour type and previous cultivation on secondary metabolites in hypocotyls and leaves of maca (*Lepidium meyenii* Walpers). **Journal of the science of food and agriculture**, v. 90, n. 5, p. 861–869, abr. 2010.

CORNELL, J. A. **A Primer on Experiments with Mixtures**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

CORNELL, J. A.; DENG, J. C. Combining Process Variables and Ingredient Components in Mixing Experiments. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 3, p. 836–843, maio 1982.

COWGILL, M. C.; HARVEY, R. J.; WATSON, L. T. A genetic algorithm approach to cluster analysis. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 37, n. 99, p. 99–108, 1999.

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A cluster separation measure. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. PAMI-1, n. 2, p. 224–227, 1979.

DE CASTRO, F. P. et al. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 68–74, fev. 2009.

DE OLIVEIRA, A. P. V.; BENASSI, M. DE T. Avaliação sensorial de pudins de chocolate com açúcar e dietéticos por perfil livre. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 146–154, 2010.

DELGADO, G. T. C. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)-derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition research (New York, N.Y.)**, v. 32, n. 11, p. 884–92, nov. 2012.

DINI, A. et al. Chemical composition of *Lepidium meyenii*. **Food Chemistry**, v. 49, p. 347–349, 1994.

DINI, I.; TENORE, G. C.; DINI, A. Glucosinolates from Maca (*Lepidium meyenii*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 30, n. 11, p. 1087–1090, dez. 2002.

DONALDSON, B. A.; BAMFORTH, C. W.; HEYMANN, H. Sensory Descriptive Analysis and Free-Choice Profiling of Thirteen Hop Varieties as Whole Cones and After Dry Hopping of Beer. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 70, n. 3, p. 176–181, 2012.

DUTCOSKY, S. D. et al. Combined sensory optimization of a prebiotic cereal product using multicomponent mixture experiments. **Food Chemistry**, v. 98, n. 4, p. 630–638, jan. 2006.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 4. ed. Curitiba: Editora Champagnat, 2013.

ESTELLER, M. S.; ZANCANARO JÚNIOR, O.; LANNES, S. C. D. S. Bolo de “chocolate” produzido com pó de cupuaçu e kefir. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, p. 447–454, 2006.

FAHEY, J. W.; ZALCMANN, A. T.; TALALAY, P. The chemical diversity and distribution

of glucosinolates and isothiocyanates among plants. **Phytochemistry**, v. 56, n. 1, p. 5–51, jan. 2001.

FERREIRA, S. L. C. **Introdução às Técnicas de Planejamento de Experimentos**. Primeira e ed. Salvador: Editora e Gráfica Vento Leste, 2015.

FLORES, H. E. et al. Andean Root and Tuber Crops: Underground Rainbows. **HortScience**, v. 38, n. 2, p. 161–167, 2003.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, n. 2, p. 287–291, mar. 2002.

FUCHS, R. H. et al. Development of a freeze-dried mixture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) croquette using a GA-based multiobjective optimisation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 5, p. 1042–1048, mar. 2013.

GAO, F.; HAN, L. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters. **Computational Optimization and Applications**, v. 51, n. 1, p. 259–277, 4 jan. 2012.

GENTA, S. et al. Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)**, v. 28, n. 2, p. 182–7, abr. 2009.

GÓMEZ, M. et al. ARTICLE IN PRESS Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. v. 21, p. 167–173, 2007.

GONZALES, C. et al. Effect of short-term and long-term treatments with three ecotypes of *Lepidium meyenii* (MACA) on spermatogenesis in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 103, n. 3, p. 448–454, fev. 2006.

GONZALEZ-TOMÁS, L.; COLL-MARQUÉS, J.; COSTELL, E. Viscoelasticity of inulin–starch-based dairy systems. Influence of inulin average chain length. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 7, p. 1372–1380, out. 2008.

GUGGISBERG, D. et al. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 2, p. 107–115, fev. 2009.

HOFFMANN, G. **CIELab Color Space**.

IDRIS, N. et al. Performance evaluation of shortenings based on palm oil and butterfat in yellow cake. **Fett/Lipid**, v. 98, n. 4, p. 144–148, 1996.

JOHNS, T. The añu and the maca. **Journal of Ethnobiology**, v. 1, n. 2, p. 208–2012, 1981.

JOUAN-RIMBAUD BOUVERESSE, D. et al. Identification of significant factors by an extension of ANOVA-PCA based on multi-block analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 106, n. 2, p. 173–182, 2011.

KALYANI NAIR, K.; KHARB, S.; THOMPSON, D. K. Inulin Dietary Fiber with Functional and Health Attributes—A Review. **Food Reviews International**, v. 26, n. 2, p. 189–203, mar. 2010.

KASSOUF, A. et al. Chemometric tools to highlight non-intentionally added substances (NIAS) in polyethylene terephthalate (PET). **Talanta**, v. 115, p. 928–37, out. 2013.

KAYS, S. J.; NOTTINGHAM, S. F. Chemical Composition and Inulin Chemistry. In: **Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke**. [s.l.] CRC Press, 2007. p. 53–96.

- LEE, K.-J. et al. Activity-guided fractionation of phytochemicals of maca meal, their antioxidant activities and effects on growth, feed utilization, and survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. **Aquaculture**, v. 244, n. 1-4, p. 293–301, fev. 2005.
- LEE, M. S. et al. Maca (*Lepidium meyenii*) for treatment of menopausal symptoms: A systematic review. **Maturitas**, v. 70, n. 1, p. 227–33, nov. 2011.
- LEITÃO, R. F. F. et al. Estudos de duas culturas de triticale e sua aplicação em produtos de massas alimentícias (macarrão, biscoito e bolos). **Boletim ITAL**, v. 21, n. 3, p. 325–334, 1984.
- LI, G.; AMMERMANN, U.; QUIRÓS, C. F. Glucosinolate contents in maca (*Lepidium peruvianum* Chacón) seeds, sprouts, mature plants and several derived commercial products. **Economic Botany**, v. 55, n. 2, p. 255–262, 2001.
- MADE ARTIKA, I. et al. Antibacterial Activity of Propolis Supplemented-Chewing Candy Against *Streptococcus mutans*. **Microbiology Indonesia**, v. 5, n. 2, p. 99–102, 2011.
- MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. [Inulin and derivatives as key ingredients in functional foods]. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, v. 57, n. 4, p. 387–396, 2007.
- MARCELLINI, P. S.; DELIZA, R.; BOLINI, H. M. A. Caracterização sensorial de suco de abacaxi concentrado, reconstituído e adoçado com diferentes edulcorantes e sacarose. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 143–150, 2006.
- MAZEROLLES, G. et al. Common components and specific weights analysis: A chemometric method for dealing with complexity of food products. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 81, n. 1, p. 41–49, 2006.
- MENDOZA, E. et al. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 387–393, abr. 2001.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E A. S. DE D. A. **Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003** Brasília Diário Oficial da União, , 2003.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467–469, 1998.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
- MORAIS, E. C. et al. Prebiotic gluten-free bread: Sensory profiling and drivers of liking. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 248–254, jan. 2014.
- MOSCATTO, J. A. et al. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 181–188, 2006.
- MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 634–640, 2004.
- NACANO, E. T. **Avaliação do comportamento reológico e colorimétrico de chocolates**. [s.l.] UTFPR, 2013.
- NAES, T.; BROCKHOFF, P. B.; TOMIC, O. **Statistics for Sensory and Consumer Science**. 1. ed. Chippenham: John Wiley & Sons, 2010.
- OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic

oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 1, p. 40–46, jan. 2011.

OLIVEIRA, A. P. V. DE et al. Medida Instrumental de Cor em Sobremesas Lácteas de Chocolate : uma Técnica de Baixo Custo e Versátil Utilizando Câmara Digital. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 191–196, 2003.

OLIVEIRA, G. O.; BRAGA, C. P.; FERNANDES, A. A. H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.& Endl.)] treatment. **Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 59, p. 256–60, set. 2013.

PADILHA, V. M. et al. Perfil sensorial de bolos de chocolate formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 735–740, 2010.

PEDRESCHI, R. et al. Andean yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 18, p. 5278–84, ago. 2003.

QANNARI, E. M. et al. Defining the underlying sensory dimensions. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 1-2, p. 151–154, jan. 2000.

QANNARI, E. M.; COURCOUX, P.; VIGNEAU, E. Common components and specific weights analysis performed on preference data. **Food Quality and Preference**, v. 12, n. 5-7, p. 365–368, jul. 2001.

QANNARI, E. M.; WAKELING, I.; MACFIE, H. J. H. A hierarchy of models for analysing sensory data. **Food Quality and Preference**, v. 6, n. 4, p. 309–314, jan. 1995.

REA, J. Andean roots. In: HERNÁNDEZ BERMEJO, J. E.; LEÓN, J. (Eds.). **Neglected Crops 1942 from a different perspective**. Rome: FAO, 1992. p. 165–179.

ROLIM, P. M. et al. Glycemic profile and prebiotic potential “in vitro” of bread with yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 467–474, jun. 2011.

RONDÁN-SANABRIA, G. G.; FINARDI-FILHO, F. Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 492–498, maio 2009.

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53–65, nov. 1987.

RUBIO, J. et al. Aqueous and hydroalcoholic extracts of Black Maca (*Lepidium meyenii*) improve scopolamine-induced memory impairment in mice. **Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 45, n. 10, p. 1882–90, out. 2007.

SANDOVAL, M. et al. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). **Food Chemistry**, v. 79, n. 2, p. 207–213, nov. 2002.

SANTOS, D. A. M. DOS et al. Free choice profiling, acceptance and purchase intention in the evaluation of different biscuit formulations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 6, p. 613–623, dez. 2015.

SIMOES COSTA, A. M. et al. Astringency quantification in wine: comparison of the electronic tongue and FT-MIR spectroscopy. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 207, p. 1095–1103, 2015.

SIMPSON, S. J.; PIGGOT, J. R.; WILLIAMS, S. A. R. Sensory analysis. **International Journal of Food and Agriculture**, v. 67, n. 1, p. 61–67, 1995.

ŠUKLJE, K. et al. Inactive dry yeast application on grapes modify Sauvignon Blanc wine aroma. **Food chemistry**, v. 197 Pt B, p. 1073–84, abr. 2016.

TAKENAKA, M. et al. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 3, p. 793–796, jan. 2003.

TEXTURE TECHNOLOGIES. **An Overview of Texture Profile Analysis (TPA)**.

TRAYNOR, M. P. et al. Sensory and chemical interactions of food pairings (basmati rice, bacon and extra virgin olive oil) with banana. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 569–577, nov. 2013.

UCHIYAMA, F. et al. *Lepidium meyenii* (Maca) enhances the serum levels of luteinising hormone in female rats. **Journal of ethnopharmacology**, v. 151, n. 2, p. 897–902, fev. 2014.

UTHAYAKUMARAN, S. et al. Basic rheology of bread dough with modified protein content and gluten-to-glandin ratios. **Cereal Chemistry**, v. 77, n. 6, p. 744–749, 2000.

VALENTOVÁ, K. et al. The in vitro biological activity of *Lepidium meyenii* extracts. **Cell biology and toxicology**, v. 22, n. 2, p. 91–99, mar. 2006.

VALENTOVÁ, K. et al. Maca (*Lepidium meyenii*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in combination with silymarin as food supplements: in vivo safety assessment. **Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 46, n. 3, p. 1006–13, mar. 2008.

VAZ-TOSTES, M. DAS G. et al. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v. 30, n. 6, p. 666–672, jun. 2014.

VIEIRA, V. **CIELAB color space**.

WANG, Y. et al. Maca: An Andean crop with multi-pharmacological functions. **Food Research International**, v. 40, n. 7, p. 783–792, ago. 2007.

WANG, Y. Prebiotics: Present and future in food science and technology. **Food Research International**, v. 42, n. 1, p. 8–12, jan. 2009.

WESTAD, F.; HERSLETH, M.; LEA, P. Strategies for consumer segmentation with applications on preference data. **Food Quality and Preference**, v. 15, n. 7-8, p. 681–687, out. 2004.

WILLIAMS, A. A.; LANGRON, S. P. The use of free-choice profiling for the evaluation of commercial ports. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 35, n. 5, p. 558–568, maio 1984.

YÁBAR, E. et al. Glucosinolate content and myrosinase activity evolution in three maca (*Lepidium meyenii* Walp.) ecotypes during preharvest, harvest and postharvest drying. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1576–1583, ago. 2011.

YAN, X. et al. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 47, n. 11, p.

4711–4713, nov. 1999.

YI, T. et al. Comparison of ten major constituents in seven types of processed tea using HPLC-DAD-MS followed by principal component and hierarchical cluster analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 194–201, jun. 2015.

ZARIT, B. D.; SUPER, B. J.; QUEK, F. K. H. **Comparison of five color models in skin pixel classification** Proceedings International Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems. In Conjunction with ICCV'99 (Cat. No.PR00378). **Anais...IEEE Comput. Soc**, 1999

ZHA, S. et al. Extraction, purification and antioxidant activities of the polysaccharides from maca (*Lepidium meyenii*). **Carbohydrate polymers**, v. 111, p. 584–587, out. 2014.

ZHENG, B. L. et al. Effect of a lipidic extract from *lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats. **Urology**, v. 55, n. 4, p. 598–602, abr. 2000.

APÊNDICE I – FICHA DE AVALIAÇÃO DA ANÁLISE DE PERFIL LIVRE

Nome: _____, Amostra: _____, Data: ____/____/____
Aparência:
marrom ----- claro ----- escuro
Aroma:
chocolate ----- fraco ----- forte
fermento ----- fraco ----- forte
queimado ----- fraco ----- forte
Sabor:
chocolate ----- fraco ----- forte
queimado ----- fraco ----- forte
Textura:
dureza ----- baixa ----- alta
firmeza ----- baixa ----- alta
maciez ----- baixa ----- alta
viscosidade ----- baixa ----- alta

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO APRESENTADO AOS JULGADORES

Nome: _____

Data: ____/____/____ Telefone: (____) _____-_____

Você costuma consumir alimentos integrais?

Sim

Não

Você procura consumir um alimento por saber que ele pode trazer algum benefício a sua saúde?

Sim

Não

Você prefere consumir determinado tipo de alimento por ele ser light/diet?

Sim

Não

Você gostaria de aumentar o conteúdo de fibra na sua dieta?

Sim

Não

Você pagaria mais por um bolo com propriedades funcionais?

Sim

Não



ANEXO I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da pesquisa: Desenvolvimento de formulação para bolo contendo farinha de maca e Yacon.

Pesquisador(es), com endereços e telefones: Marcela Marta Lazaretti Tormena.

Rua dos Colonizadores, 297, Jardim Francisco Ferreira Albuquerque, Campo Mourão, PR.
Telefone: (44) 3525-5514; Celular: (44) 9729-2819

Engenheiro ou médico ou orientador ou outro profissional responsável: Prof. Dr. Evandro Bona.

Local de realização da pesquisa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Endereço, telefone do local: Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 CEP 87301-899 Caixa Postal: 271. Campo Mourão, Paraná, Brasil. Telefone: (44) 3518-1400.

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

Estamos realizando um projeto para o trabalho de Mestrado da aluna Marcela Marta Lazaretti Tormena, intitulado “Desenvolvimento de formulação para bolo contendo farinha de maca e yacon”.

O(a) Sr.(a) foi plenamente esclarecido de que participando deste projeto estará participando de um estudo de cunho acadêmico, que tem como um dos objetivos: A elaboração de um bolo de chocolate parcialmente substituído com farinhas de maca peruana e batata yacon.

Embora o(a) Sr.(a) venha a aceitar a participar neste projeto, estará garantido que o(a) Sr.(a) poderá desistir a qualquer momento bastando para isso informar sua decisão. Foi esclarecido ainda que, por ser uma participação voluntária e sem interesse financeiro o(a) Sr.(a) não terá direito a nenhuma remuneração.

Os dados referentes ao Sr.(a) serão sigilosos e privados, preceitos estes assegurados pela Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, sendo que o(a) Sr.(a) poderá solicitar informações durante todas as fases do projeto, inclusive após a publicação dos dados obtidos a partir desta.

Participação na pesquisa: os julgadores voluntários que participarão da pesquisa terão como atividade o consumo de amostras de bolo para imediata análise sensorial por parte do

mesmo, que consiste em graduar as amostras, em uma escala de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo), nos parâmetros: cor, sabor, textura e impressão geral.

Desconfortos e ou Riscos: As amostras de bolo serão submetidas à análise microbiológica específica, garantindo a inocuidade do produto. Dessa forma o projeto não apresenta riscos físicos ao julgador. No entanto, o julgador pode se sentir constrangido ao participar do teste ou apresentar cansaço ao longo do treinamento. Caso isso aconteça o julgador pode abandonar o projeto a qualquer momento sem nenhum tipo de ônus.

Benefícios: Não há benefícios diretos ao julgador. No entanto, o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis é muito importante para a indústria de alimentos. Anualmente observa-se o crescimento do mercado consumidor de alimentos funcionais, indicando que as pessoas estão buscando cada vez mais alimentos saudáveis.

Critérios de inclusão e exclusão

Inclusão: Os critérios utilizados para a inclusão para o teste de aceitação neste estudo são: pessoas com idades entre 18 e 40 anos, de ambos os sexos, de qualquer classe social, que aceitem participar da pesquisa e apresentem o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) preenchido.

Exclusão: Os critérios utilizados para a exclusão de pessoas neste estudo são: pessoas que estejam com algum tipo de doença que possa interferir nos resultados finais das análises sensoriais (gripes, resfriados ou crises de rinite alérgica); pessoas que apresentam intolerância ao glúten; pessoas com diabetes; pessoas não alfabetizadas.

Ressarcimento ou indenização

Não haverá ressarcimento pela participação na pesquisa, mas sim indenização em caso do projeto causar prejuízos ao julgador, conforme estabelecido pela Resolução 466/12.

CONSENTIMENTO

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome completo: _____

RG: _____

Data de Nascimento: ___/___/_____

Telefone: _____

Endereço: _____

CEP: _____

Cidade: _____

Estado: _____

Assinatura:

Data: ___/___/_____

Assinatura pesquisador (ou seu
representante):

Data: ___/___/_____

Nome completo: _____

**Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa para recurso ou reclamações do sujeito
pesquisado**

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, telefone:

3310-4943, e-mail: coep@utfpr.edu.br.

ANEXO II – TERMO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

UNIVERSIDADE
TECNOLOGICA FEDERAL DO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de formulação para bolo contendo farinha de maca e yacon

Pesquisador: Marcela Marta Lazaretti Tormena

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 42532915.8.0000.5547

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.136.212

Data da Relatoria: 02/07/2015

Apresentação do Projeto:

Neste trabalho será obtida uma receita otimizada de bolo de chocolate, com substituição parcial da farinha de trigo por uma mistura de farinha de batata yacon e maca peruana. As proporções das farinhas, bem como a quantidade de água acrescentada à massa, serão avaliadas de acordo com os resultados da análise sensorial. Finalmente, os próprios resultados desta análise sensorial serão estudados através de técnicas de Mapas Auto-Organizáveis, no âmbito de Redes Neurais Artificiais.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Desenvolver uma mistura para bolo de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo pelas farinhas de yacon e maca.

Objetivo Secundário:

- Aplicar um planejamento de mistura do tipo simplex-centroid (mistura de farinhas de trigo, maca e yacon) com a inclusão de um parâmetro de processo (quantidade de água) para avaliar o efeito das variáveis na textura, volume específico e cor instrumental dos bolos.
- Otimizar a formulação com base nos parâmetros físicos avaliados.
- Aplicar um teste discriminativo (Tetrad) para verificar a similaridade com o controle (apenas

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165

Bairro: CENTRO

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4943

CEP: 80.230-901

E-mail: coep@utfpr.edu.br

Continuação do Parecer: 1.136.212

farinha de trigo) e um teste afetivo de aceitação (escala hedônica).

- Aplicar uma Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) para a formulação controle e otimizada.
- Avaliar o uso do software livre PanelCheck na análise dos dados da ADQ.
- Avaliar a aplicação de redes neurais artificiais do tipo SOM(Self-Organizing Maps— Mapas Auto-Organizáveis) na análise dos dados da ADQ.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo a autora

Riscos:

As amostras de bolo serão submetidas a análise microbiológica específica, garantindo a inocuidade do produto. Dessa forma o projeto não apresenta riscos físico ao provador. No entanto, o provador pode se sentir constrangido ao participar do teste ou apresentar cansaço ao longo do treinamento para ADQ. Caso isso aconteça o provador pode abandonar o projeto a qualquer momento sem nenhum tipo de ônus.

Benefícios:

Não há benefícios diretos ao provador. No entanto, o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis é muito importante para a indústria de alimentos. Anualmente observa-se o crescimento do mercado consumidor de alimentos funcionais, indicando que as pessoas estão buscando cada vez mais alimentos saudáveis.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O trabalho é relevante.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O projeto proposto atende as recomendações da Resolução 466/12.

Recomendações:

Não há

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165	CEP: 80.230-901
Bairro: CENTRO	
UF: PR	Município: CURITIBA
Telefone: (41)3310-4943	E-mail: coep@utfpr.edu.br

UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 1.136.212

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Lembramos aos senhores pesquisadores que, no cumprimento da RESOLUÇÃO Nº 466, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2012, o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) deverá receber relatórios anuais sobre o andamento do estudo, bem como a qualquer tempo e a critério do pesquisador nos casos de relevância, além do envio dos relatos de eventos adversos, para conhecimento deste Comitê. Salientamos ainda, a necessidade de relatório completo ao final do estudo.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP-UTFPR de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado e as suas justificativas.

CURITIBA, 02 de Julho de 2015

Assinado por:
Frieda Saclá Barros
(Coordenador)

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165

Bairro: CENTRO

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4943

CEP: 80.230-901

E-mail: coep@utfpr.edu.br