

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RENNAN DE VASCONCELOS CORREIA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA NO
FORNEAMENTO DE BISCOITOS**

JOÃO PESSOA – PB

2016

RENNAN DE VASCONCELOS CORREIA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA NO
FORNEAMENTO DE BISCOITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Graduado, do curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Campus I, João Pessoa.

Orientador: Prof. Dr. Pierre Correa Martins

JOÃO PESSOA – PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying the lower half of the page. It is intended for a catalog card (FICHA CATALOGRÁFICA).


RENNAN DE VASCONCELOS CORREIA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA NO
FORNEAMENTO DE BISCOITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Graduado, do curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Campus I, João Pessoa.


Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA



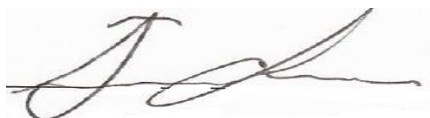
Prof. Dr. Pierre Corrêa Martins

Orientador



Prof. Dr^a Joselma Araujo de Amorim

Professor Convidado



Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar

Professor Convidado

Dedico este trabalho a minha mãe, Celia, ao meu pai, Rinovani, a minha avó materna, Maria Madalena, ao meu irmão Robson, e a minha namorada Alanna, por todo incentivo e força nesta graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, o nosso criador, por minha vida e pela oportunidade de chegar até aqui.

À minha mãe, Celia de Vasconcelos Correia, por sempre ter acreditado em mim, por sua dedicação, amor, carinho e incentivo.

Ao meu pai, Rinovani Correia Bezerra, pelo afeto, amor, incentivo e dedicação, me ajudando hoje e sempre.

À minha avó, Maria Madalena, por toda a ajuda que nos proporcionou, sempre estando presente na nossa família, com carinho e amor.

À minha namorada Alanna, por todo o carinho e incentivo, sempre me impulsionando nesta reta final de curso.

Ao professor Dr. Pierre, pela abertura a diálogos com seus alunos, pelo incentivo, ajuda, e paciência, a quem agradeço imensamente e tenho bastante respeito.

À todos os responsáveis e às estagiárias do LEA, por toda a ajuda que me proporcionaram durante o experimento em laboratório.

A todos os meus amigos e colegas do curso de engenharia de alimentos e desta Universidade.

*“Nem só de pão vive o homem,
mas de toda a palavra que sai
da boca de Deus”*

Jesus Cristo

RESUMO

O biscoito é um produto alimentício composto basicamente de farinha de trigo, gordura e açúcar, apresentando baixo conteúdo de umidade e considerável tempo de prateleira, a partir de seis meses. É um produto de panificação muito consumido mundialmente. O forneamento ou assamento da massa é uma das principais etapas da produção de biscoitos. O objetivo desse trabalho foi avaliar os parâmetros de operação tempo e temperatura de biscoitos nesta etapa. A metodologia utilizada para avaliar essa fase de produção dos biscoitos foi a aplicação de um delineamento estatístico experimental DCCR do tipo 2^2 com pontos centrais e axiais (planejamento do tipo estrela) para as variáveis tempo (13-27 min) e temperatura (151-210 °C). A formulação dos biscoitos foi adaptada da literatura, avaliando-se a proporção de gordura vegetal hidrogenada adicionada à massa. As variáveis de resposta do DCCR para avaliar a faixa otimizada do forneamento dos biscoitos foram os resultados das determinações físicas aplicadas ao material (atividade de água, conteúdo de umidade, massa, dimensões) e suas relações (perda de umidade, perda de atividade de água, %expansão, perda de massa, perda de umidade por perda de massa, redução de atividade de água por perda de massa, %expansão por perda de massa). O produto produzido foi comparado a um biscoito comercial similar. Os resultados demonstraram que a maior proporção de gordura vegetal adicionada à massa melhora a sua manipulação. O tempo e a temperatura foram estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5%, para todas as respostas do DCCR aplicado aos ensaios de assamento dos biscoitos. O tempo exerceu maior influência que a temperatura. A faixa otimizada de operação para os ensaios de forneamento foi de 15 a 17 min e 180 a 190 °C. O biscoito dos ensaios produzidos na faixa otimizada de operação apresentou resultados menores de conteúdo de umidade e atividade de água em relação ao produto comercial.

Palavras-chave: biscoitos, forneamento, planejamento experimental.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1	Biscoito: História e definições.....	10
2.2	Classificação dos biscoitos	12
2.3	O mercado de biscoitos no Brasil	13
2.4	Biscoito semi doce duro	14
2.5	Descrição e funcionalidade dos ingredientes dos biscoitos	15
2.5.1	Farinha.....	15
2.5.2	Açúcar.....	17
2.5.3	Gordura.....	18
2.6	Etapas do processamento	18
2.6.1	Mistura	18
2.6.2	Descanso da massa.....	19
2.6.3	Laminação e corte	20
2.6.4	Assamento ou forneamento dos biscoitos	20
2.6.5	Resfriamento.....	23
2.7	Parâmetro de qualidade para a conservação de alimentos: Atividade de água	23
3	OBJETIVOS	25
3.1	Objetivo geral.....	25
3.2	Objetivos específicos	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Materiais e equipamentos	26
4.2	Metodologia experimental.....	27
4.2.1	Formulação e preparo dos biscoitos para os ensaios de forneamento ..	27
4.2.2	Caracterização do material	32
4.2.3	Ensaio experimentais de forneamento dos biscoitos	33
4.3	Metodologia estatística	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Produção dos biscoitos	37
5.2	Ensaio experimentais de forneamento dos biscoitos	38
5.3	Comparação do produto com similar comercial.....	53
6	CONCLUSÃO	55
7	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICES	60
	APÊNDICE A.....	60
	APÊNDICE B	66

1 INTRODUÇÃO

O biscoito é um produto alimentício composto de ingredientes, que na sua maioria são farinha de trigo, gordura e açúcar, com teor de umidade baixo, proporcionando-lhe um bom tempo de prateleira, quando armazenado em embalagens que possuem uma proteção resistente ao contato com a umidade do meio externo, ou seja, ambiente (MONTEIRO e MARTINS, 2003). Inicialmente, o termo biscoito foi utilizado para atribuir denominação a um pão rígido (duro) com pequeno tamanho, e que quando estocado durante um longo período permanecia conservado sem qualquer tipo de perdas de suas características próprias (PENTEADO, 2012). O termo origina-se do latim “*bis coctus*”, ou do francês “*bescoit*”, vocábulos que representam cozido duas vezes, devido à tradição de que, no início, o produto era assado em forno quente e posteriormente colocado num forno mais frio. Em outros países, como Inglaterra e Estados Unidos, são chamados respectivamente de “*cookies*” e “*crackers*” (BERNUSSI, 1996).

De acordo com Ferrão (2012), o objetivo principal do tratamento térmico é causar uma eliminação e/ou inativação de microrganismos e enzimas, tornando o alimento próprio para o consumo humano e com maior tempo de prateleira possível. Durante esse processo, acontecem vários tipos de reações (químicas, bioquímicas e físicas) e essas podem diminuir a qualidade e aceitabilidade do produto. Sendo assim, os parâmetros de temperatura e tempo têm que ser bem definidos para inativar os microrganismos e enzimas, minimizando as perdas sensoriais e nutricionais dos alimentos.

O interesse no desenvolvimento desse trabalho baseia-se na importância do conhecimento do processamento de biscoitos, devido a este ser um produto muito difundido e de alto consumo em todo o mundo. Contempla também a pesquisa sobre conceito, classificação e mercado de biscoitos, no entanto, seu principal foco é aplicar as ferramentas analíticas, químicas, físicas e matemáticas abordadas no curso de Engenharia de Alimentos para avaliar uma etapa de produção de biscoitos, que foi a do tratamento térmico ou forneamento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Biscoito: História e definições

De acordo com Gomes-Ruffi (2011), o conceito de biscoito vem se transformando com o tempo. Em épocas remotas, os homens comiam grãos crus, moendo-os lentamente e triturando-os com os dentes. Esse hábito alimentar acabou conduzindo a outro procedimento: amassar os grãos entre pedras, misturando água, secando posteriormente a massa no fogo até essa se tornar seca e dura. Para consumi-la, era recortada em pequenos pedaços. Surgiam assim os biscoitos. Na antiguidade, os egípcios tinham desenhos e formulações de vários tipos de biscoitos secos. Os primeiros biscoitos foram adoçados com mel, uma vez que o uso do açúcar só se ampliou na Europa nos últimos séculos da Idade Média, e eram consumidos principalmente pela nobreza. Mais recentemente, a denominação “biscoito” surgiu na França para descrever o pão que era amassado e novamente cozido para se transformar em uma pasta dura, visando sua melhor conservação. “Biscoito” é justamente a junção dos termos “bis” e “cuit” que quer dizer “cozido duas vezes”. A popularidade do biscoito aumentou rapidamente em meados do século XVII quando, na Europa, começou-se a servi-lo para acompanhar o chocolate ou o chá.

Os biscoitos são pequenos produtos assados, feitos principalmente de farinha, açúcar e gordura. Possuem, na maioria dos casos, umidade inferior a 4% e quando embalados em filmes com barreira a umidade possuem alto tempo de prateleira, cerca de 6 meses ou mais (GOMES-RUFFI, 2011). De acordo com Penteado (2012), são produtos que têm como características principais: baixa atividade de água (0,1 a 0,3), baixo conteúdo de umidade (2 a 8% em peso) e crocância elevada. De acordo com a legislação brasileira, RDC N° 263, de 22 de setembro de 2005, biscoitos ou bolachas são os produtos obtidos pela mistura de farinha (s), amido (s) e ou fécula (s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

São alimentos populares, consumidos por diversos tipos de populações, devido aos seus gostos variados, longo tempo de prateleira e relativo baixo custo. Devido à concorrência no mercado e aumento da demanda por produtos saudáveis, naturais e funcionais, tentativas estão sendo feitas para melhorar o valor nutritivo e funcionalidade dos biscoitos modificando sua composição nutritiva. Tais efeitos são muito frequentemente obtidos através do aumento da

proporção de matérias-primas integrais, de outras variedades de trigo ou diferentes fibras alimentares em receitas básicas com a tentativa de aumentar o teor de proteína de qualidade, conteúdo mineral e disponibilidade ou aumento do teor de fibra alimentar e melhorando as características prebióticas do produto final (VITALI, 2008)

Segundo Silva et al. (2001) os biscoitos fazem parte de uma categoria de alimentos importantes para a suplementação com fibras, entretanto, os ingredientes ricos em fibras devem apresentar características sensoriais aceitáveis, não afetar adversamente a textura e o fator de expansão ou causar reações indesejáveis na consistência e elasticidade da massa. Em geral, estudos sobre biscoitos suplementados com fibras têm indicado que as suas características físicas, sensoriais e nutricionais variam amplamente conforme o alimento a ser utilizado como fonte de fibra.

De acordo com Perez e Germani (2007), o programa brasileiro de utilização de misturas de farinhas se expandiu para a fabricação de biscoitos devido a sua grande aceitabilidade por indivíduos de diferentes idades e classes econômicas, além de possuir poder atrativo, principalmente para as crianças. A sua vida útil longa permite que sejam produzidos em grandes quantidades e largamente distribuídos. Um produto com tais características, aliadas à sua enorme diversidade, revela-se um bom veículo para o estudo destas misturas, seja por razões econômicas, ou por razões nutricionais. Essas vantagens, no entanto, serão desfrutadas apenas se, do ponto de vista tecnológico, for possível adicionar farinhas ou matérias-primas substitutas à farinha de trigo sem prejuízo da qualidade dos biscoitos.

As indústrias de biscoito têm como uma de suas metas a diminuição das perdas ocorridas no processo de produção, enfocando os programas de qualidade e desperdício como primordiais para o decréscimo dessas perdas e dos custos envolvidos na produção, segundo Lima (1998). As perdas na produção representam desperdício e conseqüentemente aumento nos custos de fabricação. Na produção de biscoitos, as etapas de processamento devem ser rigorosamente controladas, para se obter produtos de qualidade com baixo custo. A qualidade de um biscoito está relacionada com o sabor, a textura, a aparência e outros fatores que dependem das interações entre vários ingredientes e condições de processamento. O biscoito é considerado um importante alimento para grande parte da população brasileira (CAMARGO, 1977).

2.2 Classificação dos biscoitos

De acordo com penteado (2012), os biscoitos podem ser classificados de duas maneiras:

1) Pelo grau de enriquecimento e processamento, tais como:

(a) Biscoitos de massas duras: similares a massas de pão, apresentando propriedades viscoelásticas e, portanto, um glúten bem desenvolvido. Neste tipo de biscoito, níveis de gordura e açúcar são de 11 a 20% e 2 a 30%, respectivamente, sobre o peso da farinha.

(b) Biscoitos de massas moles: similares a massas de bolo, mas com menos água. Nessas massas, pouca ou nenhuma rede de glúten é desenvolvida durante a mistura. Este tipo de biscoito é rico em gordura (27 a 55% sobre o peso da farinha) e açúcar (30 a 50% sobre o peso da farinha). As massas perdem muito a sua coesividade e não tem elasticidade. O biscoito produzido neste trabalho pertence a esta classe.

A diferença básica entre os dois se dá pelo fato dos teores de açúcar e gordura serem baixos nas massas duras e altos nos de massas moles.

2) Através do método de moldagem, sendo:

(a) Cortados por prensa ou estampados: neste tipo, a massa laminada é transportada de forma contínua e é cortada por moldes que podem ter movimento de sobe e desce perpendicular à mesma ou oscilante, similar ao de um pêndulo.

(b) Cortados rotativos: A moldagem é feita por um conjunto de rolos. A massa é colocada entre o rolo moldador e o rolo alimentador. O rolo moldador corta e estampa a massa através de cavidades ou crivos impressos de desenhos. Outro tipo de moldagem utiliza dois rolos consecutivos, onde o primeiro está gravado e é o que estampa (é o cilindro marcador), e o segundo é o rolo cortante.

(c) Moldados rotativos: a massa é colocada em um cilindro alimentador, que a empurra para o cilindro gravado, também chamado rolo moldador. Das cavidades existentes no cilindro, as peças de massa são removidas através de uma lona extratora que, por sua vez, é comprimida por um cilindro especial de borracha.

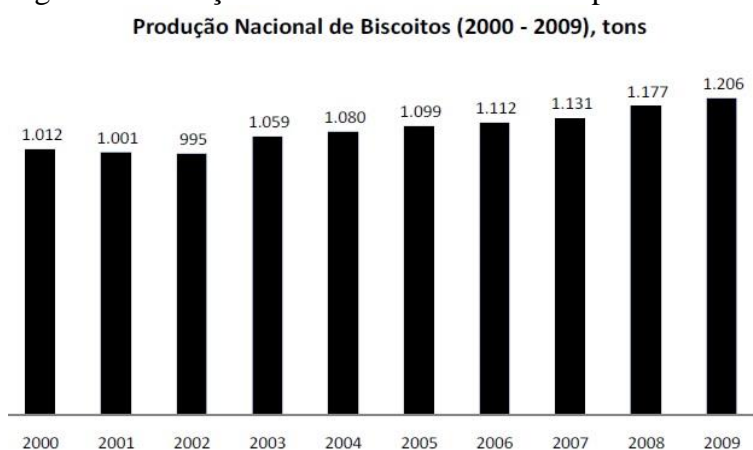
(d) Cortados por arame: a massa, antes de ser cortada, é formada por dois rolos corrugados, que giram no mesmo sentido e velocidade, empurrando-a contra uma matriz. A massa, saindo da matriz de forma contínua, é cortada por arame em unidades, que são depositadas sobre a esteira do forno que passa logo abaixo.

(e) Depositados: a massa, muito mole, é colocada em um depósito com controlador de fluxo, sendo normalmente depositada em esteira não perfurada de aço.

2.3 O mercado de biscoitos no Brasil

Conforme a ANIB (2016) e SIMABESP (2016) o Brasil é o segundo maior produtor mundial de biscoitos. Em 2008, foram produzidos 1.177 milhões de toneladas de biscoitos, movimentando cerca de R\$ 5,65 bilhões. Em 2009, o mercado brasileiro de biscoitos cresceu 2,5% em relação a 2008 (cerca de 30 milhões de toneladas a mais). A produção em 2009 foi de 1,206 milhões de toneladas. A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam a produção e o consumo de biscoitos no Brasil no período de 2000 a 2009.

Figura 1: Produção de Biscoitos no Brasil no período de 2000 a 2009.



Fonte: GOMES-RUFFI, 2011.

Tabela 1: Produção nacional e consumo (por habitante) de biscoitos, entre 2000 e 2009.

Indicadores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Produção por mil tons	1.012	1.001	995	1.059	1.080	1.099	1.112	1.131	1.177	1.206
Taxa de Crescimento	-7,0%	-1,0%	-0,5%	6,4%	1,9%	1,8%	1,2%	1,7%	4,1%	2,5%
Consumo Per Capita Ano	6,10	5,90	5,60	5,90	5,90	5,97	6,00	6,00	6,00	6,30

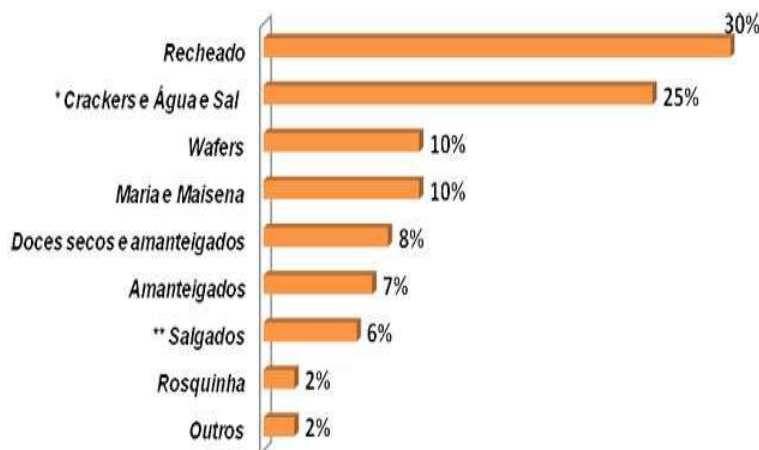
Fonte: GOMES-RUFFI, 2011.

A produção de biscoitos abastece tanto o mercado interno brasileiro quanto o externo, exportando para cerca de 120 países. Com relação ao mercado interno, o consumo per capita está sinalizado em 6,3 Kg/ano, mantendo-se relativamente estável desde 2005. Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais estão em destaque, apresentando cerca de 51% do consumo (ANIB, 2016; SIMABESP, 2016; BRAZILIAN BISCUIT, 2016).

Segundo estatísticas da ANIB (2016) e SIMABESP (2016) as exportações de biscoitos em 2008 cresceram 24,51% em faturamento em relação a 2007, apesar das variações do dólar

durante o ano. Em 2007 as exportações representaram um faturamento da ordem de US\$ 91,6 milhões e em 2008 chegaram a US\$ 114 milhões. Entre as 8 categorias de biscoitos, as mais produzidas no Brasil são biscoitos recheados e tipo *cracker*, que representam mais de 50% do total da produção de biscoitos. A Figura 2 apresenta um infográfico de colunas com o consumo dos tipos de biscoitos pelos brasileiros em 2012.

Figura 2: Consumo dos diferentes tipos de biscoitos no Brasil em 2012.



*Crackers e Água e Sal incluem integrais, gergelim, centeio, etc.;

**Salgados incluem salgadinhos, aperitivos, *snacks* e “tipo club”.

Fonte: PENTEADO, 2012.

2.4 Biscoito semi doce duro

De acordo com Bernussi (1996), os biscoitos semi-doces fazem parte do grupo das massas duras, normalmente cortados por rolos rotativos. Algumas das variedades mais comuns são o maria, maizena, manteiga e leite. A formulação básica de biscoito semi-doce duro é muito simples, contém poucos ingredientes: usualmente farinha, açúcar, gordura, xarope, sal, agente químico de crescimento e água. A característica mais relevante destes produtos é um “*flavour*” relativamente sutil, que depende da adição de leite, xaropes e baunilha, ou outros aromas de fundo. Um baixo conteúdo de gordura na faixa de 15 a 22 % sobre o peso da farinha, combinado com baixas proporções de açúcar, resultam em um produto tenro e quebradiço, embora a dureza de sua textura seja maior que a maioria dos outros biscoitos doces. Durante a mistura das massas é formada a rede de glúten, e seu prolongado tempo estica e orienta as cadeias de glúten até um ponto onde quase toda elasticidade é destruída.

As dificuldades experimentadas durante a produção de biscoitos são frequentemente atribuídas a variações nas propriedades da farinha. Embora os biscoitos semi-doces duros

sejam mais susceptíveis a mudanças devido às propriedades da farinha do que a maioria dos outros biscoitos, a qualidade tecnológica do produto final depende muito da formulação, do desenvolvimento mecânico da massa, assim como do seu comportamento nas outras etapas do processamento, que devem ser otimizadas e devidamente controladas. Os ingredientes principais e adicionados em maior proporção em formulações de biscoitos semi-doces são farinha, açúcar e gordura, além da água, que é posteriormente retirada durante o assamento. Os demais ingredientes são açúcar invertido, sal, agentes de crescimento, ácido láctico, sulfitos, leite em pó e aromas (BERNUSSI, 1996).

Algumas condições do processamento de biscoitos são padronizadas exclusivamente de acordo com as propriedades reológicas de cada massa. Isto é particularmente verdade no caso de massas duras, onde o comportamento da massa durante o assamento é governado pelas propriedades da rede de glúten formada e orientada durante os primeiros estágios do processamento. Tendo em vista estas considerações, serão relatadas a seguir as funções dos ingredientes principais e das etapas do processamento, com o objetivo de evidenciar a importância destes fatores para a qualidade tecnológica de biscoitos (WADE 1988, BERNUSSI, 1996).

2.5 Descrição e funcionalidade dos ingredientes dos biscoitos

2.5.1 Farinha

A farinha, o ingrediente principal de todos os biscoitos, é obtida da moagem de trigos moles de inverno, de variedades branca e vermelha. Geralmente, farinhas de trigo mole apresentam glúten fraco, baixo conteúdo de proteína, baixa absorção de água, granulometria fina e menos amido danificado em relação às farinhas de trigo duro. A espécie de trigo mais adequada à produção de biscoitos é a *Triticum vulgare*. No Brasil, as variedades moles são as basicamente cultivadas. O conteúdo de proteína destes trigos é relativamente baixo (8 a 11% em peso) quando comparado aos dos trigos duros (11 a 14 %) (ALCHELE, 1981; BERNUSSI, 1996).

A principal propriedade da farinha é a força. Farinha fraca é normalmente aceita como uma farinha de baixo conteúdo de proteína. Usualmente esta proteína é relacionada ao glúten, o qual confere as características visco-elásticas de massas de biscoito duro. Os biscoitos semi doces duros devem ser produzidos com farinhas fracas e médias, para minimizar problemas de retração de massas, durante as etapas do processamento pós-mistura. Pesquisas mostraram

que massas de “*cookies*” com trigo duro cessam a expansão mais cedo (a uma temperatura mais baixa) do que aquelas com farinha de trigo mole. O fator responsável por este comportamento era a mudança de viscosidade a temperaturas mais baixas para farinha de trigo duro quando comparada com trigo mole (ABBOUD et al., 1985; BERNUSSI, 1996)

Essa mudança de viscosidade está relacionada com a expansão do glúten para formar uma matriz contínua, que fixa a estrutura, cessando a expansão. As reações físico-químicas das proteínas em massas de pão e em biscoitos são afetadas não somente pelos parâmetros de qualidade inerentes às proteínas da farinha, mas também pelos fatores que afetam a formação da matriz protéica, que são pH da massa, grau de hidratação e a presença de quantidades de gordura e açúcar. As farinhas são usualmente classificadas para usos em diferentes produtos com base em alguns critérios, como conteúdo de umidade, proteína, cinzas, e várias medidas físicas e reológicas chaves como o tamanho das partículas, viscosidade, extensibilidade e fator de expansão. O nível de proteína influencia a qualidade da mastigação de produtos de massa dura (ALCHELE, 1981; BERNUSSI, 1996; DOESHER et al.; 1987; HOSENEY, 1998).

Estudando o efeito dos componentes da farinha nas propriedades de biscoitos, Wade (1988) relatou que o amido, tanto na massa quanto no produto final, age como um material de enchimento da matriz formada pelos outros materiais presentes. Na massa, o amido absorve água, e é provavelmente o principal ingrediente que controla a quantidade de água requerida para produzir uma massa de consistência adequada. Devido ao baixo conteúdo de umidade da maioria dos biscoitos, relativamente pouca quantidade de amido gelatiniza durante o assamento. Com relação ao conteúdo de umidade da farinha e a água adicionada à massa, Bernussi (1996) cita que estas quantidades não são equivalentes em termos de seus efeitos nas propriedades da massa. Abboud et al. (1985) avaliaram vários cultivares de 6 classes de trigo em relação a absorção de água na massa de “*cookies*”, ao conteúdo de proteína, teor de amido danificado, pentosanas e capacidade de retenção de água alcalina da farinha em relação ao aumento de diâmetro de “*cookies*”. Neste estudo, concluíram que o diâmetro de “*cookies*” não está relacionado com o conteúdo de proteína, quando classes de trigo diferentes foram usadas.

Os testes reológicos são usualmente realizados com massas de farinha e água e são amplamente empregados em medidas de qualidade. Os aparelhos utilizados são o farinógrafo, mixógrafo ou reógrafo, que avaliam as propriedades de mistura da massa, e o extensógrafo e o alveógrafo de Chopin, que avaliam as características de elasticidade e extensibilidade da massa. O teste tradicional correspondente para farinhas de trigo mole é o “*cookie test*”, que utiliza um parâmetro unidimensional, o diâmetro (relacionado com a expansão do biscoito). O potencial de expansão tem sido aceito como o critério de qualidade mais significativo para

variedades de trigo mole. No entanto, o teste não é fácil de ser duplicado entre laboratórios e por operadores diferentes. E sendo um procedimento de panificação, pode estar sujeito a um erro experimental elevado (POMERANZ, 1988; BERNUSSI, 1996)

2.5.2 Açúcar

O açúcar é um componente importante na formulação de biscoitos. Ele deve conferir doçura, aumentar a maciez, contribuir com volume, desenvolver uma cor de crosta agradável, criar um balanço próprio entre líquidos e sólidos, responsável pelo contorno, agir como um veículo para outros flavorizantes, ajudar na retenção de umidade e propiciar um produto final atrativo. O principal açúcar usado na produção de biscoitos é a sacarose, que pode ser derivada da cana-de-açúcar ou da beterraba e usada em diversos tamanhos de cristais, de granulado (650 a 1000 μm) até pulverizado (175 μm) ou açúcar de glacê (25 μm). No entanto, a sacarose é raramente usada como o único açúcar em formulações de biscoitos. Quantidades relativamente pequenas de açúcares reduzidos, usualmente na forma de xaropes, são adicionadas na maioria das formulações (WADE, 1988, BERNUSSI, 1996).

Tem sido mostrado pela literatura que o açúcar aumenta a temperatura de gelatinização do amido. Alguns autores como Hosoney, 1984 e Bernussi, 1996, atribuem este aumento à habilidade dos açúcares em limitar a água disponível ao amido. As características de qualidade de biscoitos dependem dos resultados da competição entre o açúcar e os componentes da farinha pela água disponível. Condições que favorecem a dissolução do açúcar e conseqüentemente sua capacidade de retenção de água no início do período de assamento permitem maior expansão de “cookies” antes da fixação da estrutura da massa. O tamanho das partículas de açúcar tem se mostrado capaz de controlar a expansão e aparência de biscoitos doces duros. O mecanismo pelo qual partículas grosseiras de açúcar são prejudiciais à expansão pode ser explicado pela proporção de farinha-açúcar-água na massa e pelo tempo proporcional de dissolução. No processamento as partículas de açúcar são cobertas com gordura e são assim impedidas de ficar em solução. Com partículas de açúcar grandes, menos superfície fica disponível no sistema, constituindo um fator limitante para o alcance da viscosidade da massa e finalização do potencial de expansão. Pesquisas mostraram que a expansão e aparência de “cookies” melhoraram com a diminuição do tamanho médio das partículas, e a diferenciação foi maior com açúcares na faixa de 48 a 80 mesh (295 a 175 μm). A cor e o “flavour” básicos de biscoitos são produzidos por reações que acontecem durante os últimos estágios do assamento. Algumas destas reações são do tipo Maillard, que

requerem a presença de aminoácidos e açúcares redutores. Embora estes componentes estejam presentes em pequenas quantidades na farinha de trigo, produtos com propriedades melhoradas são obtidos através da adição de outras fontes na formulação. Os açúcares redutores podem ser, por exemplo, o açúcar invertido ou xarope de glicose (HOSENEY, 1998; BERNUSSI, 1996; WADE, 1988).

2.5.3 Gordura

As propriedades das gorduras usadas em biscoitos dependem da origem da gordura, da quantidade e do tipo de tratamento que ela tenha recebido na sua refinação (e hidrogenação), dos tipos de gorduras usadas no preparo de misturas e do estado físico da gordura no momento do uso. Normalmente as gorduras mais empregadas são as do tipo hidrogenadas ou plásticas, apresentando quatro funções principais: lubrificação, aeração, mastigação e expansão. Por meio da cobertura dos grânulos de açúcar e partículas de farinha de trigo, a gordura reduz o tempo de mistura e energia exigida para tal. Previne o desenvolvimento excessivo do glúten e o produto final fica mais macio. A aeração é a segunda maior função da gordura e isso depende do tamanho dos cristais presentes. A aeração ocorre na fase de mistura. O ar preso na massa serve como núcleo para gases de crescimento e o vapor d'água que é liberado durante o assamento. A qualidade de mastigação e expansão do produto dependem do tipo e nível de gordura a ser utilizada. A adição de gordura na massa tem o efeito de reduzir a quantidade de água requerida para produzir uma consistência de massa de boa maquinabilidade e de produzir produtos mais macios. Massas contendo até cerca de 20 % de gordura (porcentagem sobre o peso de farinha) usualmente apresentam uma estrutura de glúten desenvolvida e são extremamente extensíveis sob tensão. A gordura age como uma barreira entre a água e a farinha. Em alguns casos, na presença de um agente emulsificante, a água e a gordura formam uma emulsão água em óleo ou óleo em água, ou uma combinação de ambos (BERNUSSI, 1996; WADE, 1988).

2.6 Etapas do processamento

2.6.1 Mistura

Na mistura de massas doces duras, a proteína da farinha deve primeiramente entrar em contato com a água da massa (mistura direta). Com o processo de mistura, muitas partículas

de farinha são cercadas por água que não somente envolve aglomerados de partículas de farinha, mas penetra dentro de algumas partículas, para ser absorvida e adsorvida nos grânulos de amido e na matriz contendo a proteína. Nas temperaturas usuais de mistura da massa, a água não penetra profundamente nos grânulos de amido, que são então envolvidos por filmes de água em vários graus de absorção. No entanto, a proteína absorve água e incha (efeito do tempo/ temperatura) até o ponto onde a ação da mistura possibilita a conversão da proteína hidratada em uma rede de glúten tridimensional que confere à massa suas propriedades reológicas características. O desenvolvimento do glúten não é a única mudança que ocorre durante a mistura de massas doces duras. Cada ingrediente contribui com algum atributo e tem um efeito no desenvolvimento e na estrutura final da massa, a qual, naturalmente, afeta a estrutura do produto. Dentre as mudanças devido aos ingredientes adicionados, as mais importantes podem ser citadas como: (a) incorporação dos ingredientes em uma distribuição uniforme; (b) completa dissolução do açúcar e alguns dos agentes químicos na água da massa; (c) elevação da temperatura da massa até a temperatura requerida para o final da mistura; (d) hidratação das proteínas da farinha; (e) conversão das proteínas hidratadas em glúten. O tempo total de mistura é, portanto, uma função de todos esses fatores, e é normalmente o parâmetro utilizado para controlar o processo. No entanto, existe uma tendência em substituir o controle do tempo de mistura pelo controle da temperatura final da massa (WADE, 1988; BERNUSSI, 1996).

Pesquisas sugerem que na mistura de massas de biscoitos semi-doces a temperatura final da massa é mais importante do que a quantidade de trabalho realizada na mesma, desde que este não flutue excessivamente ou fique abaixo de um certo nível mínimo. Apesar de muitos métodos diferentes de mistura serem usados, o mais comum é o método direto, onde o sal e os agentes químicos dissolvidos são adicionados à farinha e outros ingredientes e então misturados até a massa se tornar extensível (BERNUSSI, 1996).

2.6.2 *Descanso da massa*

As massas doces duras não tratadas com sulfitos e agentes condicionadores de massa, devem descansar por um período de 30 a 45 minutos, para permitir o relaxamento do “stress” produzido na massa durante o processo de mistura, e torna-la mais extensível. Caso haja adição de sulfito ou metabissulfito de sódio, ou ainda, de enzima na massa, a mesma não deve descansar por muito tempo, pois a reação destes agentes é progressiva e a massa pode deteriorar rapidamente. Em massas sulfitadas, o dióxido de enxofre reage com os grupos

dissulfito da proteína da farinha somente após a formação do glúten, para quebrar algumas das ligações dissulfito, assim enfraquecendo a sua estrutura coesa e elástica. Durante o período de descanso da massa, deve-se protegê-la de variações de temperatura, através da cobertura da mesma, para evitar ressecamento da superfície. Uma distribuição de temperatura não uniforme dentro da massa irá contribuir para variações nas propriedades da mesma (WADE, 1988; BERNUSSI, 1996).

2.6.3 Laminação e corte

A massa de biscoitos semi-doces é modelada a partir da formação de uma lâmina inicial, reduzida até a espessura desejada através da passagem por três pares de rolos redutores. Bernussi (1996) afirma que, devido às propriedades visco-elásticas da massa, a lâmina de massa aumenta em espessura após passar por um par de rolos condutores. O grau de redução em cada passagem varia de acordo com as propriedades da massa. A alimentação contínua de massa em cada estágio da laminação, a velocidade de esteira transportadora e o sincronismo da velocidade dos rolos, devem ser cuidadosamente controlados. A espessura final da massa é usualmente de 2 a 3 mm. O corte da massa pode ser feito por estampadores (prensas verticais) ou por rolos rotativos (ALCHELE, 1988). O tipo rotativo é mais utilizado e ideal para produção de semi-doces. Normalmente, os retalhos gerados pelo corte da massa são separados em uma esteira inclinada acima do produto, e levados até a moega alimentadora para serem reincorporados à massa (WADE, 1988).

2.6.4 Assamento ou forneamento dos biscoitos

O processo de assamento ou forneamento constitui a etapa mais importante e complexa da produção de biscoitos. Várias mudanças físicas e químicas ocorrem nos produtos durante o assamento. Essas mudanças podem afetar o mecanismo de migração de água e o comportamento de secagem do produto. Maiores mudanças químicas devido aos efeitos do calor dentro do forno, incluem a formação de gás, desnaturação e coagulação das proteínas, gelatinização do amido, formação da crosta e reações de escurecimento (TURHAM e OZILGEN, 1991; BERNUSSI, 1996).

As maiores mudanças físicas compreendem evaporação da água, expansão do volume, e desenvolvimento da estrutura porosa. As mudanças estruturais afetam a migração de água no produto, logo, o comportamento de secagem depende das variações de temperatura no

assamento. As mudanças mais importantes podem ser citadas como a perda de umidade da massa, o desenvolvimento de cor e “*flavour*” e as mudanças nas dimensões. O principal objetivo do processo de assamento é, portanto, a remoção da água, ou umidade da massa. O conteúdo inicial de umidade da massa é de 11 a 30%, e após assado e resfriado o biscoito apresenta usualmente um conteúdo de umidade de 1 a 5%, dependendo do tipo de produto. Uma quantidade muito grande de calor é necessária para remover a umidade do produto. Na secagem são retirados 28 Kg de água para cada 100 Kg de massa que entra no forno. O conteúdo de umidade controla a estabilidade durante o armazenamento, a integridade mecânica de alguns produtos (tendência à quebra) e o desenvolvimento de “*flavours*” na maioria dos produtos (WADE, 1988; BERNUSSI, 1996; MORETH, 1987).

O segundo objetivo do assamento ou forneamento é o desenvolvimento de cor e “*flavour*”. A cor da crosta constitui um indicativo muito bom da quantidade de açúcar da superfície que foi caramelizada. A reação de Maillard, entre açúcares redutores e aminoácidos está também envolvida no assamento de biscoitos. Os produtos destas reações são compostos voláteis que contribuem para o aroma e “*flavour*” de produtos frescos. O aumento de volume da massa durante o assamento é causado pela ação dos agentes aeradores e pelo vapor produzido pela umidade da massa. Os reagentes químicos mais comumente usados são o bicarbonato de sódio, com ou sem acidulante, e o bicarbonato de amônia. A espessura final do biscoito depende não somente da ação de agentes aeradores, mas também das condições existentes no forno, tanto a temperatura quanto as condições de umidade do mesmo. A espessura de biscoitos de massa dura resulta do balanço entre o ponto de fixação da estrutura da massa dentro do forno, pela desnaturação térmica da rede de glúten, e a expansão da massa pela ação dos agentes aeradores e vapor d’água. Durante o processo de assamento ocorre transferência simultânea de calor e massa nos produtos (MORETH, 1987; BERNUSSI, 1996).

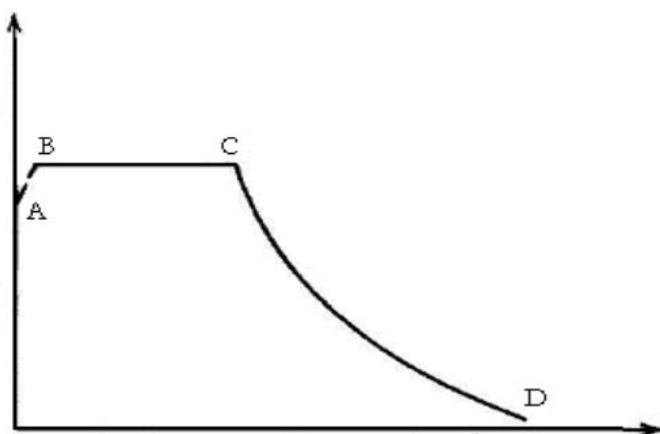
Sendo assim, três estágios distintos podem ser reconhecidos durante o forneamento dos biscoitos (BERNUSSI, 1996; TURHAM e OZILGEN, 1991):

(1) O primeiro estágio é o pré-aquecimento da superfície do produto, da temperatura inicial até a temperatura de bulbo úmido, havendo evaporação de água proporcionalmente ao aumento da pressão de vapor da água livre. Como em geral os alimentos são pouco condutores de calor, esta etapa pode ser demorada. Neste período, a temperatura da camada superficial da massa é superior à temperatura do interior, e é estabelecido um gradiente de temperatura bem definido entre a superfície externa e o centro do produto. Com o aumento de temperatura a massa começa a expandir, sua fluidez aumenta devido aos açúcares em solução, fusão da gordura e ação dos agentes aeradores, ocorrendo o movimento de massa.

(2) O segundo estágio é chamado, na terminologia de secagem, de período de razão constante, onde a superfície é coberta por um filme de água contínuo, sendo mantida a temperatura de bulbo úmido. A taxa de remoção de água alcança um máximo durante este período, e permanece estabilizada até ser atingido um conteúdo de “umidade crítica”.

(3) O terceiro estágio do processo de secagem se refere ao período de razão descendente. Isto ocorre quando os níveis de transferência de água do centro para a superfície do produto se tornam menores que o grau de evaporação na superfície, o filme de água desaparece e expõe o produto seco, então a temperatura das regiões secas começa a subir acima da temperatura de bulbo úmido, havendo uma queda na eficiência do processo de assamento. No gráfico 1 a seguir temos uma curva característica do fenômeno de secagem, a qual no eixo x encontra-se o tempo em (h) e no eixo y a taxa de secagem em ($\text{Kg}/\text{m}^2\text{h}$).

Gráfico 1: Curva de secagem.



Fonte: <https://www.google.com.br>.

A maioria dos biscoitos produzidos comercialmente são assados em túneis aquecidos em fornos contínuos. Em um processo convencional de aquecimento, o calor é transmitido ao produto por condução, convecção e radiação. O conjunto destes mecanismos é que irá proporcionar os efeitos de expansão, escurecimento e secagem dos produtos. Embora estes modos de transferência de calor estejam presentes em todos os fornos convencionais, diferenças nos tipos de fornos resultarão em variações substanciais nos níveis dos três mecanismos de aquecimento. Foi verificado efeito individual dos modos de transferência de calor no assamento de biscoitos. Para a condução de calor o mais importante é a expansão do produto e para a radiação de calor é o seu escurecimento. A remoção de umidade do produto é controlada pela convecção, especialmente a convecção forçada. A convecção do ar tende a aumentar a evaporação de água pela remoção da camada de umidade estagnada na superfície de evaporação do produto, ao nível determinado pelo grau de difusão de umidade e pelo processo de evaporação (MORETH, 1987; BERNUSSI, 1996).

2.6.5 Resfriamento

O produto que sai do forno se apresenta ainda mole, e com umidade não uniformemente distribuída. Desta forma não pode ser embalado imediatamente, devendo passar pelo processo de resfriamento. Durante o resfriamento pode ocorrer alguma troca de umidade entre o produto e a atmosfera que o envolve, dependendo da umidade relativa do ar. Entretanto, a mudança mais importante é o início da redistribuição de umidade dentro do produto. Cada tipo de biscoito possui um ciclo de resfriamento que depende de sua densidade, temperatura de assamento, conteúdo de umidade, textura, sendo a umidade e temperatura de assamento influenciados pela maneira como os ingredientes se comportam no ciclo de resfriamento. O fenômeno de quebra está basicamente associado à distribuição não uniforme de umidade no produto após o forneamento, embora suas proporções possam ser controladas por fatores que afetam as propriedades mecânicas do produto, como o uso de farinha fraca, formulação bem balanceada e desenvolvimento adequado da massa na mistura (BERNUSSI, 1996; WADE, 1988).

2.7 Parâmetro de qualidade para a conservação de alimentos: Atividade de água

A água é um dos principais componentes da maioria dos alimentos. Grande parte de todos os processos danosos aos alimentos são influenciados pela concentração e mobilidade da água em seu interior (WOLF et al., 1985). A atividade de água (a_w) é expressa como a relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio no alimento e a pressão de vapor da água pura à mesma temperatura. Ela quantifica o grau de ligação da água encontrada no produto e, portanto, sua disponibilidade para atuar como um solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (LABUZA, 1977).

A atividade de água é um fator decisivo para o crescimento de microrganismos. Está relacionada com a maioria das reações de degradação de natureza química, enzimática e física dos alimentos. A migração da água nos alimentos obedece a atividade de água e não o conteúdo de umidade. A “monocamada” derivada da isoterma de sorção do vapor da água fornece um indício do teor de umidade ótimo para alimentos secos. A atividade de água é mais facilmente medida em relação ao conteúdo de umidade, além de ser uma medida não destrutiva. Todos os microrganismos precisam de um valor mínimo de atividade de água para se desenvolver. Normalmente, considera-se 0,600 como o limite mínimo para o crescimento de microrganismos (UBOLDI, 1981; MALTINI et al., 2003)

A Tabela 2 apresenta os principais microrganismos que se desenvolvem nos alimentos a partir de determinados valores de atividade de água presentes nos mesmos.

Tabela 2: Valores mínimos de atividade de água para o desenvolvimento de alguns microrganismos patogênicos.

Patógeno	a_w
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,990
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,970
<i>Clostridium botulinum</i> tipo E	0,970
<i>Shigella</i> spp	0,960
<i>Yersinia enterocolítica</i>	0,960
<i>Clostridium botulinum</i> tipo G	0,965
<i>Clostridium botulinum</i> tipo A, B	0,945
<i>Clostridium perfringens</i>	0,950
<i>Vibrio parahemolyticus</i>	0,940
<i>Cloreto de sódiononella</i> spp	0,940
<i>Escherichia coli</i>	0,935
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,930
<i>Bacillus cereus</i>	0,930
<i>Bacillus subtilis</i>	0,910
<i>Staphylococcus aureus</i> (anaeróbio)	0,900
<i>Staphylococcus aureus</i> (aeróbio)	0,600

Fonte: Torrezan, 1996.

Pode-se notar na Tabela 2 que valores de atividade de água inferiores a 0,600 apresentam uma considerável inibição de crescimento de microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação. Porém, a redução da atividade apenas evita o crescimento microbiano.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O principal objetivo desse trabalho foi avaliar a influência do tempo e da temperatura no forneamento de biscoitos.

3.2 Objetivos específicos

- Formulação de biscoitos para o forneamento e produção a nível laboratorial.
- Determinação de parâmetros físicos e químicos do material antes e depois do forneamento.
- Determinação da melhor faixa de operação das variáveis tempo e temperatura, para os parâmetros de atividade de água, umidade, % expansão e perda mássica, segundo planejamento estatístico experimental, para a operação de forneamento de biscoitos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais e equipamentos

Os biscoitos foram produzidos com farinha de trigo com fermento (marca Primor, fabricante Bunge, Brasil), açúcar refinado (marca Alegre, fabricante Usina Monte Alegre, Brasil), gordura vegetal hidrogenada (marca Primor, fabricante Bunge, Brasil) e sal de cozinha (marca Marlin, fabricante Salinor, Brasil), os quais foram adquiridos no comércio varejista local de João Pessoa/PB.

Os equipamentos utilizados para a produção dos biscoitos foram: forno elétrico (modelo Premium, marca Mondial, Brasil); batedeira elétrica (modelo Tok Pratik TSK-951PST, marca Tok Line, Brasil); laminador de massa (marca La Cuisine, Brasil); estufa com circulação de ar forçada (modelo MA 030/12, marca Marconi, Brasil); determinador automático de atividade de água (modelo LabMaster, marca *NOVASINA, Suíça*); refrigerador (Electrolux modelo RDC 38 super, marca Electrolux, Brasil); vidrarias de laboratório; bandejas, facas e colheres de aço inoxidável; molde cilíndrico de aço inoxidável; paquímetros e régua milimetradas; luvas de látex e de lã isolante; embalagens de polietileno; balanças analíticas de 2 e 4 casas decimais de precisão; demais instrumentos.

Foram realizadas determinações de atividade de água e de conteúdo de umidade em um produto comercial similar ao produzido nos ensaios experimentais para averiguação dos resultados obtidos. Foi escolhido o biscoito doce da marca top cipan da empresa Vitamassa, adquirido no mercado varejista de João Pessoa-PB.

A tabela 3 relaciona os seus ingredientes.

Tabela 3: Ingredientes do biscoito comercial.

<i>Ingredientes</i>
Farinha de trigo enriquecida ⁱ
Açúcar
Açúcar invertido
Gordura vegetal hidrogenada
Sal
Emulsificante lecitina de soja
Fermentos químicos ⁱⁱ
Aromatizante

ⁱFarinha enriquecida com ferro e ácido fólico.

ⁱⁱFermentos bicarbonato de amônio e bicarbonato de sódio.

Fonte: Biscoito comercial top cipan, 2016.

A tabela 4 informa os componentes nutricionais do biscoito comercial e suas quantificações.

Tabela 4: Informação nutricional do biscoito Top Cipan.

<i>Tabela 5: Nutrientes (Porção de 30 g, 16 biscoitos)</i>	<i>Quantidade por porção</i>
Carboidratos	22g
Proteínas	2,1 g
Gorduras Totais	1,4 g
Gorduras Saturadas	0,4 g
Gorduras Trans	0 g
Fibra Alimentar	0,7 g
Sódio	107 mg
Ferro	1,0 mg

Fonte: Biscoito comercial top cipan, 2016.

4.2 Metodologia experimental

A metodologia experimental foi dividida nas etapas apresentadas a seguir.

4.2.1 Formulação e preparo dos biscoitos para os ensaios de forneamento

Os biscoitos foram produzidos conforme a metodologia descrita por Moraes et al. (2010) e eventuais adaptações, cuja formulação está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Ingredientes e suas respectivas proporções.

<i>Ingrediente</i>	<i>Proporção mássica (g/100 g)</i>
Farinha de trigo enriquecida ⁱ	48,31 %
Açúcar refinado	24,15 %
Gordura vegetal hidrogenada	16,42 %
Sal	2,42 %
Água	8,70 %

ⁱFarinha contendo fermento e enriquecida com ferro e ácido fólico.

Fonte: Autor (2016), adaptado de Moraes et al, 2010.

Inicialmente foram testadas as formulações de 9,66% e 16,42 % de gordura vegetal hidrogenada e mantidas as demais proporções dos ingredientes apresentadas na Tabela 3. Definida a proporção de gordura vegetal (16,42 %), os biscoitos foram elaborados conforme o fluxograma da Figura 3.

Figura 3: Fluxograma de elaboração dos biscoitos.



Fonte: Autor, 2016.

As atividades apresentadas no fluxograma da Figura 3 estão descritas detalhadamente:

- Pesagem dos ingredientes: Nesta etapa, foi utilizada uma balança analítica para pesar os ingredientes. Primeiramente, foi pesada a farinha de trigo (250 g), depois o açúcar refinado (125 g), seguido da gordura vegetal hidrogenada (85 g), sal (12,5 g) e água (45 ml). Esta etapa tem a função de quantificar cada ingrediente para obter um biscoito de boa qualidade. A figura 4 corresponde à quantificação dos ingredientes.

Figura 4: Ingredientes quantificados.



Fonte: Autor, 2016.

- Mistura dos ingredientes: Nesta etapa, foram utilizados uma batedeira e um recipiente plástico para colocar os ingredientes. A metodologia utilizada para mistura dos ingredientes foi baseada no estudo de Moraes et al. (2010) que segue os seguintes passos.

1º passo: Foi colocada a farinha de trigo e a gordura vegetal hidrogenada no recipiente, misturando-os por 3 minutos com velocidade de batedeira em nível baixo.

2º passo: Foi adicionado o açúcar refinado à mistura, misturando-a por 1 minuto, acrescentado simultaneamente sal, em velocidade de batedeira baixa.

3º passo: Foi adicionado água à mistura, misturando-a novamente por 1 minuto em velocidade de batedeira média.

4º passo: Com todos os materiais já misturados, foi realizada uma homogeneização final, agitando a massa por 2 minutos na velocidade baixa da batedeira.

Esta etapa tem a função de uma obtenção homogênea da massa, com boa textura e que proporcione uma melhor manipulação. A figura 5 corresponde à mistura dos ingredientes.

Figura 5: Mistura dos ingredientes.



Fonte: Autor, 2016.

- Massa de panificação: Nesta etapa, a mistura foi retirada do recipiente e levada até a bancada, e a partir deste momento, ela foi tratada manualmente (sovada) até ficar totalmente coesa, no intervalo de tempo de 3 a 5 min. Essa etapa tem a função de proporcionar mais homogeneidade à mistura. A Figura 6 retrata esta etapa.

Figura 6: massa de panificação.



Fonte: Autor, 2016.

- Refrigeração da massa de panificação: Devido ao fato do biscoito produzido ser considerado de massa mole, a massa foi levada para um refrigerador a 10 °C, permanecendo por um prazo de 1 hora. Esta etapa tem a função de proporcionar à massa uma maior firmeza. Testes

preliminares demonstraram que refrigeração da massa melhora sua textura, firmeza para a manipulação em relação ao material acondicionado ao ambiente com temperaturas de 18 a 34°C. A figura 7 ilustra esta etapa.

Figura 7: Biscoitos encaminhados à refrigeração.



Fonte: Autor, 2016.

- Laminação da massa de panificação: esta etapa consiste no processo de abertura e uniformização de espessura da massa. Após esta ser retirada da refrigeração, foi levada para a bancada e laminada em laminador manual. Este equipamento possui vários tamanhos de espessura, sendo que a que foi utilizada foi a de número um, que corresponde a um diâmetro em torno de 4 mm. A massa foi colocada na superfície interna do aparelho, e através do giro da manivela lateral, os rolos internos comprimiram a massa, gerando uma fina camada. A sua função principal é a de proporcionar abertura da massa. A figura 8 corresponde a esta etapa.

Figura 8: laminador de massa



Fonte: Autor, 2016.

- Corte da massa de panificação: Após a massa ser laminada, foi utilizado um cilindro de aço inoxidável em formato circunferente para o corte. Este instrumento foi aplicado na massa de forma manual, gerando os pequenos biscoitos. Tem como função extrair, da massa laminada, os biscoitos com formatos similares. A figura 9 apresenta o tipo de corte realizado.

Figura 9: Corte da massa



Fonte: Autor, 2016.

- Forneamento dos biscoitos: Foi realizado em forno elétrico a condições de tempo e de temperatura determinada por uma matriz experimental de delineamento estatístico fatorial apresentado no subtópico 4.2.3. Os biscoitos foram dispostos em uma bandeja plástica, e cada ensaio foi dividido. Inicialmente, foram realizados ensaios de forneamento dos biscoitos a 150 °C por 30 minutos para a calibragem e controle operacional do equipamento. Nestes testes foram produzidos 30 biscoitos, possibilitando a adequação da metodologia de forneamento do material. O controle de temperatura do forno foi realizado através do seu termostato eletrônico de termômetros de bulbo de mercúrio. A temperatura apresentada pelo sistema de controle de temperatura do forno se refere à temperatura de superfície da parede do forno ou de superfície metálica inserida no interior do mesmo. A temperatura do ar circundante no ambiente interno do forno apresenta uma diferença significativa em relação a temperatura de superfície da parede. Foram realizadas determinações térmicas de perfil de temperatura de superfície no interior do forno e determinada uma área de processamento com a menor diferença de temperatura para assar os biscoitos, conforme ilustra o fluxograma da figura 3. Na figura 10, visualiza-se a disposição dos biscoitos no forno.

Figura 10: Biscoitos em forneamento.



Fonte: Autor, 2016.

- Resfriamento e embalagem dos biscoitos: Os biscoitos, ao término do processo de forneamento, foram dispostos em bandejas de plástico na bancada laboratorial, por um tempo de 20 minutos e embalados em sacos plásticos de tamanho médio, para proporcionar o armazenamento do material. O resfriamento tem como função reduzir a temperatura do material à temperatura ambiente, para não influenciar nas análises físicas, e a embalagem atua para identificar os produtos de cada ensaio de forneamento, separando-os, proporcionando o armazenamento dos mesmos sob condições herméticas a temperatura ambiente, isolando-se das condições de umidade do meio. As figuras 11 e 12 apresentam as etapas de resfriamento e embalagem, respectivamente.

Figura 11: Resfriamento dos biscoitos.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 12: Biscoitos embalados.



Fonte: Autor, 2016.

4.2.2 Caracterização do material

A caracterização física do material (biscoito antes do forneamento) e do produto (biscoito depois do forneamento) dos ensaios de forneamento de biscoito foi realizada através das seguintes determinações:

a) Conteúdo de umidade e de sólidos totais do material: determinados por método gravimétrico em estufa com circulação de ar forçada a 105 °C (modelo MA 030/12, marca Marconi, Brasil) a pressão ambiente (aproximadamente 1 atm abs.). Utilizou-se de 2,0 a 3,0

gramas de amostra em cada determinação e em duplicatas. As amostras foram secas até massa constante (aproximadamente 48 horas), conforme metodologia da A.O.A.C. (1995). O conteúdo de umidade é expresso em base úmida por:

$$\text{Umidade (\%, b.u.)} = \left(\frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (1)$$

O conteúdo de sólidos totais é expresso por:

$$\text{Sólidos totais (\%)} = \left(\frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (2)$$

b) Determinação de atividade de água (a_w): é realizada através de um determinador automático de atividade de água (modelo LabMaster, marca *NOVASINA*, *Suíça*). O aparelho foi calibrado com soluções padrões de atividade de diferentes conteúdos de atividades de água (soluções salinas saturadas) onde uma alíquota de amostra é colocada em seu porta-amostra e realiza-se a leitura automática da sua atividade de água a 25°C.

c) Determinação da massa e das dimensões (espessura e diâmetro) do biscoito: a massa de cada amostra foi realizada por pesagem em balança analítica com precisão de 4 casas decimais. As dimensões foram determinadas através de um paquímetro com escala de medida em milímetros. A forma do material moldado é discoidal, portanto foram realizadas medidas da espessura e diâmetro do disco. O volume do disco foi determinado por:

$$V_{\text{material}} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \times e \right)_{\text{amostras}} \quad (3)$$

onde: V_{material} é volume da amostra, D é o diâmetro do disco, e é a espessura do disco.

Nesta análise, os parâmetros em questão analisados foram: MA (massa antes do forneamento), DA (diâmetro antes do forneamento), EA (espessura antes do forneamento), MD (massa depois do forneamento), DD (diâmetro depois do forneamento), ED (espessura depois do forneamento). Ao final, foi calculado o fator de expansão, de acordo com a Equação 6.

4.2.3 *Ensaio experimentais de forneamento dos biscoitos*

Os experimentos de forneamento dos biscoitos foram realizados através de delineamento estatístico do tipo fatorial 2^K , com as variáveis (K) temperatura e tempo de operação para a determinação da região de melhor desempenho para a operação. Esse

planejamento experimental fatorial é do tipo 2^2 com composto central e rotacional denominado de DCCR.

A Tabela 6 apresenta as variáveis e os níveis de variação das variáveis, de forma codificada e com seus respectivos valores de operação, do delineamento experimental DCCR utilizado nos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Tabela 6 - Variáveis e níveis de variação do DCCR para a determinação da faixa ótima de operação de forneamento dos biscoitos.

Níveis de variação codificados das variáveis	Variáveis	
	Temperatura ($^{\circ}$C)	Tempo de operação (min)
-2	151	13
-1	160	15
0	180	20
1	201	25
2	210	27

Fonte: Autor, 2016.

A Tabela 7 apresenta a matriz experimental do DCCR aplicado aos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Tabela 7 - Variáveis e níveis de variação do DCCR para o forneamento dos biscoitos.

Ensaio	Temperatura ($^{\circ}$C)	Tempo (min)
1	160	15
2	201	25
3	160	25
4	201	15
5	151	20
6	210	20
7	180	13
8	180	27
9	180	20
10	180	20
11	180	20
12	180	20
13	180	20

Fonte: Autor, 2016.

As respostas do delineamento experimental DCCR para a determinação de uma região otimizada de forneamento dos biscoitos foram os seguintes parâmetros:

- **Perda de massa (PM)**: expressa a perda de massa através da variação de massa das amostras antes e pós forneamento, determinada por:

$$\% \text{Perda de massa} = \left(\frac{m_{\text{Inicial}} - m_{\text{Final}}}{m_{\text{Inicial}}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (4)$$

- **Perda de umidade (PU)**: expressa a perda de umidade através da variação do conteúdo de umidade e de massa das amostras antes e depois do forneamento e determinada por:

$$\% \text{Perda umidade} = \left(\frac{(x_{\text{Inicial}} \times m_{\text{Inicial}}) - (x_{\text{Final}} \times m_{\text{Final}})}{m_{\text{Inicial}}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (5)$$

- **% Expansão**: expressa a capacidade de expansão de produtos de panificação através da variação do seu volume antes e depois da operação de forneamento e determinada pela Equação 6 (MORAES, 2010).

$$\% \text{Expansão} = \left(\frac{(\text{Volume})_{\text{final}} - (\text{Volume})_{\text{inicial}}}{(\text{Volume})_{\text{inicial}}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (6)$$

- **Redução da atividade de água (Ra_w)**: expressa a redução da atividade de água através da variação da atividade de água (aw) e da massa das amostras antes e depois do forneamento e determinada pela Equação 7.

$$\% \text{Redução da atividade de água} = \left(\frac{(aw_{\text{Inicial}} \times m_{\text{Inicial}}) - (aw_{\text{Final}} \times m_{\text{Final}})}{m_{\text{Inicial}}} \right)_{\text{amostras}} \times 100 \quad (7)$$

- **Relações de desempenho para o forneamento dos biscoitos**: foram elaboradas três relações de desempenho para avaliar o forneamento, relacionando os parâmetros desejáveis e indesejáveis da operação. Os parâmetros desejáveis de forneamento para a produção de biscoito considerada são: maior expansão, menores conteúdos de atividade de água e de umidade. O parâmetro indesejável dessa operação é a perda de massa, pois uma perda de massa acentuada implica em uma menor taxa mássica de produção de biscoito. Portanto, tem-se as seguintes relações de desempenho para o forneamento dos biscoitos:

% Expansão por Perda de massa (PM) – expressa pela Equação 8.

$$\% \text{Expansão} / \text{PM} = \left(\frac{\% \text{Expansão}}{\text{Perda de massa}} \right)_{\text{amostras}} \quad (8)$$

Perda de umidade (PU) por Perda de massa (PM) – expressa pela Equação 9.

$$\text{PU} / \text{PM} = \left(\frac{\text{Perda de umidade}}{\text{Perda de massa}} \right)_{\text{amostras}} \quad (9)$$

Redução da atividade de água (Ra_w) por Perda de massa (PM) – expressa pela Equação 10.

$$\text{Ra}_w / \text{PM} = \left(\frac{\text{Redução da atividade de água}}{\text{Perda de massa}} \right)_{\text{amostras}} \quad (10)$$

4.3 Metodologia estatística

A avaliação dos parâmetros de operação (tempo e temperatura de forneamento dos biscoitos) da matriz do DCCR aplicado foram realizados conforme metodologia descrita por Barros Neto et al.(2002) e os seus tratamentos estatísticos foram realizados em *software* de estatística.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção dos biscoitos

Foram produzidos 171 biscoitos seguindo a matriz do planejamento experimental fatorial adotado. Para os seus oito experimentos principais (combinações +1 e -1) e suas extrapolações (combinações $+\alpha/-\alpha$ e 0) foram produzidos 96 biscoitos, com 12 biscoitos para cada ensaio. Para seus pontos centrais (0 e 0) foram feitos 75 biscoitos, com 15 biscoitos para cada ensaio.

Os testes preliminares de formulação da massa para produção de biscoitos nos quais se verificou a influência da quantidade de gordura vegetal hidrogenada (9,66% e 16,42 % em peso) demonstraram que a maior proporção de gordura resulta em uma massa mais homogênea para sua manipulação. Os biscoitos produzidos com menor conteúdo de gordura demonstraram maior dificuldade manual de quebra e compactos, indicando uma menor crocância do material em relação ao biscoito produzido com maior proporção de gordura vegetal. Assim, para a formulação dos biscoitos, foram utilizadas as proporções de 16,42 % em peso de gordura vegetal hidrogenada; 24,15 % em peso de açúcar; 2,42 % em peso de sal; 8,70 % em peso de água; e 48,31 % em peso de farinha de trigo enriquecida. Por exemplo: adiciona-se 16,42 g de gordura vegetal hidrogenada; 24,15 g de açúcar; 2,42 g de sal; 8,70 ml de água; 48,31 g de farinha de trigo enriquecida, compondo, desta forma, o total de 100 g. O Quadro A1 do Apêndice A apresenta todos os resultados das medidas físicas de massa, diâmetro, espessura e volume do material não assado (biscoito antes do forneamento). A Tabela 8 apresenta as características físicas do material produzido.

Tabela 8 - Valores médios e seus desvios das determinações físicas e químicas do material produzido para os ensaios de forneamento (unidades discoidais de biscoito não assado).

Determinações	Biscoitos
Massa (g)	2,742 ± 0,064
Diâmetro (cm)	2,892 ± 0,066
Espessura (cm)	0,423 ± 0,015
Volume (cm ³)	2,778 ± 0,176
Conteúdo de umidade, em base úmida (%)	14,89 ± 0,03
Conteúdo de sólidos totais (%)	85,11 ± 0,03
Atividade de água (valor absoluta)	0,666 ± 0,003

Fonte: Autor, 2016.

5.2 Ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos

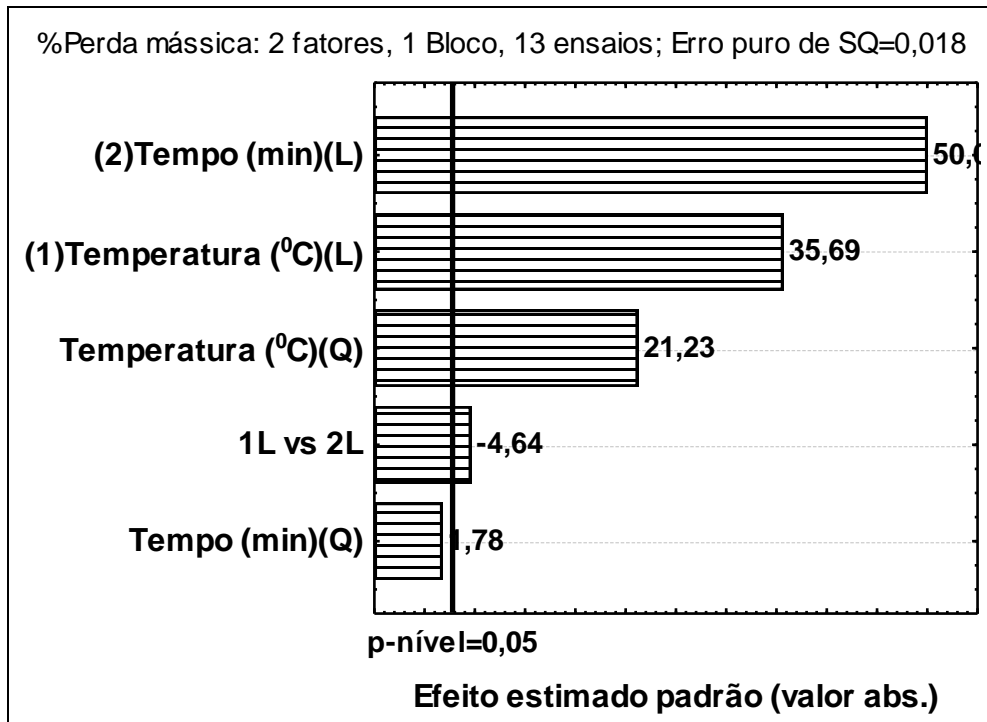
Os resultados do planejamento experimental DCCR do forneamento dos biscoitos para os parâmetros de avaliação dessa etapa de processo de produção desse produto estão apresentados nos Quadros A1, A2, A3, A4 e A5 do Apêndice A.

Toda análise estatística do DCCR foi realizada ao nível de significância de 5%. Os resultados de significância dos fatores (temperatura e tempo) e sua interação (temperatura versus tempo) estão representados através do Diagrama de Pareto. Os modelos estatísticos elaborados são do tipo linear e quadrático, representados pelas notações das letras L e Q presentes ao lado dos nomes dos fatores (temperatura e tempo) nos diagramas, curvas de níveis, superfícies de resposta, tabelas e quadros e demais informações apresentadas pela análise estatística do DCCR. O tratamento da análise de variância foi em único bloco (ANOVA não blocada), pois as amostras não apresentaram diferenças significativas para os resultados das determinações físicas do material não forneado (biscoito antes do forneamento). Os ensaios com principais foram nove (9) (quatro com a combinação dos níveis mínimos e máximos principais, quatro com a combinação dos níveis mínimos e máximos das extrapolações com o ponto central, um com ponto central) e quatro (4) repetições do ponto central resultado em treze (13) ensaios. Cada análise estatística apresenta o erro puro da Soma Quadrática (SQ) que pode ser considerado como um índice de confiança para a mesma: quanto menor esse valor, menor a diferença de valores entre os resultados de suas réplicas (ponto central) e melhor o desempenho do tratamento estatístico.

A validade do tratamento estatístico aplicado a cada parâmetro de avaliação ou resposta do DCCR aplicado aos ensaios de forneamento dos biscoito é avaliada através do teste f da análise de variância dos resultados obtidos apresentados nas Tabelas B.1 do Apêndice B. As Figuras B.2 do Apêndice B são dos diagramas da relação dos valores observados com os preditos pelo modelo e da distribuição normal dos resíduos em torno da reta que indica a normalidade para a resposta em questão. São utilizadas para garantir a qualidade e validade do tratamento estatístico.

Inicialmente foram analisadas as respostas do DCCR de Perda de massa, e a Figura 13 apresenta o diagrama de Pareto para a perda de massa dos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos.

Figura 13: Diagrama de Pareto para a Perda de massa (PM) para os ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos.



Fonte: Autor, 2016.

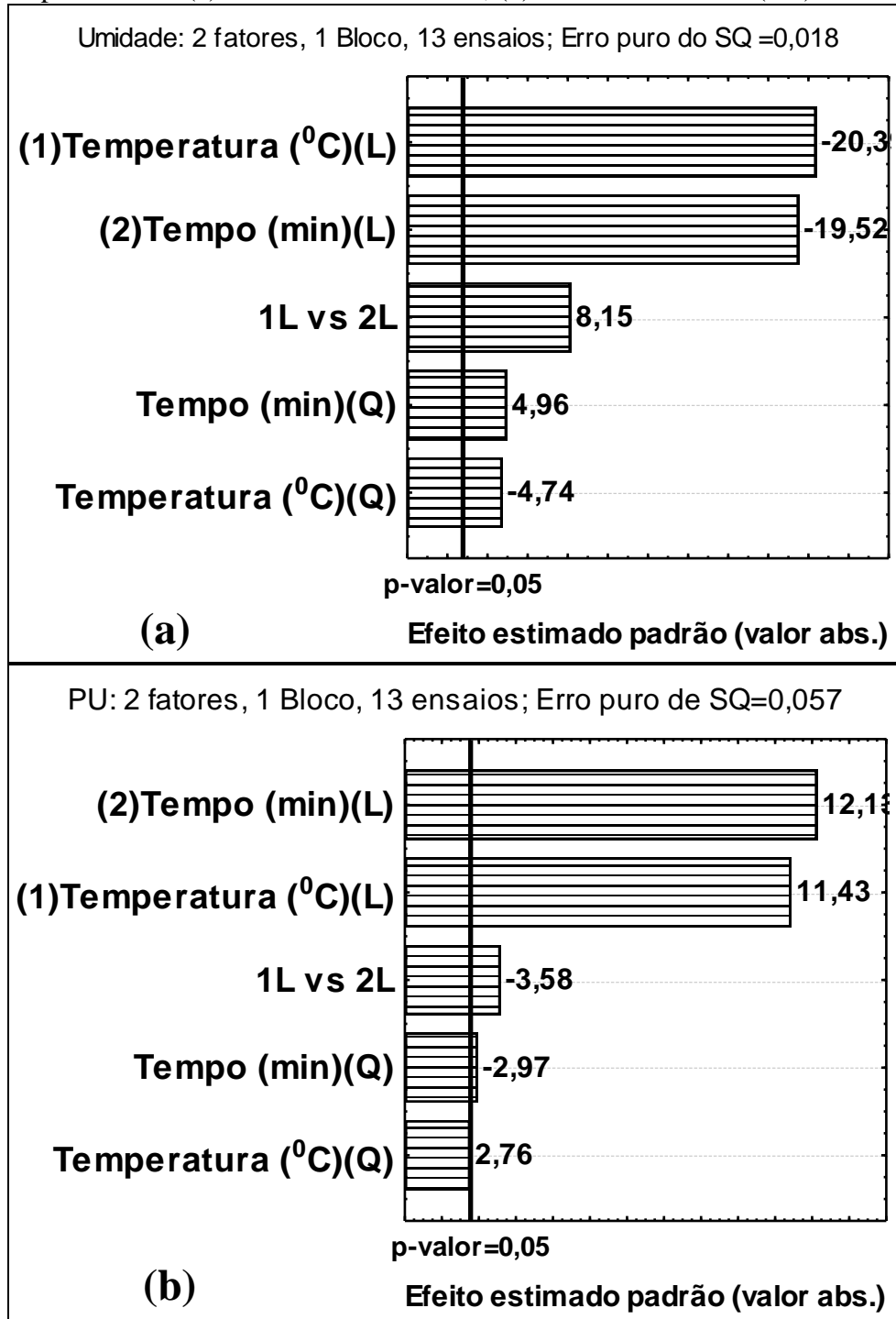
Observa-se na Figura 13 que os fatores e a sua interação foram significativos para a perda mássica dos biscoitos com exceção do ajuste quadrático para o tempo (Q). O tempo foi o fator mais significativo para a perda de massa dos biscoitos. A perda mássica é um fator desfavorável para a produção de biscoitos, pois implica em uma redução de peso e menor taxa mássica produtiva. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que minimizem a perda de massa do material produzido. A Tabela B.1.1 apresentada no Apêndice B apresenta os resultados da análise de variância (quadro de ANOVA) para a Perda de massa, na qual o valor do teste “f” calculado é maior que o tabelado ($f_{\text{calculado}} > 2,5f_{\text{tabelado}}$), demonstrando que o modelo estatístico pode ser preditivo para se estimar a perda mássica do material no intervalo de valores de tempo (13 a 27 min) e temperatura (151 a 210 °C) utilizados nos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos. O modelo estatístico obtido para a perda mássica é expresso por:

$$\text{Perda mássica (\%)} = 58,687 - 0,762T + 0,0025T^2 + 1,041t - 0,00317t \quad (11)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

A Figura 14 apresenta o diagrama de Pareto para o conteúdo de umidade e perda de umidade dos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Figura 14: Diagrama de Pareto dos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos para os parâmetros: (a) Conteúdo de umidade; (b) Perda de umidade (PU).



Fonte: Autor, 2016.

Observa-se na Figura 14a que os fatores de estudo e a sua interação foram todos significativos. Os modelos lineares apresentaram maior significância estatística em relação aos modelos quadráticos. A temperatura foi o fator mais significativo para o conteúdo de umidade dos biscoitos, seguida do tempo que apresentou um valor muito próximo a ela. Um alto conteúdo de umidade é um fator desfavorável para a produção de biscoitos, pois a

qualidade destes está relacionada a um produto mais seco e que favoreça à crocância. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que minimizem o conteúdo de umidade do material produzido. A Tabela B.1.2 do Apêndice B apresenta os resultados da análise de variância (quadro de ANOVA) para o conteúdo de umidade, na qual o valor do teste “f” calculado é maior que o tabelado ($f_{\text{calculado}} > 6,1f_{\text{tabelado}}$), demonstrando que o modelo estatístico pode ser preditivo para se estimar o conteúdo de umidade do material no intervalo de valores de tempo (13 a 27 min) e temperatura (151 a 210 °C) utilizados nos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos. O modelo estatístico obtido para o conteúdo de umidade é expresso por:

$$\text{Umidade, b.u. (\%)} = 19,920 + 0,049T - 0,0005T^2 - 1,588t + 0,010t^2 + 0,0057Tt \quad (12)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

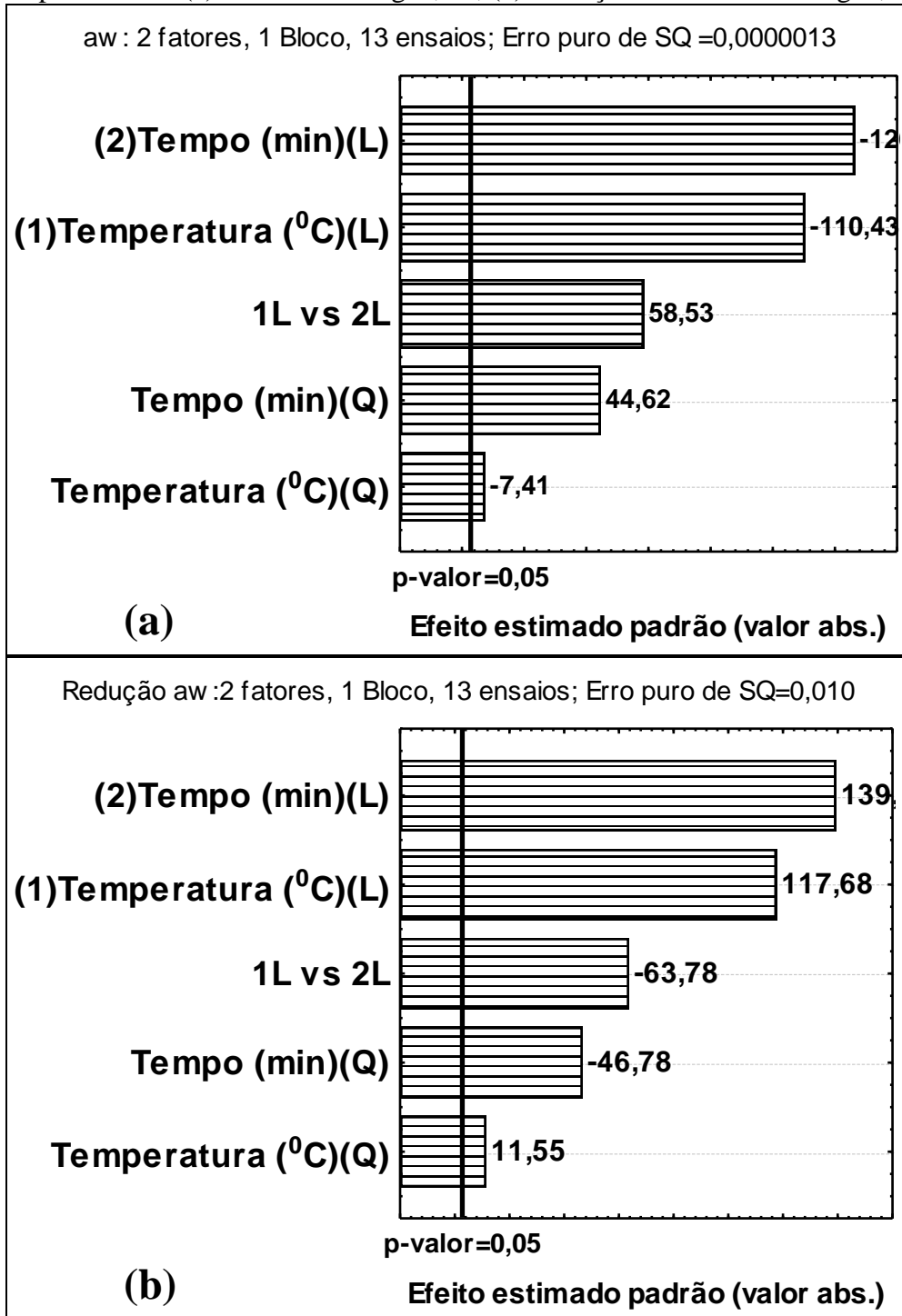
A Figura 14b demonstra que apenas a temperatura com ajuste quadrático não foi significativa para a perda de umidade dos biscoitos. A perda de umidade é um fator favorável para a produção de biscoitos, pois quanto maior a sua taxa, mais seco é o produto e maior será o seu tempo de prateleira. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que maximizem a perda de umidade do material produzido. A Tabela B.1.3 apresentada no Apêndice B apresenta os resultados da análise de variância para o conteúdo de umidade, na qual o valor do teste “f” calculado é maior que o tabelado ($f_{\text{calculado}} > 6,4f_{\text{tabelado}}$) demonstrando que o modelo estatístico pode ser preditivo para se estimar a perda de umidade para a faixa de valores dos parâmetros estudados, sendo igual a:

$$\text{Perda de umidade (\%)} = -20,35 + 0,13T - 0,012t^2 + 1,46t - 0,004Tt \quad (13)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

A Figura 15 apresenta o diagrama de Pareto para atividade de água e redução da atividade de água dos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Figura 15: Diagrama de Pareto dos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos para os parâmetros: (a) Atividade de água, a_w ; (b) Redução da atividade de água, R_{a_w} .



Fonte: Autor, 2016.

A Figura 15 apresenta um comportamento similar de significância dos fatores e sua interação entre a atividade de água e a redução de atividade de água. Os modelos lineares demonstram maior significância que os quadráticos. O tempo é o fator mais significativo, seguido da temperatura. Altos valores de atividade de água são desfavoráveis para a produção de biscoitos, pois proporcionam o desenvolvimento microbiano, conforme as informações da

Tabela 2 de atividade de água, e aumentam os riscos de deterioração do produto. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que minimizem a atividade de água do material produzido. A redução de atividade de água é um fator favorável para a produção de biscoitos, pois quanto mais reduzida for esta atividade de água, menos riscos de desenvolvimento microbiológico indesejável haverá, garantindo um produto mais seguro. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que maximizem a redução de atividade de água do material. As Tabelas B.1.4 e B.1.5 apresentadas no Apêndice B, informam os resultados da análise de variância (quadro de ANOVA) para a atividade de água e para redução de atividade de água, nas quais os valores dos testes “f” calculados são maiores que os tabelados, ($f_{\text{calculado}} > 7,6f_{\text{tabelado}}$) e ($f_{\text{calculado}} > 6,0f_{\text{tabelado}}$), respectivamente, demonstrando que os modelos estatísticos podem ser preditivos para se estimar a atividade de água e a redução de atividade de água no material no intervalo de valores de tempo (13 a 27 min) e temperatura (151 a 210 °C) utilizados nos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos. Os modelos estatísticos obtidos para a atividade de água e redução de atividade de água são expressos pelas equações:

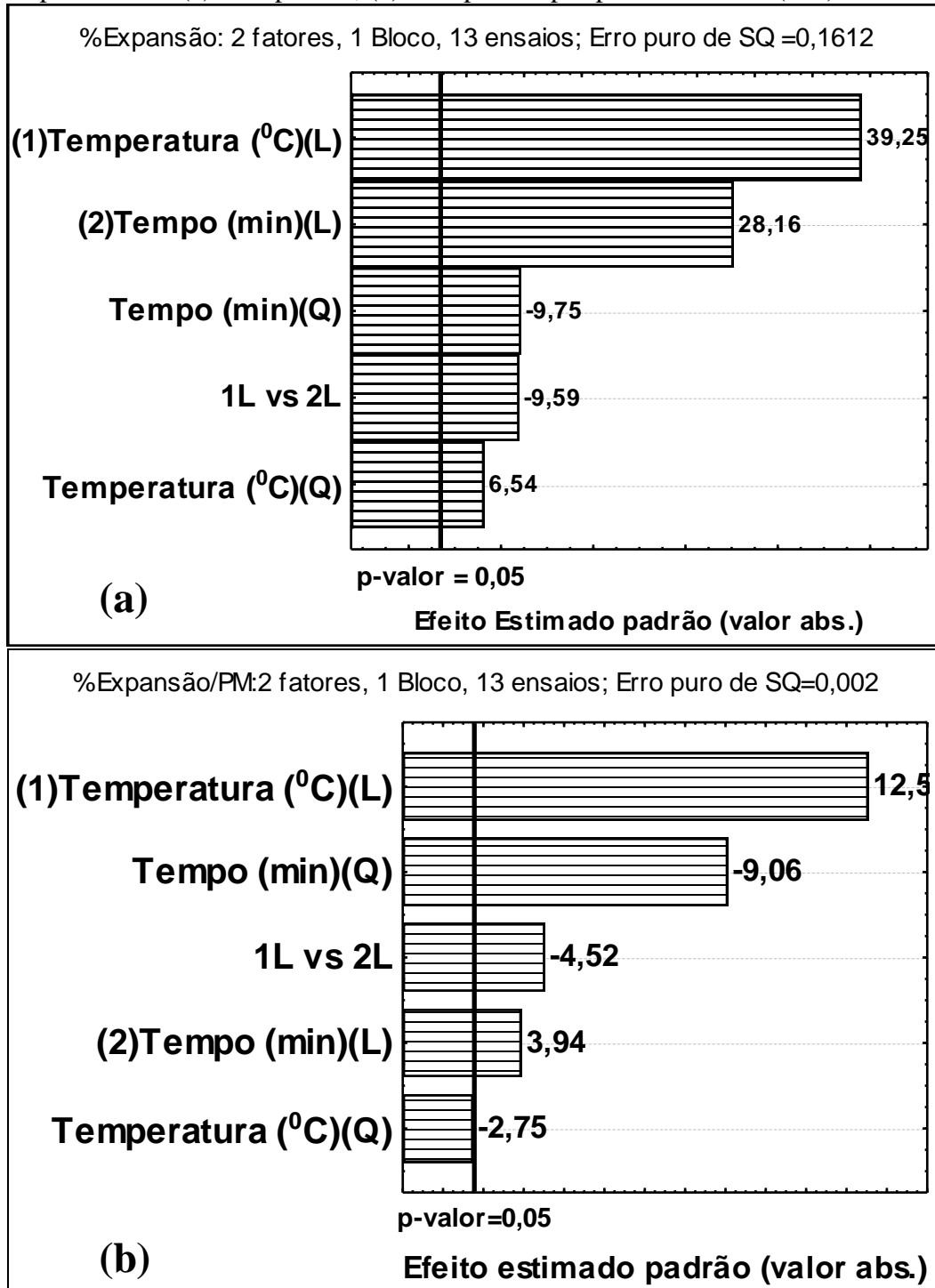
$$\text{Atividade de água} = 2,053 - 0,006T - 0,000007T^2 - 0,100t + 0,0007t^2 + 0,0003Tt \quad (14)$$

$$\text{Redução da atividade de água} = -120,516 + 0,469T + 0,001T^2 + 9,738t - 0,074t^2 - 0,032Tt \quad (15)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos

A Figura 16 apresenta o diagrama de Pareto para % Expansão e % Expansão por perda de massa dos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Figura 16: Diagrama de Pareto dos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos para os parâmetros: (a) %Expansão; (b) %Expansão por perda de massa (PM).



Fonte: Autor, 2016.

Observa-se na Figura 16 que todos os fatores de estudo e a sua interação foram significativos para a %expansão e a relação de desempenho %expansão/perda de massa.

Na Figura 16a os modelos lineares apresentam maior significância em relação aos quadráticos para a %expansão dos biscoitos.

Na Figura 16b ocorre uma alternância na ordem de significância dos modelos lineares e quadráticos para os fatores de estudo.

A temperatura é o fator mais significativo para a %expansão e %expansão/perda de massa, seguida do tempo. A percentagem de expansão é um fator favorável para a produção de biscoitos, pois quanto mais expandido, mais atrativo ele pode ser sensorialmente. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que maximizem a %expansão do material produzido.

A %expansão por perda de massa é um fator favorável para a produção de biscoitos, pois quanto maior for esta razão, significa que estamos obtendo um produto maior nas suas dimensões e sem perder massa.

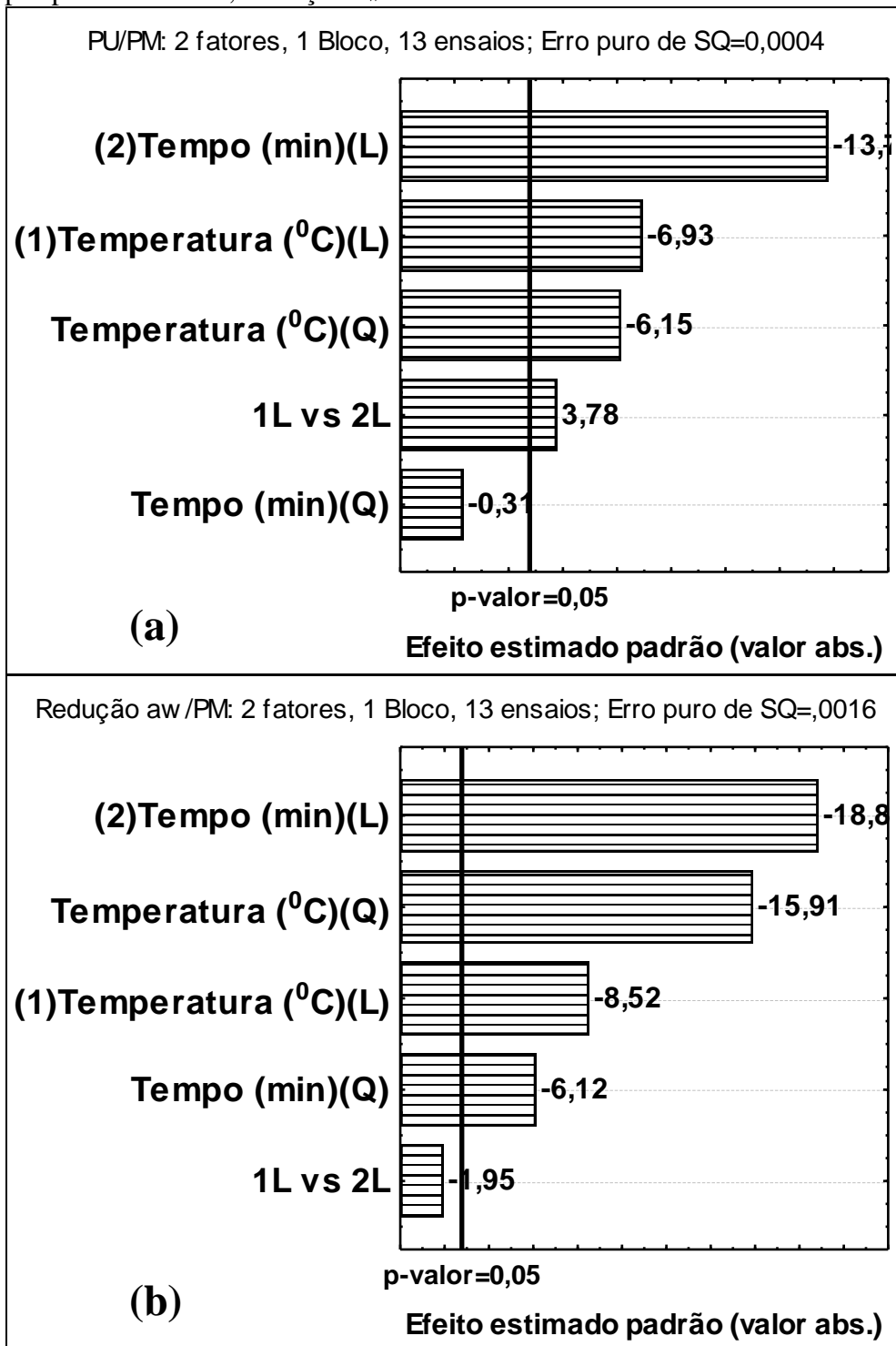
As Tabelas B.1.6 e B.1.7 do Apêndice B apresentam os resultados da análise de variância para a %expansão e %expansão/perda de massa. O valor do teste “f” calculado em relação ao tabelado é maior para a %expansão ($f_{\text{calculado}} > 2,0f_{\text{tabelado}}$) e menor para a %expansão/perda de massa ($f_{\text{calculado}} < 0,4f_{\text{tabelado}}$). Assim, a %expansão apresenta um modelo estatístico preditivo para os seus valores, para a faixa de estudo dos fatores (13 a 27 min, 151 a 210 °C), enquanto para a %expansão/perda de massa tal fato não ocorre. O modelo estatístico obtido para %expansão é expresso por:

$$\% \text{Expansão} = -60,878 - 0,188T + 0,002T^2 + 6,610t - 0,060t^2 - 0,0187t \quad (16)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

A Figura 17 apresenta o diagrama de Pareto para a perda de umidade por perda de massa e para a redução da atividade de água por perda de massa dos ensaios do DCCR.

Figura 17: Diagrama de Pareto dos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos, sendo: (a) Perda de umidade por perda de massa, PU/PM; (b) Redução de atividade de água por perda de massa, Redução a_w /PM.



Fonte: Autor, 2016.

Observa-se na Figura 17a que os fatores e a sua interação foram significativos, exceto para o tempo com ajuste quadrático. O ajuste de tempo linear (L) foi o fator mais significativo para a perda de umidade por perda de massa (PU/PM) dos biscoitos. A perda de umidade por

perda de massa é um fator favorável para a produção de biscoitos, pois quanto maior for esta razão, implica dizer que o nosso produto está perdendo apenas umidade em uma proporção que não implique em uma perda de massa representativa do material. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que maximizem a perda de umidade por perda de massa do material produzido. A Tabela B.1.8 do Apêndice B apresenta os resultados da análise de variância para a perda de umidade por perda de massa, na qual o valor do teste “f” calculado é maior que o tabelado ($f_{\text{calculado}} > 1,2f_{\text{tabelado}}$), demonstrando que o modelo estatístico pode ser preditivo para se estimar a perda de umidade por perda de massa no material no intervalo de valores dos fatores de estudo e é expresso por:

$$PU/PM = -0,413 + 0,298T - 0,0001T^2 - 0,088t + 0,0003Tt \quad (17)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

A Figura 17b demonstra que os fatores foram significativos, exceto a sua interação (1L vs 2L). O tempo foi o fator mais significativo para a redução de atividade de água por perda de massa. A redução de atividade de água por perda de massa (Redução aw/PM) é um fator favorável para a produção de biscoitos similar ao parâmetro da perda de umidade por perda de massa. Quanto maior for a Redução aw/PM, implica dizer que o nosso produto está reduzindo cada vez mais sua atividade de água e perdendo pouca massa, ou seja, está ficando menos propenso ao desenvolvimento indesejável de microrganismos com uma pequena perda de sua massa. Portanto, é importante localizar regiões nos diagramas das superfícies de resposta e curvas de níveis do tratamento estatístico que maximizem a redução de atividade de água por perda de massa do material produzido. A Tabela B.1.9 do Apêndice B apresenta os resultados da análise de variância (quadro de ANOVA) para a redução de atividade de água por perda de massa, na qual o valor do teste “f” calculado é maior que o tabelado ($f_{\text{calculado}} > 1,2f_{\text{tabelado}}$), demonstrando que o modelo estatístico pode ser preditivo para se estimar a redução de atividade de água por perda de massa do material no intervalo de valores de tempo (13 a 27 min) e temperatura (151 a 210 °C) utilizados nos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos. O modelo estatístico obtido é expresso por:

$$\text{Redução aw/PM} = -13,850 + 0,196T - 0,0005T^2 + 0,098t - 0,0038t^2 \quad (18)$$

onde: “T” se refere a temperatura em °C e “t” ao tempo em minutos.

É importante ressaltar que a magnitude da significância estatística dos modelos matemáticos apresentados é representada pela relação dos testes de variância calculados e teóricos ($f_{\text{calculado}}/f_{\text{tabelado}}$). Os modelos estatísticos que apresentaram os maiores valores para a

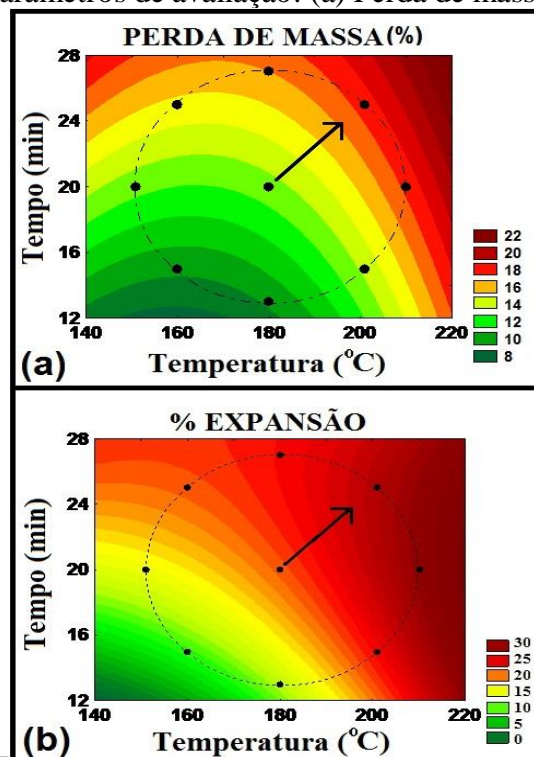
razão $f_{\text{calculado}}/f_{\text{tabelado}}$ foram dos parâmetros atividade de água, perda de umidade, conteúdo de umidade e redução de atividade de água na ordem de 7 a 6 vezes, respectivamente. O tratamento estatístico para as relações de desempenho (PU/PM e Redução a_w /PM), %expansão e perda mássica apresentou valores de $f_{\text{calculado}}/f_{\text{tabelado}}$ na faixa de 1,2 a 2,5 vezes, respectivamente. A literatura cita diferentes valores mínimos da relação $f_{\text{calculado}}/f_{\text{tabelado}}$ para assegurar a confiança estatística do modelo. Alguns autores consideram 3 vezes e outros 10 vezes (Barros-Neto et al., 2002; Rodrigues e Iemma, 2005). Portanto, os modelos estatísticos de a_w , redução de a_w e conteúdo de umidade são mais confiáveis que os demais.

Para avaliar a região de ótimo de operação (faixas de valores de tempo e temperatura desejadas) do forneamento dos biscoitos através dos parâmetros avaliados que apresentaram modelo estatístico preditivo, são utilizadas as curvas de níveis e as superfícies de resposta dos seus tratamentos estatísticos. Os resultados dos diagramas de Pareto para os parâmetros avaliados demonstraram que os modelos lineares apresentam maior significância estatística que os modelos quadráticos. Assim, as curvas de níveis apresentam maior versatilidade de visualização das regiões desejadas para os parâmetros do que as suas superfícies de respostas.

As Figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam as curvas de níveis para os parâmetros avaliados cujos modelos estatísticos foram significativos, nos quais o $f_{\text{calculado}}$ foi maior que o f_{tabelado} . A região circular tracejada nos seus diagramas corresponde a faixa de valores dos fatores de estudo tempo e temperatura utilizados nos ensaios experimentais (13 a 27 min e 151 a 210 °C). Extrapolações a essa região não são confiáveis e consideradas inválidas. Os pontos escuros no diagrama das curvas de níveis representam os nove distintos experimentos de forneamento realizados. O ponto central representa os experimentos realizados no ponto central que foram replicados 4 vezes (5 ensaios). O aumento da intensidade das cores das curvas apresentadas no diagrama de tempo (eixo y) versus temperatura (eixo x) das curvas de nível, demonstram as regiões de máximo e mínimo, conforme a legenda apresentada nesses diagramas. As setas no interior das circunferências orientam, apontando para a região de valores crescentes (maiores), dos parâmetros avaliados ou respostas do DCCR aplicado ao forneamento dos biscoitos.

A Figura 18 apresenta as curvas de níveis para a perda de massa e a %expansão do DCCR utilizado para os ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos.

Figura 18 - Curvas de níveis do planejamento experimental DCCR realizado para os parâmetros de avaliação: (a) Perda de massa; (b) %expansão.

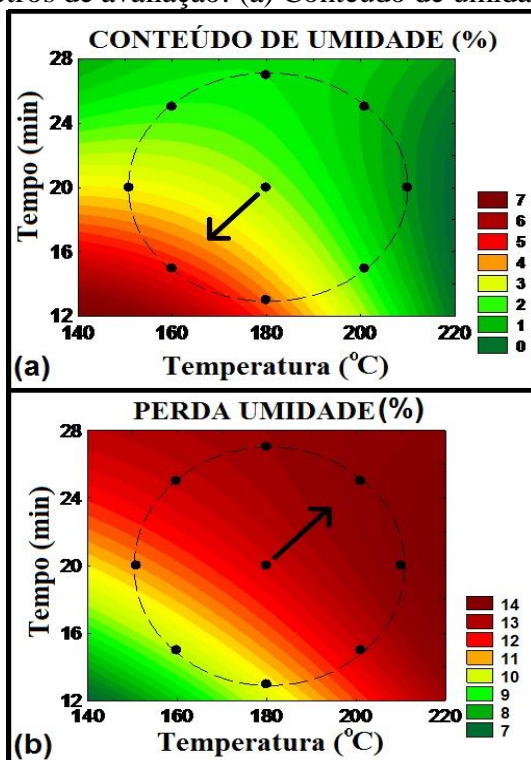


Fonte: Autor, 2016.

As regiões de máximos valores para os parâmetros apresentados na Figura 18 para as circunferências tracejadas apresentam as mesmas disposições. A perda de massa e a %expansão aumentam no quadrante superior direito da circunferência tracejada no digrama tempo versus temperatura, conforme indicam os sentidos de suas setas. Pode-se observar na Figura 18a que a região de valores mínimos da perda mássica está localizada na parte inferior da circunferência tracejada, compreendida no intervalo de valores de 160 a 190 °C e de 12 a 16 min. Os maiores valores indesejáveis para a perda mássica estão relacionados aos maiores valores desejáveis de %expansão do produto, a qual apresenta melhor desempenho nas faixas de 100 a 210 °C e de 17 a 27 min. Mediando a relação inversa de mínimos e máximos valores entre a perda de massa e %expansão pode-se definir uma estreita faixa de 170 a 190°C e de 15 a 17 min. A Figura 18b apresenta maiores valores de perda de umidade a partir do ponto no seu diagrama de tempo e temperatura iguais a 16 min e 180 °C. Portanto, pode-se considerar uma boa faixa de operação para a menor perda mássica e maior expansão. É no intervalo de valores de 180 a 210 °C e de 16 a 20 min.

A Figura 19 apresenta as curvas de níveis dos parâmetros de conteúdo de umidade e perda de umidade dos tratamentos estatísticos do DCCR aplicado aos ensaios experimentais.

Figura 19 - Curvas de níveis do planejamento experimental DCCR realizado para os parâmetros de avaliação: (a) Conteúdo de umidade; (b) Perda de umidade.

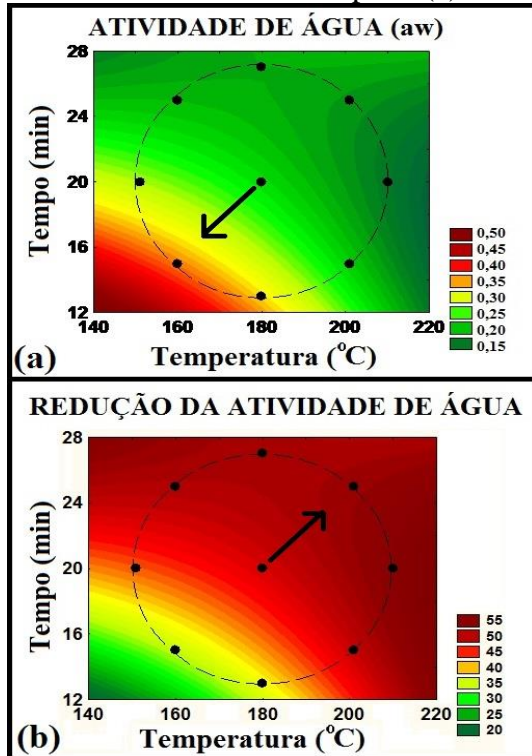


Fonte: Autor, 2016.

Observa-se na Figura 19 que as regiões de máximos estão localizadas em regiões opostas na circunferência tracejada que limita nossa estimativa de valores para as faixas otimizadas das variáveis de operação do forneamento dos biscoitos. As setas indicam o aumento quantitativo do conteúdo de umidade e da perda de massa que apresentam comportamento inverso esperado. Porém, a região desejável para o conteúdo de umidade é aquela que apresenta seus menores valores. Assim, o quadrante de interesse nas circunferências da Figura 19 é o indicado pela seta da Figura 19b. É importante ressaltar que a faixa de conteúdo de umidade dos biscoitos produzidos nos ensaios de forneamento é considerada baixa, com valores de 1 a 5% em peso de umidade, classificando-os como alimentos desidratados com considerável tempo de prateleira sob condições adequadas de armazenamento. Portanto, pode-se considerar que toda a região da circunferência tracejada no diagrama da Figura 19a pode ser utilizada para determinar uma faixa de valores otimizados para tempo e temperatura. Assim, uma faixa de operação otimizada para o conteúdo de umidade e perda de massa dos biscoitos é de 180 a 210 °C e de 16 a 27 min para produção de biscoitos com conteúdo de umidade na faixa de 3,0 a 4,0 % em peso.

A Figura 20 apresenta os resultados das curvas de nível para os parâmetros atividade de água e redução de atividade de água dos ensaios de forneamento dos biscoitos.

Figura 20 - Curvas de níveis do planejamento experimental DCCR dos ensaios de forneamento dos biscoitos para: (a) Atividade de água; (b) Redução da atividade de água.

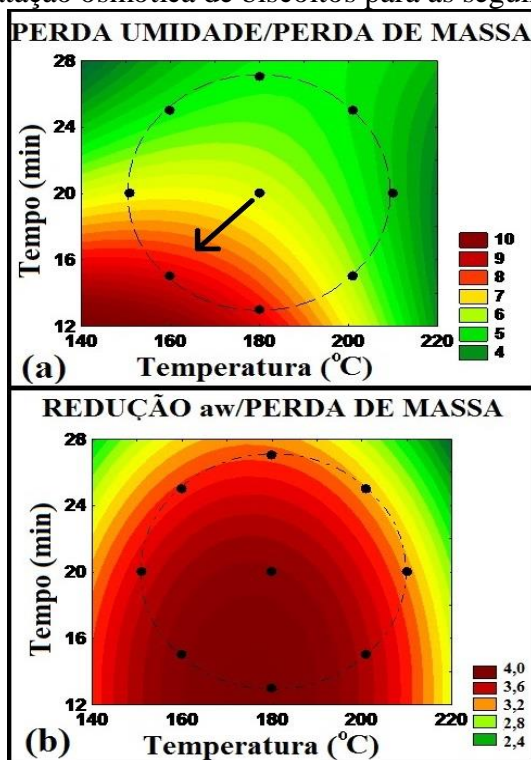


Fonte: Autor, 2016.

Os diagramas das Figuras 20a e 20b têm comportamentos similares para as curvas de nível, porém com representação contrária, inversa para a região de máximos valores dos parâmetros avaliados (a_w e redução de a_w), conforme indicam suas setas. As regiões desejadas para minimizar a atividade de água do material e maximizar a sua perda de umidade são coincidentes e estão localizadas na parte superior das circunferências tracejadas dos diagramas das Figuras 20a e 20b. Portanto, pode-se indicar a faixa de operação desejada dos mesmos, de 180 a 210 °C e de 18 a 27 min.

A Figura 21 apresenta as curvas de nível das relações de desempenho de perda de umidade por perda de massa (PU/PM) e de redução de atividade de água por perda de massa (Redução a_w /PM) do DCCR de forneamento dos biscoitos.

Figura 21 - Curvas de níveis do planejamento experimental DCCR realizado para a desidratação osmótica de biscoitos para as seguintes respostas: (a) PU/PM; (c) Raw/PM.



Fonte: Autor, 2016.

As regiões de máximos valores para os parâmetros apresentados na Figura 21 para as circunferências tracejadas nos seus diagramas apresentam diferentes disposições. A perda de umidade por perda de massa (PU/PM) apresenta valores crescentes no quadrante inferior esquerdo da circunferência tracejada do seu diagrama. A região de máximos valores da redução de atividade de água por perda de massa (Redução a_w /PM) se encontra próxima ao centro da circunferência, deslocada para a sua metade inferior. Portanto, deve-se definir uma região otimizada de tempo e temperatura para os valores máximos desses parâmetros de avaliação nos seus locais de convergência, tal como: 160 a 190 °C e de 13 a 18 min.

Finalmente, pode-se reunir as informações das faixas otimizadas para os parâmetros avaliados que apresentaram modelos estatísticos preditivos e definir as seguintes condições de operação para o fornecimento dos biscoitos:

- Faixa de temperatura do forno: 180 a 190 °C.
- Faixa de tempo de operação: 15 a 17 min.

Nesta faixa de operação os parâmetros de avaliação apresentam os seguintes resultados:

- Conteúdo de umidade e Perda de umidade: 3 a 4% em peso e 11 a 12%, respectivamente.

- Atividade de água e Redução de atividade de água: 0,3 a 0,2 e 40 a 50%, respectivamente.
- Perda de massa e %Expansão: 10 a 12% e 15 a 20%, respectivamente.
- Perda de umidade por perda de massa e Redução de atividade de água por perda de massa: 8 a 9% e 3,6 a 4,0%, respectivamente.

5.3 Comparação do produto com similar comercial

Para avaliar as características do material produzido na condição otimizada com outro similar comercializado no mercado varejista local, foram realizadas determinações de conteúdo de umidade e de atividade de água em um biscoito da marca Top Cipan que apresentava composição química similar ao biscoito produzido nos ensaios de forneamento. Os resultados obtidos do biscoito comercial foram comparados aos valores de conteúdo de umidade e de atividade de água obtidos pelos modelos estatísticos do DCCR para esses parâmetros (equações 12 e 14) para a faixa otimizada de operação obtida (entre 15 min e 180 °C e 17 min e 190 °C). A Tabela 9 apresenta os resultados de conteúdo de umidade e de atividade de água do produto obtido na faixa ótima de operação de forneamento e do biscoito comercial.

Tabela 9 – Comparação entre os resultados de umidade e atividade de água do produto produzido na faixa otimizada de operação e o seu similar comercial.

Determinações	Biscoito produzido	Biscoito comercial
Conteúdo de umidade, b.u.(%)	$2,93 \pm 0,62^i$	$5,05 \pm 0,01^{ii}$
Atividade de água (valor absoluto)	$0,253 \pm 0,033^i$	$0,383 \pm 0,001^{ii}$

ⁱValores estimados pelos modelos estatísticos para a faixa otimizada de forneamento dos biscoitos.

ⁱⁱValores obtidos pelas determinações físicas de umidade e atividade de água.

Fonte: Autor, 2016.

Observa-se na Tabela 9 que o biscoito produzido na faixa otimizada de tempo e temperatura de forneamento dos biscoitos apresentou menores conteúdos de umidade e atividade de água. Isto indica que os biscoitos produzidos podem apresentar um tempo de prateleira igual ou superior ao produto comercial, pois encontra-se menos susceptível ao desenvolvimento microbiano que o biscoito comercial em relação ao conteúdo de umidade e a atividade de água. O biscoito produzido apresentou uma coloração “dourada” e de menor intensidade que o produto comercial, que apresenta uma coloração marrom escura. As figuras 22 e 23 ilustram os dois biscoitos de estudo, o laboratorial e o comercial.

Figura 22: Biscoito obtido em laboratório.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 23: Biscoito adquirido no comércio.



Fonte: Autor, 2016.

6 CONCLUSÃO

A formulação do biscoito apresenta melhores resultados para laminação e corte com 16,42 % em peso de gordura vegetal e 24,15 % em peso de açúcar (Exemplo: para 100 g, 16,42 g de gordura e 24,15 g de açúcar).

Os ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos demonstram que o tempo e a temperatura são fatores estatisticamente significativos ($p_{\text{teste}} = 0,05\%$).

O tempo é o parâmetro mais significativo para reduzir a atividade de água e aumentar a perda de umidade, a redução da atividade de água, a perda de umidade por perda de massa e a redução de atividade de água por perda de massa dos biscoitos produzidos. É mais significativo que a temperatura para a perda de massa.

A temperatura é o parâmetro mais significativo para reduzir o conteúdo de umidade e aumentar a %expansão e a %expansão por perda de massa dos biscoitos produzidos.

A faixa otimizada de tempo e temperatura de forneamento para produção de biscoitos com menores valores de umidade, atividade de água e perda de massa, e maiores resultados de perda de umidade, redução de atividade de água, %expansão e demais relações de desempenho (PU/PM, Redução a_w /PM) é de 15 a 17 min e 180 a 190 °C.

Os biscoitos produzidos apresentam conteúdo de umidade e atividade inferiores aos valores de um produto comercial similar.

7 REFERÊNCIAS

ABBOUD, A.M.; HOSENEY, R.C., RUBENTHALER, G.L. Factors affecting cookie flour quality, **Cereal Chemistry**, 62(2), p. 130-133, 1985.

ANIB. **Associação Nacional das Indústrias de Biscoito**. Disponível em: <http://www.anib.com.br/releases_integra.asp?id=2> Acesso em: 7 de junho de 2016.

ALCHELE, W.J. Cookie and cracker processing, **Cereal Foods World**, 26(4), p. 161-165, 1981.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**, Campinas-SP, Editora da UNICAMP, 2003.

BERNUSSI, A.L.M. **Efeito da combinação do assamento convencional e energia de microondas na qualidade tecnológica de biscoito semi-doce duro**/ Ana Lúcia Medeiros Bernussi, SP: [s.n.], 1996. Orientador: Yoon Kil Chang; Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Campinas; Faculdade de Engenharia de Alimentos;

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 263, de 22 de Setembro de 2005b**. Aprova o Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>> Acesso em: 30 ago. 2016;

BRAZILIAN BISCUIT. Disponível em: <<http://www.brazilianbiscuit.com.br>> Acesso em: 25 junho de 2016.

CAMARGO, C.R.O. **Enriquecimento protéico do Pão de Farinha Desengordurada de Soja: Efeito nas Propriedades Reológicas da Massa e na Qualidade do Pão**. 1977. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1977.

DOESCHER, L.C.; HOSENEY, R.C.; MILLINKEN, G.A. A mechanism for cookie dough, **Cereal Chemistry**, 64(3), p. 158-163, 1987.

FERRÃO, E.S.P. **Modelagem e validação da transferência de calor e da distribuição de temperatura no processamento térmico contínuo de alimentos líquidos em trocadores bitubulares** / E.S.P. Ferrão. -- ed.rev. -- São Paulo, 2012. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química;

GOMES-RUFFI, C.R. **Desenvolvimento e avaliação tecnológica de biscoito tipo cracker com incremento no teor de proteínas e de fibras pela incorporação de derivados de soja** / Cristiane Rodrigues Gomes-Ruffi. -- Campinas, SP: [s.n], 2011. Orientador: Fernanda Paula Collares-Queiroz Dissertação (Mstrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

HOSENEY, R.C. **Principles of Cereal Science and Technology**, St. Paul, Minessota: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2nd Edition, 1998, 273p.

LABUZA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration, **Food Technology**, abril, p. 36 – 41, 1980.

LIMA, D.P. **Estudo comparativo do efeito da adição de proteases fúngica e bacteriana nas características reológicas da massa e na qualidade do biscoito tipo cracker/** Dorasilvia Pontes Lima. – Campinas, SP: [s.n.], 1998. Orientador: Celina Raquel de Oliveira Camargo; Tese (Doutorado)- Universidade estadual de campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

MALTINI, E.; TORREGGIANI, D.; VENIR, E.; BERTOLO, G. Water activity and the preservation of plant foods, **Food Chemistry**, v.82, p.79-86, 2003.

MONTEIRO; A.R.G.; MARTINS; M.F. Processo de desenvolvimento de produtos na indústria de biscoitos: Estudos de casos em fabricantes de médio porte, **In: IV Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos**, Gramado, RS, Brasil, 2003.

MORAES, K.S.; ZAVAREZE, E.R.; MIRANDA, M.; SALAS-MELLADO, M.M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar; **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, 30(Supl.1), p. 233-242, maio 2010.

MORETH, N.W. **Cookie and cracker ovens – Part I**. American Institute of Baking Bulletin, Donald Dubois Ed., 9(6), 1987. 8 p.

PENTEADO, A.A.T. **Aplicação de gorduras “low trans” à base de soja, formuladas utilizando rede neural artificial, em biscoitos laminados** / Alessandra Afonso Teixeira Penteado. -- Campinas, SP: [s.n], 2012. Orientador: Caroline Joy Steel. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

PEREZ, P.M.P.; GERMANI, R. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*Solanum melongena*, L.), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, 27(1), p. 186-192, jan.-mar. 2007;

POMERANZ, Y. **Wheat - Chemistry and Technology**, 3rd Edition. v. II. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988, 514p.

RODRIGUES, M.S.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**, Casa do Pão Editora, Campinas-SP, 2005. 326 p.

SILVA, M.R.; BORGES, S.; MARTINS K.A. Avaliação Química, Física e Sensorial de Biscoitos Enriquecidos com Farinha de Jatobá-do-cerrado e de Jatobá-da-mata como Fonte de Fibra Alimentar. **Brazilian Journal of Food Technology**, n. 4, p. 163-170, 2001.

SIMABESP. **Sindicato da Indústria de Massas Alimentícias e Biscoitos no estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.simabesp.org.br/estat.asp>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

TORREZAN, R. **Preservação de polpa de goiaba por métodos combinados**. 1996, Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

TURHAN, M.; OZILGEN, M. Effect of oven temperature variations up on the drying behavior of thin biscuits, **Acta Alimentaria**, 20(3-4), p. 197-203, 1991.

UBOLDI, E.M.N. Atividade de água: influencia sobre desenvolvimento de microorganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do ITAL**, v.3, n.18, p.353-383, 1981.

VITALI, D. Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. **Food Chemistry**, v. 114, p.1462-1469, 2008.

WADE, P. **Biscuits, cookies and crackers. The principles of the craft.** New York: Elsevier Applied Science, v. 1, 1988, 176p.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**, New York, Elsevier Science, 1985, 239p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Determinações físicas do material submetido aos ensaios experimentais de forneamento dos biscoitos e as relações para a avaliação dessa operação de processamento de panificação.

Neste tópico estão apresentados os resultados das determinações físicas aplicadas ao biscoito antes e depois do forneamento e as suas relações para avaliar o desempenho dessa operação.

Os Quadros A1, A2 e A3 apresentam os resultados das determinações físicas do material (dimensões, conteúdos de umidade e de sólidos totais e atividade de água).

As respostas do planejamento experimental DCCR aplicado ao forneamento dos biscoitos estão apresentados nos Quadros A4 e A5.

Quadro A.1 - Matriz do planejamento experimental DCCR para ensaios de forneamento de biscoitos: resultados das medidas do material não assado (biscoito antes do forneamento).

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Massa antes do forneamento (g)		Diâmetro antes do forneamento (cm)		Espessura antes do forneamento (cm)		Volume antes do forneamento (cm ³)	
1	160	15	2,68	2,65±0,04	2,90	2,88±0,02	0,440	0,43±0,02	2,90	2,76±0,15
			2,61		2,85		0,410		2,61	
2	201	25	2,70	2,76±0,05	2,80	2,75±0,05	0,410	0,41±0,01	2,52	2,41±0,12
			2,81		2,70		0,400		2,29	
3	160	25	2,81	2,79±0,02	2,90	2,88±0,02	0,410	0,42±0,01	2,71	2,69±0,01
			2,77		2,85		0,420		2,68	
4	201	15	2,65	2,70±0,05	2,85	2,88±0,02	0,420	0,44±0,02	2,68	2,82±0,15
			2,75		2,90		0,450		2,97	
5	150	20	2,75	2,69±0,06	2,85	2,88±0,02	0,440	0,42±0,02	2,81	2,72±0,08
			2,62		2,90		0,400		2,64	
6	210	20	2,71	2,72±0,01	2,90	2,85±0,05	0,400	0,41±0,01	2,64	2,61±0,03
			2,72		2,80		0,420		2,58	
7	180	13	2,72	2,75±0,02	3,00	2,95±0,05	0,420	0,42±0,01	2,97	2,84±0,13
			2,77		2,90		0,410		2,71	
8	180	27	2,77	2,76±0,01	3,00	2,95±0,05	0,410	0,42±0,01	2,90	2,83±0,06
			2,74		2,90		0,420		2,77	
9	180	20	2,80	2,83±0,03	2,90	2,90±0,01	0,440	0,43±0,01	2,90	2,84±0,07
			2,85		2,90		0,420		2,77	
10	180	20	2,70	2,74±0,03	2,90	2,95±0,05	0,440	0,43±0,01	2,90	2,94±0,03
			2,77		3,00		0,420		2,97	
11	180	20	2,72	2,75±0,03	2,90	2,95±0,05	0,420	0,43±0,01	2,77	2,94±0,17
			2,78		3,00		0,440		3,11	
12	180	20	2,87	2,83±0,05	2,90	2,90±0,01	0,440	0,43±0,01	2,90	2,84±0,07
			2,78		2,90		0,420		2,77	
13	180	20	2,68	2,72±0,03	2,90	2,90±0,01	0,420	0,44±0,02	2,77	2,87±0,10
			2,75		2,90		0,450		2,97	

Fonte: Autor, 2016.

Quadro A.2 - Matriz do planejamento experimental DCCR para ensaios de forneamento de biscoitos: resultados das medidas físicas dos biscoitos produzidos (biscoito depois do forneamento).

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Massa depois do forneamento (g)		Diâmetro depois do forneamento (cm)		Espessura depois do forneamento (cm)		Volume depois do forneamento (cm ³)	
1	160	15	2,45	2,44±0,02	3,00	2,95±0,05	0,454	0,45±0,01	3,21	3,09±0,12
			2,42		2,90		0,450		2,97	
2	201	25	2,2	2,23±0,02	3,00	2,90±0,10	0,470	0,48±0,01	3,32	3,14±0,18
			2,25		2,80		0,480		2,95	
3	160	25	2,44	2,41±0,03	2,90	2,90±0,01	0,510	0,50±0,01	3,37	3,32±0,05
			2,38		2,90		0,495		3,27	
4	201	15	2,27	2,30±0,03	2,90	3,00±0,10	0,520	0,51±0,01	3,43	3,58±0,15
			2,33		3,10		0,494		3,73	
5	150	20	2,34	2,31±0,03	3,00	2,95±0,05	0,450	0,45±0,01	3,18	3,04±0,14
			2,27		2,90		0,440		2,90	
6	210	20	2,28	2,31±0,03	2,90	2,90±0,01	0,515	0,51±0,01	3,40	3,33±0,07
			2,33		2,90		0,495		3,27	
7	180	13	2,48	2,49±0,01	3,10	3,05±0,05	0,430	0,42±0,01	3,24	3,07±0,17
			2,5		3,00		0,410		2,90	
8	180	27	2,35	2,32±0,03	2,90	2,90±0,01	0,525	0,52±0,01	3,47	3,42±0,05
			2,29		2,90		0,510		3,37	
9	180	20	2,45	2,48±0,02	3,00	3,00±0,01	0,500	0,49±0,02	3,53	3,43±0,11
			2,5		3,00		0,470		3,32	
10	180	20	2,37	2,40±0,02	2,90	2,95±0,05	0,530	0,52±0,01	3,50	3,55±0,05
			2,42		3,00		0,510		3,60	
11	180	20	2,39	2,41±0,01	2,90	2,95±0,05	0,510	0,52±0,01	3,37	3,54±0,17
			2,42		3,00		0,525		3,71	
12	180	20	2,5	2,47±0,03	2,90	2,95±0,05	0,525	0,50±0,03	3,47	3,41±0,06
			2,43		3,00		0,475		3,36	
13	180	20	2,34	2,38±0,04	2,80	2,85±0,05	0,540	0,54±0,01	3,32	3,44±0,12
			2,41		2,90		0,540		3,56	

Fonte: Autor, 2016.

Quadro A.3 - Matriz do planejamento experimental DCCR para ensaios de forneamento de biscoitos: resultados das determinações de conteúdo de umidade e de sólidos totais e de atividades de água dos biscoitos produzidos.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Conteúdo de umidade, em base úmida (%)		Conteúdo de sólidos totais (%)		Atividade de água (%)	
1	160	15	4,916	4,885±0,03	95,084	95,115±0,03	0,382	0,383±0,001
			4,855		95,145		0,383	
2	201	25	0,899	0,963±0,07	99,101	99,037±0,07	0,152	0,152±0,001
			1,027		98,973		0,151	
3	160	25	2,312	2,325±0,01	97,688	97,675±0,01	0,203	0,202±0,001
			2,338		97,662		0,201	
4	201	15	1,230	1,318±0,09	98,770	98,682±0,09	0,199	0,198±0,001
			1,406		98,594		0,197	
5	150	20	2,655	2,807±0,15	97,345	97,193±0,15	0,245	0,246±0,001
			2,959		97,041		0,247	
6	210	20	0,684	0,707±0,02	99,316	99,293±0,02	0,16	0,160±0,001
			0,730		99,270		0,159	
7	180	13	4,387	4,445±0,06	95,613	95,555±0,06	0,312	0,314±0,002
			4,504		95,496		0,315	
8	180	27	1,171	1,127±0,04	98,829	98,873±0,04	0,183	0,184±0,001
			1,084		98,916		0,184	
9	180	20	2,127	2,356±0,23	97,873	97,644±0,23	0,212	0,213±0,001
			2,585		97,415		0,214	
10	180	20	2,293	2,119±0,18	97,707	97,881±0,18	0,216	0,214±0,002
			1,945		98,055		0,212	
11	180	20	2,140	2,265±0,13	97,860	97,735±0,13	0,215	0,214±0,001
			2,389		97,611		0,213	
12	180	20	2,348	2,460±0,11	97,652	97,540±0,11	0,213	0,214±0,001
			2,572		97,428		0,214	
13	180	20	2,529	2,422±0,11	97,471	97,578±0,12	0,217	0,216±0,001
			2,314		97,686		0,215	

Fonte: Autor, 2016.

Quadro A.4 - Matriz do planejamento experimental DCCR para ensaios de forneamento de biscoitos: resultados para as respostas de estudo Perda de massa, Perda de umidade e Redução de atividade de água em valores percentuais.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	%Expansão		Perda de massa (%)		Perda de umidade (%)		Redução da Atividade de água (%)	
1	160	15	10,42	12,03±1,61	8,58	7,93±0,65	9,60	9,56±0,05	31,68	31,38±0,30
			13,64		7,28		9,51		31,09	
2	201	25	31,60	30,32±1,27	18,52	19,22±0,71	13,65	14,14±0,49	54,21	54,36±0,15
			29,05		19,93		14,64		54,51	
3	160	25	24,39	23,21±1,18	13,17	13,62±0,46	12,48	12,50±0,02	48,97	49,15±0,18
			22,03		14,08		12,52		49,33	
4	201	15	28,19	26,82±1,38	14,34	14,81±0,47	12,86	12,93±0,06	49,55	49,73±0,18
			25,44		15,27		12,99		49,91	
5	150	20	13,32	11,66±1,66	14,91	14,13±0,78	12,19	11,66±0,53	45,75	45,48±0,28
			10,00		13,36		11,13		45,20	
6	210	20	28,75	27,59±1,16	15,87	15,10±0,77	13,37	13,61±0,24	53,14	53,06±0,08
			26,43		14,34		13,85		52,98	
7	180	13	9,32	8,17±1,15	8,82	9,29±0,46	9,87	10,10±0,23	38,15	38,16±0,01
			7,02		9,75		10,34		38,17	
8	180	27	19,65	20,54±0,89	15,16	15,79±0,63	12,83	13,02±0,19	51,07	51,15±0,08
			21,43		16,42		13,21		51,22	
9	180	20	21,61	20,68±0,93	12,50	12,39±0,11	12,58	12,49±0,09	48,05	47,94±0,11
			19,76		12,28		12,40		47,83	
10	180	20	20,45	20,94±0,49	12,22	12,43±0,21	11,99	12,08±0,09	47,64	47,86±0,22
			21,43		12,64		12,18		48,08	
11	180	20	21,43	20,37±1,06	12,13	12,54±0,41	12,20	12,03±0,17	47,71	47,88±0,18
			19,32		12,95		11,87		48,06	
12	180	20	19,32	20,17±0,86	12,89	12,74±0,15	12,71	12,41±0,30	48,05	47,97±0,08
			21,03		12,59		12,12		47,89	
13	180	20	19,86	19,93±0,07	12,69	12,53±0,16	11,72	11,96±0,24	47,65	47,71±0,05
			20,00		12,36		12,19		47,76	

Fonte: Autor, 2016.

Quadro A.5 - Matriz do planejamento experimental DCCR para ensaios de forneamento de biscoitos: resultados para as Relações de Desempenho propostas para a operação de forneamento dos biscoitos.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	%Expansão/Perda de massa		Perda de umidade/Perda de massa		Redução da Atividade de água/ Perda de massa	
1	160	15	1,21	1,54±0,33	1,12	1,21±0,09	3,69	3,98±0,29
			1,87		1,31		4,27	
2	201	25	1,71	1,58±0,12	0,75	0,74±0,01	2,93	2,83±0,09
			1,46		0,73		2,74	
3	160	25	1,85	1,71±0,14	0,95	0,92±0,03	3,72	3,61±0,11
			1,56		0,89		3,50	
4	201	15	1,97	1,82±0,15	0,90	0,87±0,02	3,46	3,36±0,09
			1,67		0,85		3,27	
5	150	20	0,89	0,82±0,07	0,82	0,83±0,01	3,07	3,23±0,16
			0,75		0,83		3,38	
6	210	20	1,81	1,83±0,02	0,84	0,90±0,06	3,35	3,52±0,17
			1,84		0,97		3,70	
7	180	13	1,06	0,89±0,17	1,12	1,09±0,03	4,32	4,12±0,20
			0,72		1,06		3,92	
8	180	27	1,31	1,30±0,01	0,85	0,83±0,02	3,37	3,24±0,12
			1,29		0,80		3,12	
9	180	20	1,73	1,67±0,06	1,00	1,01±0,01	3,84	3,87±0,02
			1,61		1,02		3,89	
10	180	20	1,67	1,68±0,01	0,98	0,97±0,01	3,90	3,85±0,04
			1,70		0,96		3,81	
11	180	20	1,77	1,63±0,14	1,01	0,96±0,04	3,93	3,82±0,11
			1,49		0,92		3,71	
12	180	20	1,50	1,58±0,08	0,99	0,97±0,01	3,73	3,77±0,04
			1,67		0,96		3,80	
13	180	20	1,57	1,59±0,02	0,92	0,95±0,03	3,76	3,81±0,05
			1,62		0,99		3,86	

Fonte: Autor, 2016.

APÊNDICE B

Análise estatística dos parâmetros de estudo do planejamento estatístico DCCR aplicado aos ensaios de forneamento dos biscoitos.

O Apêndice B apresenta os resultados complementares da análise estatística obtida através dos planejamentos experimentais fatoriais utilizados para a realização dos ensaios de forneamento dos biscoitos. As Tabelas B.1 apresentam os resultados da análise de variância dos parâmetros estudados estatisticamente. As Figuras B.2 apresentam os diagramas dos valores experimentais em relação aos valores previstos (preditivos pelo modelo estatístico obtido) e da distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.

Tabela B.1.1 - Análise de variância para a **%expansão** das amostras utilizadas no DCCR de forneamento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	419,20 ^a	5 ^f	83,84 ^k	7,71 ^m	3,97 [*]
Resíduos	76,16 ^b	7 ^g	10,88 ^l		
Falta de ajuste	75,51 ^c	3 ^h			
Erro puro	0,64 ^d	4 ⁱ			
Total	495,35 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada ($R^2_{Aj.}$)		73,64 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R^2)		84,63 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.2 - Análise de variância para a **perda de massa (%)** das amostras utilizadas no DCCR de forneamento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	79,44 ^a	4 ^f	19,86 ^k	9,81 ^m	3,84 [*]
Resíduos	16,19 ^b	8 ^g	2,02 ^l		
Falta de ajuste	16,12 ^c	4 ^h			
Erro puro	0,07 ^d	4 ⁱ			
Total	95,63 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada ($R^2_{Aj.}$)		74,56 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R^2)		83,07 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.3 - Análise de variância para a **conteúdo de umidade** (%) das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	17,28 ^a	5 ^f	3,46 ^k	24,28 ^m	3,97 [*]
Resíduos	1,00 ^b	7 ^g	0,14 ^l		
Falta de ajuste	0,92 ^c	3 ^h			
Erro puro	0,07 ^d	4 ⁱ			
Total	18,28 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		90,65 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		94,56 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.4 - Análise de variância para a **perda de umidade** (%) das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	17,55 ^a	4 ^f	4,39 ^k	24,89 ^m	3,84 [*]
Resíduos	1,41 ^b	8 ^g	0,18 ^l		
Falta de ajuste	1,18 ^c	4 ^h			
Erro puro	0,23 ^d	4 ⁱ			
Total	18,96 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		88,84 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		92,56 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.5 - Análise de variância para a **atividade de água** das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	0,04 ^a	5 ^f	0,01 ^k	30,22 ^m	3,97 [*]
Resíduos	0,002 ^b	7 ^g	0,00 ^l		
Falta de ajuste	0,002 ^c	3 ^h			
Erro puro	0,00001 ^d	4 ⁱ			
Total	0,04 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		92,41 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		95,57 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.6 - Análise de variância para a **redução da atividade de água (%)** das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	423,28 ^a	5 ^f	84,66 ^k	23,67 ^m	3,97 [*]
Resíduos	25,03 ^b	7 ^g	3,58 ^l		
Falta de ajuste	24,99 ^c	3 ^h			
Erro puro	0,04 ^d	4 ⁱ			
Total	448,32 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		90,43 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		94,42 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.7 - Análise de variância para a relação de desempenho de **%expansão por perda de massa** das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	0,54 ^a	4 ^f	0,14 ^k	1,59 ^m	3,84 [*]
Resíduos	0,68 ^b	8 ^g	0,09 ^l		
Falta de ajuste	0,68 ^c	4 ^h			
Erro puro	0,01 ^d	4 ⁱ			
Total	1,23 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		16,33 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		44,22 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.8 - Análise de variância para a relação de desempenho de **perda de umidade por perda de massa** das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	0,124 ^a	4 ^f	0,03 ^k	4,61 ^m	3,84 [*]
Resíduos	0,053 ^b	8 ^g	0,01 ^l		
Falta de ajuste	0,052 ^c	4 ^h			
Erro puro	0,002 ^d	4 ⁱ			
Total	0,178 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		54,60 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		69,73 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

Tabela B.1.9 - Análise de variância para a relação de desempenho de **redução de atividade de água por perda de massa** das amostras utilizadas no DCCR de fornecimento de biscoitos.

Fonte	Soma Quadrática	Nº de graus de liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{teste, 5%}
Regressão	1,13 ^a	4 ^f	0,28 ^k	4,91 ^m	3,84*
Resíduos	0,46 ^b	8 ^g	0,06 ^l		
Falta de ajuste	0,45 ^c	4 ^h			
Erro puro	0,01 ^d	4 ⁱ			
Total	1,59 ^e	12 ^j			
% da máxima variação explicada (R ² _{Aj.})		56,55 ⁿ			
% de máxima variação explicável (R ²)		71,04 ^o			

Fonte: Autor, 2016.

$$^a SQ_R = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$^b SQ_r = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i)^2$$

$$^c SQ_R = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2$$

$$^d SQ_r = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i)^2$$

$$^e SQ_R = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

$$^k MQ_R = \frac{SQ_R}{p-1}$$

$$^l MQ_r = \frac{SQ_r}{n-p}$$

$$^m F_{calculado} = \frac{MQ_R}{MQ_r}$$

$$^n R_{AJ.}^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T}$$

$$^o R^2 = \frac{SQ_T - SQ_R}{SQ_T}$$

^f calculado através da diferença: (nº de parâmetros do modelo estatístico - 1)

^g calculado através da diferença: (nº de ensaios - nº de parâmetros)

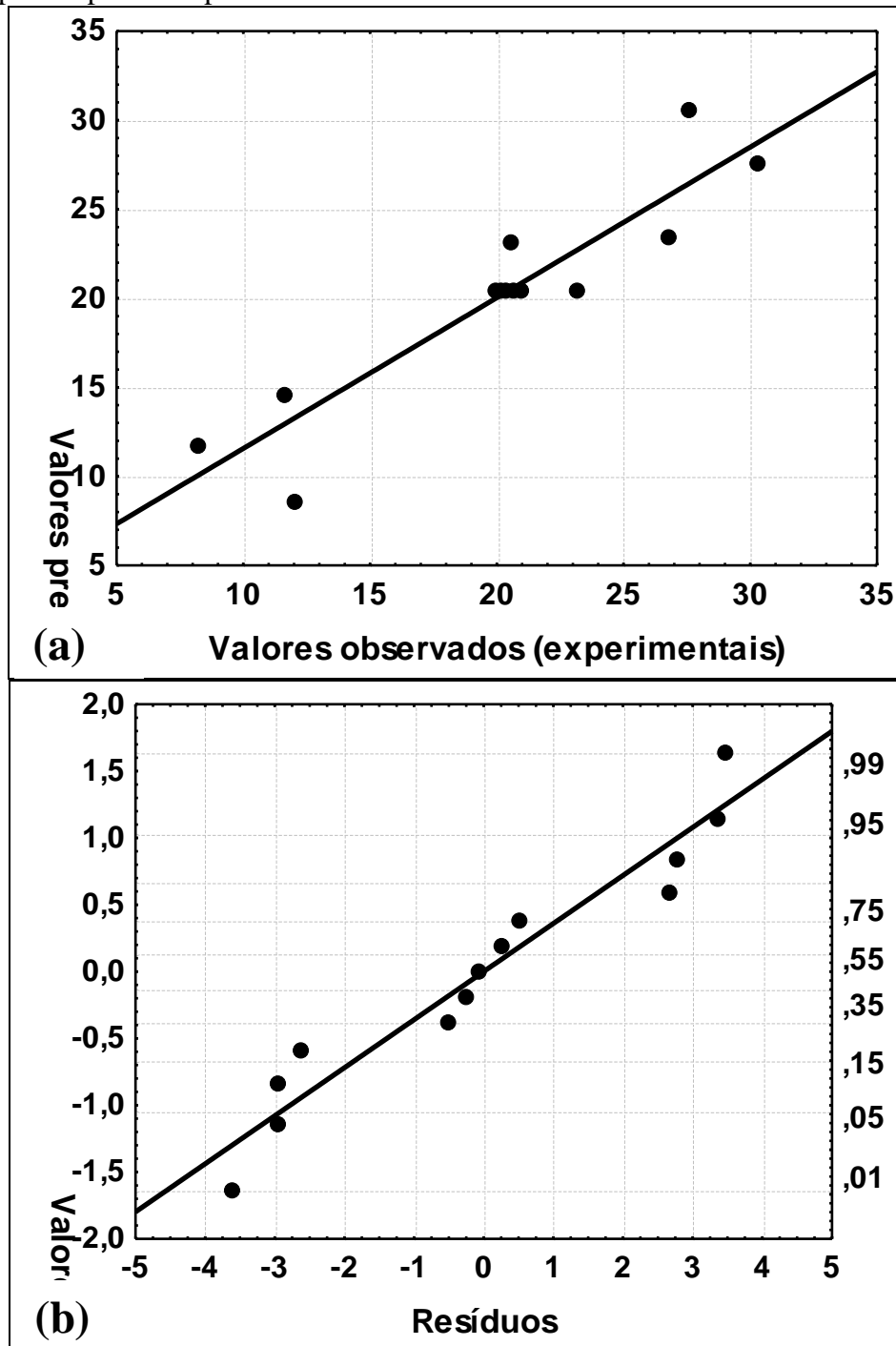
^h calculado através da diferença: (nº de ensaios distintos - nº de parâmetros)

ⁱ calculado através da diferença: (nº de pontos centrais - 1)

^j calculado através da diferença: (nº de experimentos - 1)

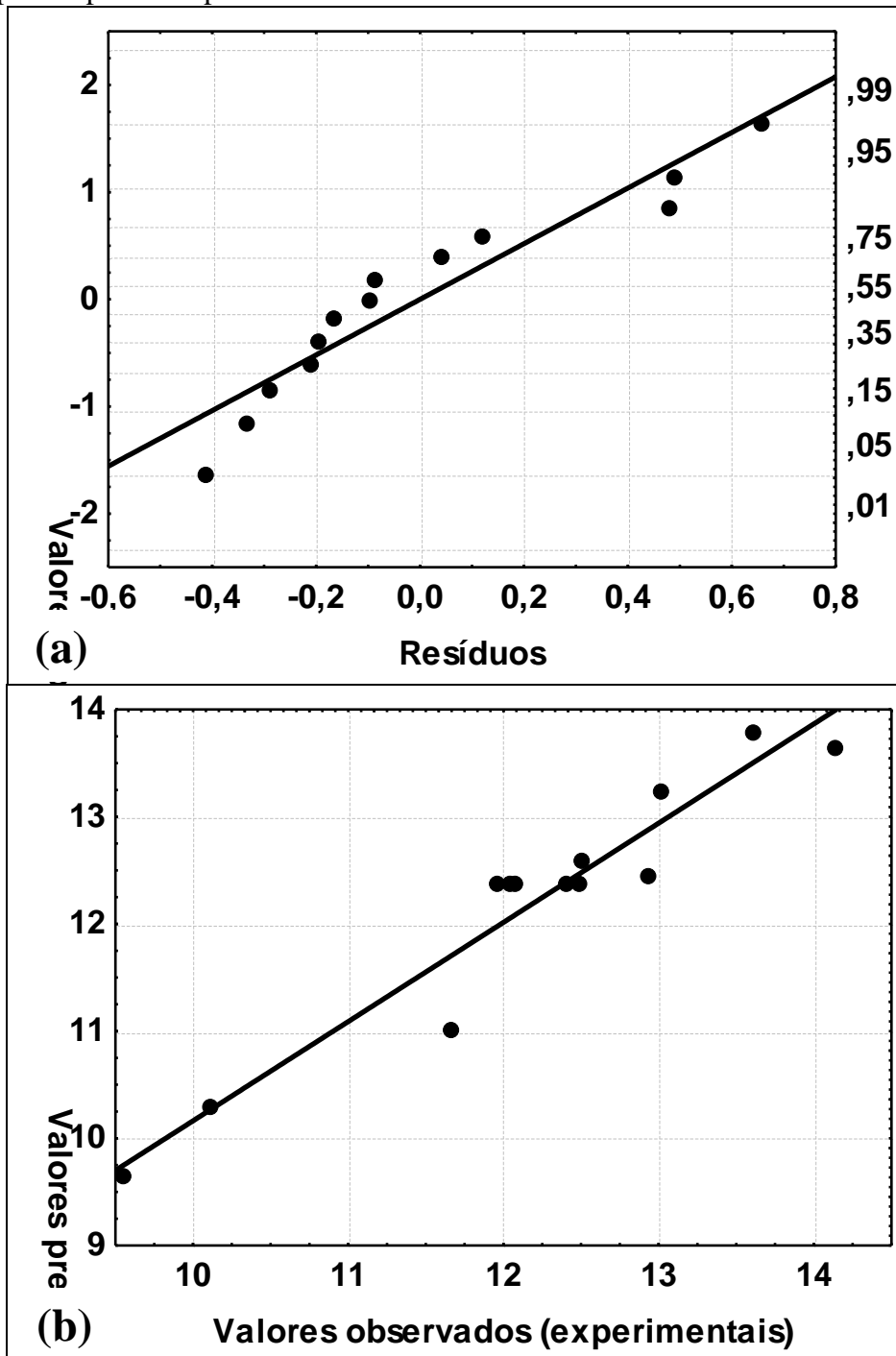
* valor obtido da Tabela A.4: Pontos de Percentagem de distribuição F, 5% apresentada por Barros Neto *et al.* (2002), p. 397.

Figura B.2.1 – Avaliação da análise estatística para a **perda de massa**: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



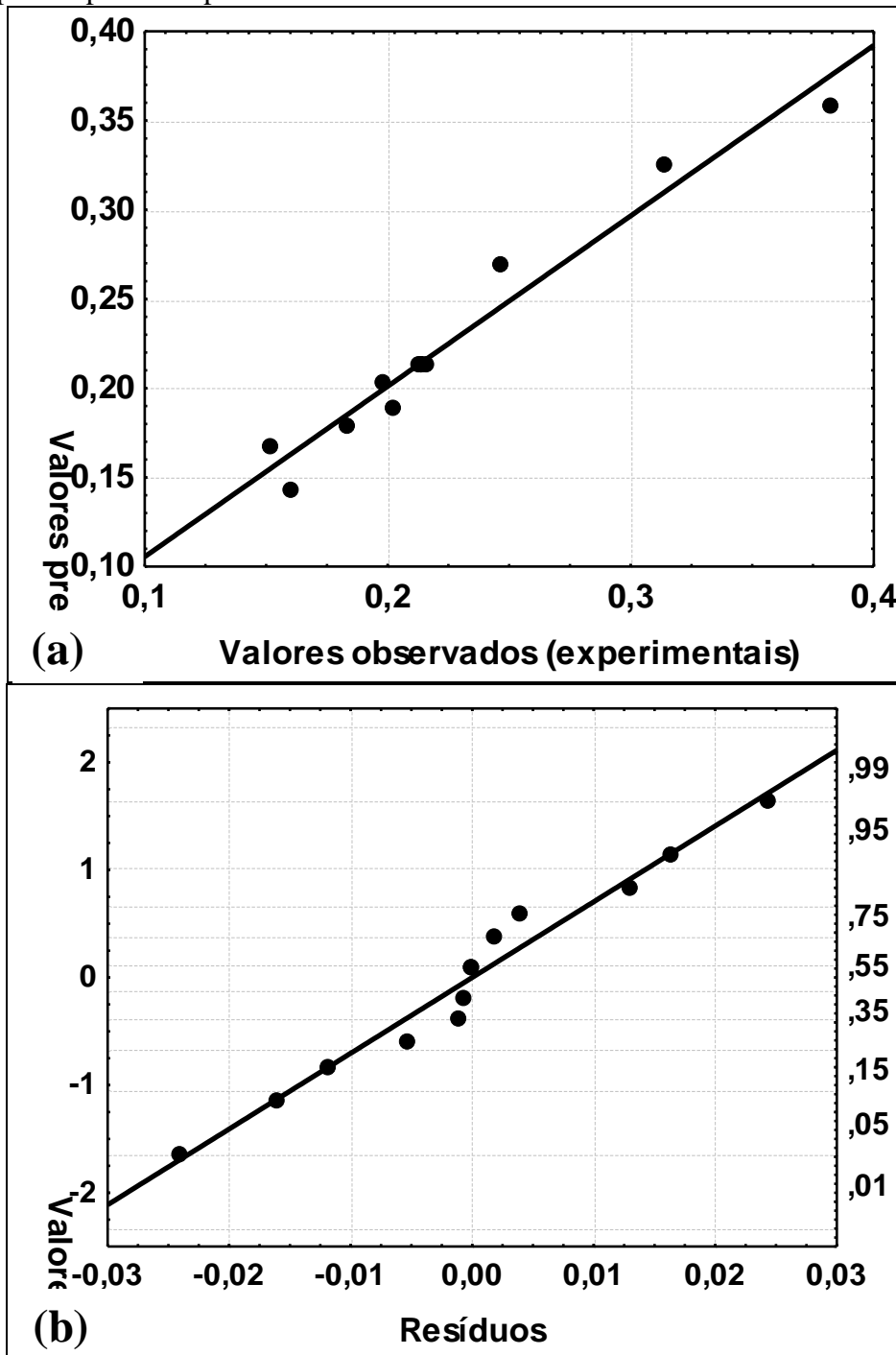
Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.2 – Avaliação da análise estatística para o **conteúdo de umidade**: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



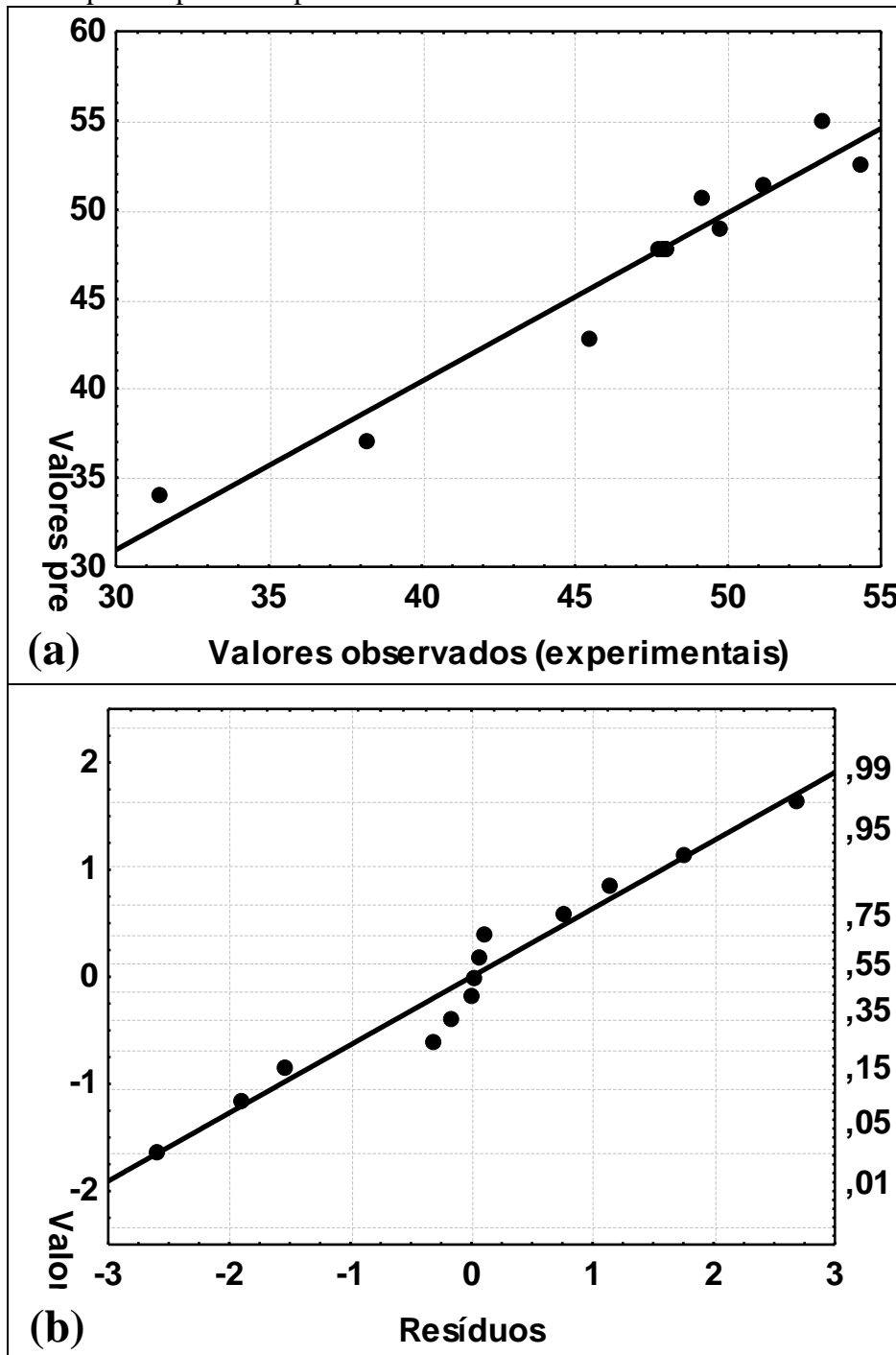
Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.3 – Avaliação da análise estatística para a **atividade de água**: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



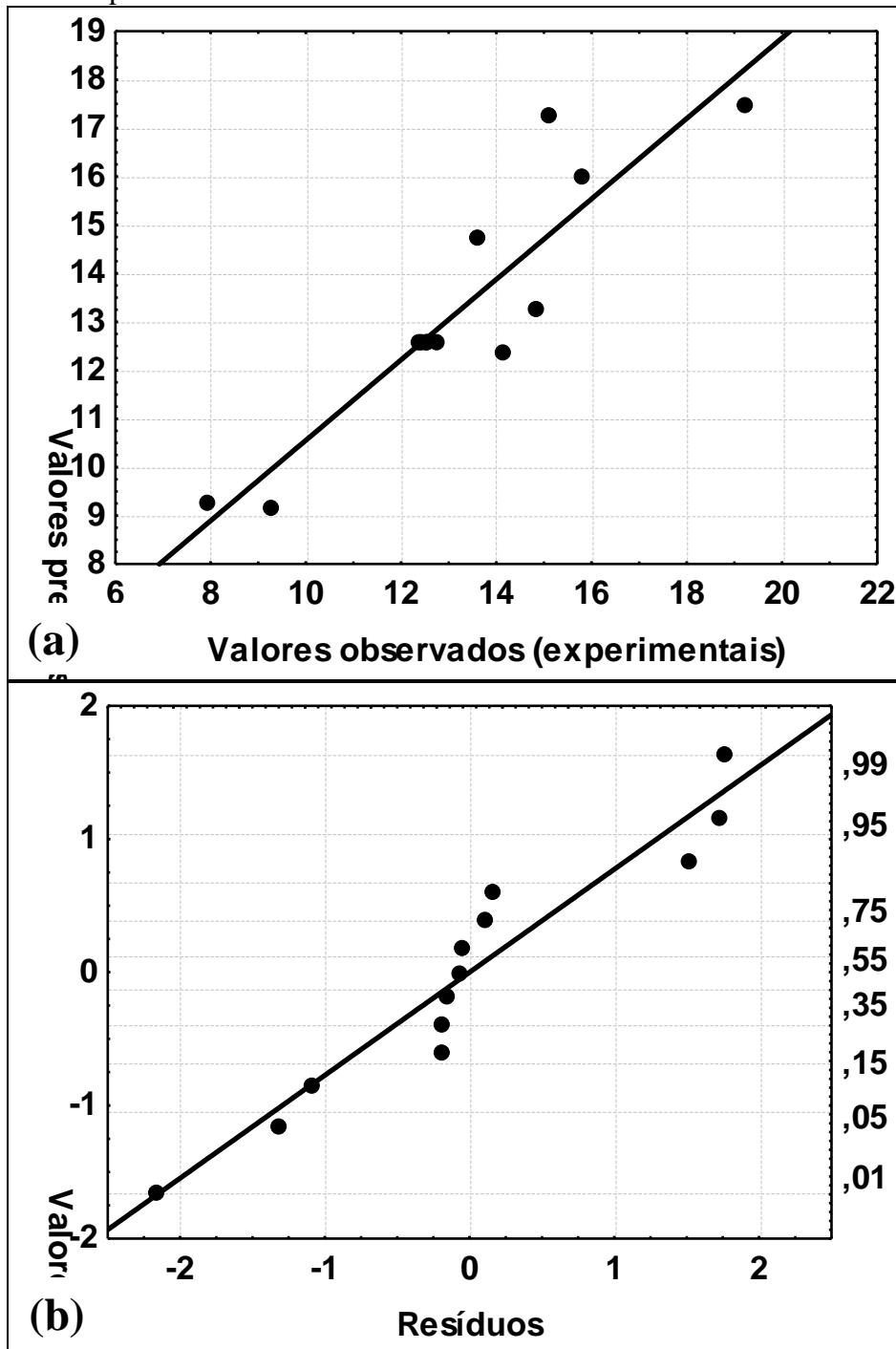
Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.4 – Avaliação da análise estatística para a **redução da atividade de água**: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



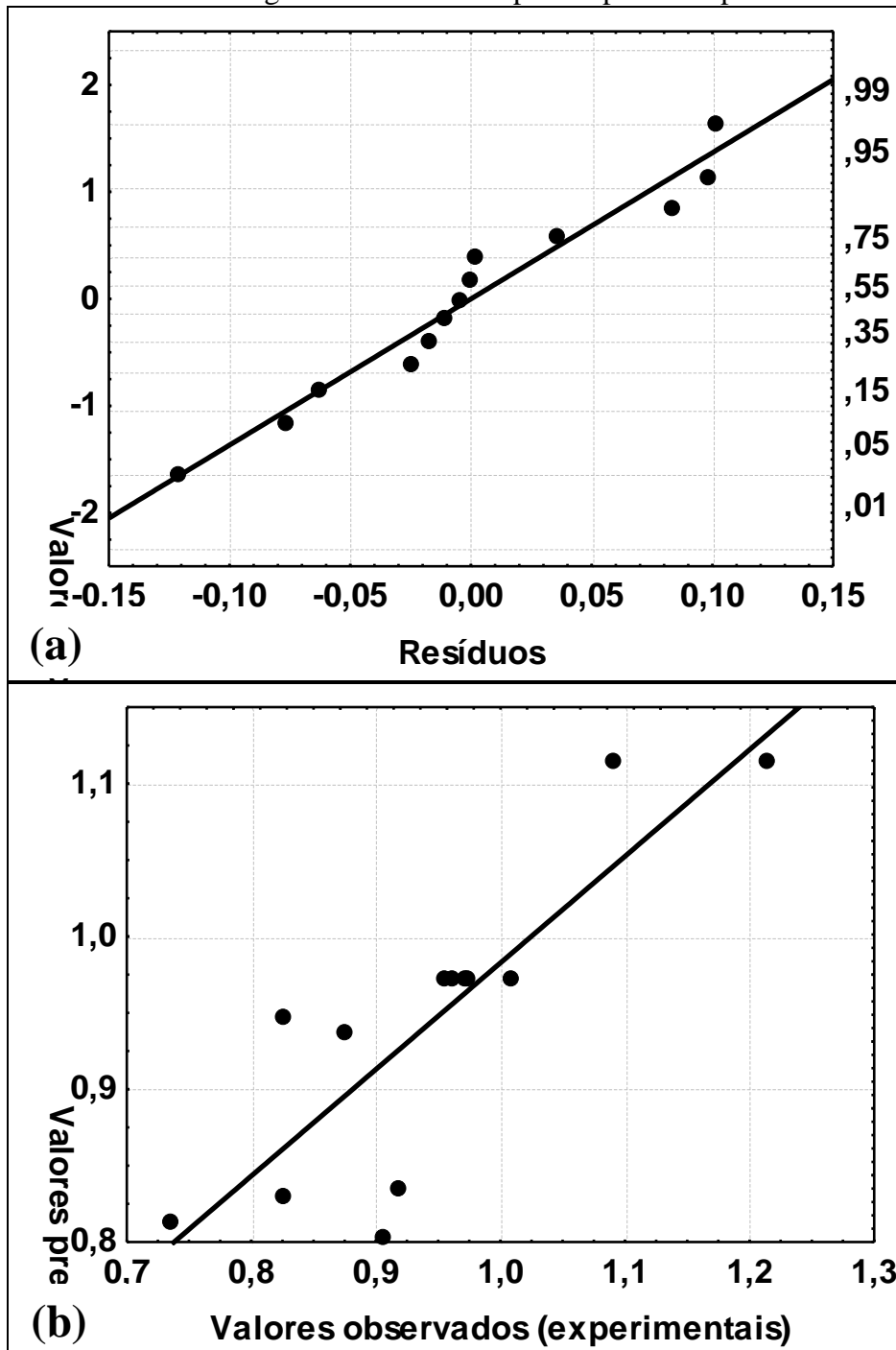
Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.5 – Avaliação da análise estatística para a %expansão: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



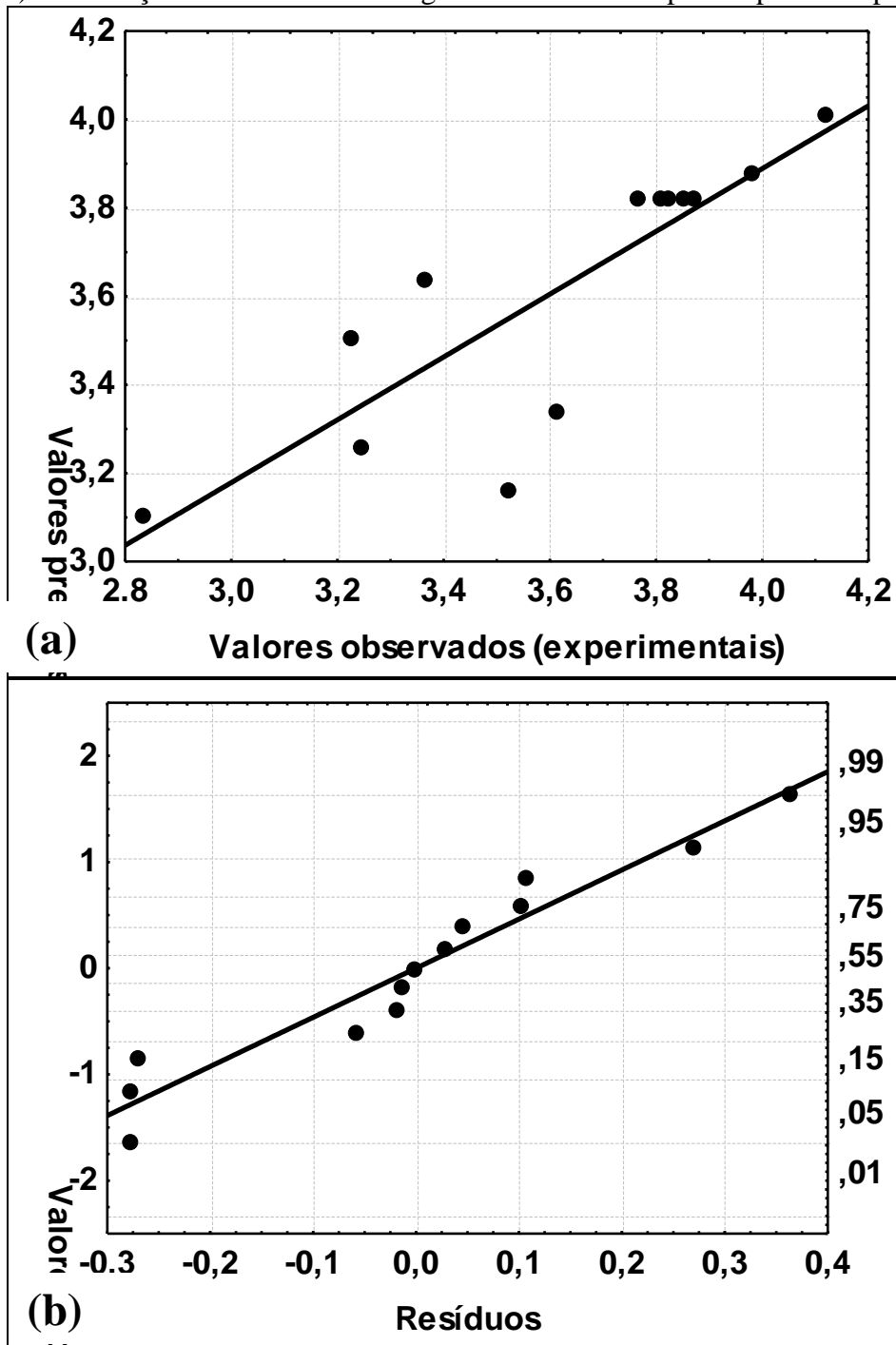
Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.6 – Avaliação da análise estatística para a relação de desempenho de **perda de umidade por perda de massa**: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



Fonte: Autor, 2016.

Figura B.2.7 – Avaliação da análise estatística para a relação de desempenho de redução da atividade de água por perda de massa: a) valores experimentais em relação aos valores previstos; b) distribuição dos resíduos ao longo da reta normal esperada para a resposta.



Fonte: Autor, 2016.