

Impactos do amido resistente e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete

Impacts of resistant starch and the enzyme transglutaminase on the technological characteristics of spaghetti

Impactos del almidón resistente y la enzima transglutaminasa en las características tecnológicas de los espaguetis

Recebido: 01/07/2020 | Revisado: 15/07/2020 | Aceito: 19/07/2020 | Publicado: 01/08/2020

Leandra Zafalon Jaekel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2896-2810>

Instituto Federal Sul-Riograndense de Educação, Ciência e Tecnologia, Brasil

E-mail: leandrazafalon@gmail.com

Marcio Schmiele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1710>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

Yoon Kil Chang

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5897-1681>

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

E-mail: yoonkilch@gmail.com

Resumo

O uso de amido resistente em novos produtos vem aumentando devido aos benefícios à saúde associado ao consumo de fibras. Entretanto, sua utilização em produtos, como massas alimentícias, é limitada por enfraquecer a rede de glúten. Uma possibilidade para solucionar este problema é a adição da enzima transglutaminase. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de amido resistente (AR) e de transglutaminase (TG) nas características de cozimento, textura, cor e na solubilidade de proteínas de espaguete, através de um delineamento composto central rotacional de duas variáveis independentes ($x_1 = \text{AR}$, 0 a 20 %; $x_2 = \text{TG}$, 0,2 a 1,0 %). As principais variáveis dependentes estudadas foram: amido resistente, cor instrumental, características de cozimento e de textura e solubilidade de proteínas. Através da Metodologia de Superfície de Resposta analisou-se os resultados que demonstraram que AR e TG apresentaram influência na qualidade dos produtos, sendo

estatisticamente significativas ($p < 0,10$) para cor, tempo ótimo de cozimento, aumento de peso, aumento de volume, elasticidade e teor de amido resistente. A luminosidade (L^*) foi maior com o aumento de AR e TG. Maiores teores de AR diminuem o tempo de cozimento e a elasticidade. Dentre as variáveis independentes, AR apresentou maior efeito sobre as variáveis dependentes estudadas. O ponto otimizado (0,70 de desejabilidade) necessita do uso de 18,65 % de amido resistente, resultando em um espagete com apelo de fonte de fibra alimentar, pois contém mais de 2,5 g de fibra alimentar, por porção, no produto pronto para o consumo.

Palavras-chave: Massa alimentícia; Fonte de fibra; Intercruzamento.

Abstract

The use of resistant starch in new food products is increasing due to the health benefits associated with fiber intake. However, its use in products such as pasta is limited because it weakens the gluten network. One way to solve this problem is by adding enzyme transglutaminase into the formulation. The objective of this study was to evaluate the influence of resistant starch (RS) and transglutaminase (TG) on spaghetti cooking characteristics, texture, color and protein solubility using a central composite rotational design of two independent variables ($x_1 = \text{RS } 0 \text{ to } 20 \%$; $x_2 = \text{TG } 0.2 \text{ to } 1.0 \%$). The main dependent variables studied were resistant starch, instrumental color, cooking and texture characteristics and protein solubility. The results were analyzed using Response Surface Methodology, which demonstrated that RS and TG influenced the product quality, being statistically significant ($p < 0.10$) for the color, optimum cooking time, weight and volume increase, elasticity and content resistant starch. The luminosity (L^*) was higher with the increase in RS and TG. Higher levels of RS decrease cooking time and elasticity. Among the independent variables, RS presented the greatest effect on the dependent variables studied. The optimal point (0.70 of desirability) requires the use of 18.65 % resistant starch, resulting in a spaghetti with appeal of source in dietary fiber, as they contain more than 2.5 g of dietary fiber, per serving, in the product ready for consumption.

Keywords: Pasta; Fiber source; Crosslinking.

Resumen

El uso de almidón resistente en nuevos productos está aumentando debido a los beneficios para la salud asociados con el consumo de fibra. Sin embargo, su uso en productos, como la pasta, está limitado por el debilitamiento de la red de gluten. Una posibilidad para resolver

este problema es la adición de la enzima transglutaminasa. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la adición de almidón resistente (AR) y transglutaminasa (TG) sobre las características de cocción, textura, color y solubilidad de las proteínas del espagueti, a través de un diseño central compuesto rotacional con dos variables independientes ($x_1 = \text{AR}$, 0 a 20 %; $x_2 = \text{TG}$, 0.2 a 1.0 %). Las principales variables dependientes estudiadas fueron: almidón resistente, color instrumental, características de cocción y textura y solubilidad de proteínas. Los resultados se analizaron mediante la Metodología de Superficie de Respuesta y los resultados obtenidos indicaron que el AR y la TG influyeron en la calidad de los productos, siendo estadísticamente significativos ($p < 0,10$) para el color, el tiempo óptimo de cocción, el aumento de peso, el aumento de volumen, la elasticidad y el contenido de almidón resistente. La luminosidad (L^*) fue mayor con el aumento de AR y TG. Los niveles más altos de AR disminuyen el tiempo de cocción y la elasticidad. Entre las variables independientes, el AR mostró un mayor efecto sobre las variables dependientes estudiadas. El tratamiento optimizado (0,70 de deseabilidad) requiere el uso de almidón resistente al 18,65 %, lo que resulta en un espagueti con una fuente atractiva de fibra dietética, ya que contiene más de 2,5 g de fibra dietética, por porción, en el producto listo para el consumo.

Palabras clave: Pasta; Fuente de fibra; Entrecruzamiento.

1. Introdução

O interesse em desenvolver alimentos funcionais está aumentando, impulsionado em grande parte pelo potencial mercado para os alimentos que podem melhorar a saúde e o bem-estar dos consumidores, aliados à sensorialidade e ao prazer em consumir alimentos atrativos. As autoridades de saúde em todo o mundo recomendam uma redução no consumo de gorduras e um aumento na ingestão de fibra alimentar (Bustos, Perez & León, 2011; Vernaza & Chang, 2020). Por exercer um efeito fisiológico semelhante ao da fibra alimentar e ser amplamente disponível, o amido resistente (AR) tem sido bastante utilizado (BeMiller, 2020). Além disso, muitos consumidores não são atraídos por produtos integrais tradicionais, principalmente pela alteração que as fibras presentes nos farelos proporcionam ao alimento. Neste contexto, o amido resistente é uma fibra branca e suave, que não altera a cor e o sabor do produto ao qual é adicionado.

Algumas fibras alimentares estão sendo reconhecidas por reduzirem a infecção pelo vírus sincicial respiratório, o que em pandemias como a do coronavírus (SARS-CoV-2) apresenta grande importância, pois mesmo que não tenha ação direta sobre o desenvolvimento

da COVID-19, a redução de infecção por outros tipos de vírus respiratórios pode fortalecer o sistema imunológico do indivíduo (Antunes et al., 2019).

Além de fonte de fibras, produtos contendo AR aumentam a sensação de saciedade e atuam como potenciais prebióticos. O AR é um carboidrato complexo, resiste à digestão enzimática no intestino delgado não fornecendo glicose ao organismo, provoca o aumento do bolo fecal, o qual passa pelo intestino delgado, arrastando sais biliares e triglicerídeos, impedindo a absorção total de gorduras, colesterol e glicose. Quando chega ao cólon é utilizado como substrato pelas bifidobactérias liberando ácidos graxos de cadeia curta, principalmente o ácido butírico, juntamente com ácidos propiônico e acético, diminuindo o pH e favorecendo a absorção de minerais (Alsaffar, 2011; Fuentes-Zaragoza, Riquelme-Navarrete, Sánchez-Zapata & Pérez-Álvarez, 2010; BeMiller, 2020).

O amido resistente pode ser classificado em cinco tipos, de acordo com a natureza do amido, estrutura dos grânulos, operações de cozimento e refrigeração e formação de complexos com outros componentes (Remya, Jyothi & Sreekumar, 2018). O AR1 refere-se aos grânulos de amido fisicamente inacessíveis no alimento, basicamente por causa das paredes celulares e matriz proteica. O processamento e cozimento dos alimentos pode desintegrar a parede celular, o que pode tornar o amido disponível para a digestão (Fuentes-Zaragoza et al., 2010, Vernaza et al., 2012; Vernaza & Chang, 2020; BeMiller., 2020). AR2 são os grânulos de amido nativo, não cozidos, localizados no interior da célula vegetal, são altamente resistentes à digestão pela enzima α -amilase em função da forma compacta e estrutura parcialmente cristalina. Este tipo de AR está presente na batata crua, banana verde e em amidos com alto teor de amilose, como o amido de algumas variedades de milho (Alsaffar, 2011; Vernaza et al., 2012; Vernaza & Chang, 2020; BeMiller., 2020). O AR2 de milho com alto teor de amilose é importante do ponto de vista tecnológico, pois mantém sua estrutura, mesmo durante o processamento e preparo de muitos alimentos (Nugent, 2005). O AR3 constitui os polímeros de amido retrogradado, principalmente amilose, formando uma estrutura insolúvel parcialmente cristalina, resistente à digestão pela amilase pancreática e diferente da conformação inicial. Encontra-se em pães, batatas cozidas e resfriadas e cereais matinais (Sozer, Dalgiç & Kaya, 2007; Alsaffar, 2011; Vernaza & Chang, 2020; BeMiller, 2020). O AR4 é modificado quimicamente, com grupamentos éteres, ésteres e fosfatos, amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado. Segundo BeMiller (2020), parece estar estabelecido que a modificação química reduzirá o grau de hidrólise por α -amilase, com substituição/estabilização o efeito é maior que com modificação por ligação cruzada, e a hidroxipropilação apresenta um maior efeito que a

acetilação. No entanto, o grau de substituição ou intercruzamento dos amidos pode ser conduzido a um nível que os tornem resistentes ao cozimento, mas os limites permitidos de modificação são bastante baixos. O AR5 é formado principalmente por moléculas de amilose complexadas com ácidos graxos, álcoois graxos ou monoacilgliceróis. O complexo amilose-lípido é resistente à hidrólise enzimática. Esse tipo de amido não é estável ao calor, mas geralmente são mais termoestáveis do que grânulos de amido nativo. Após serem aquecidos a temperaturas acima de suas temperaturas de dissociação (geralmente superiores a 100 ° C), os complexos amilose-lípido se reorganizam espontaneamente com o resfriamento da solução de amido (BeMiller, 2020).

Massas alimentícias são alimentos populares, de fácil preparo, podendo ser utilizadas em pratos com carnes, vegetais, azeites, molhos, sopas entre outros. Devido a este cenário tão positivo, uma vida de prateleira longa e tamanha diversidade de aplicação, as massas alimentícias devem ser vistas como uma das opções mais promissoras para inclusões de matérias-primas com propriedades funcionais. Contudo, o uso de amido resistente pode trazer implicações tecnológicas por reduzir a concentração de glúten, o que pode prejudicar características de cozimento e textura. Uma alternativa para se reforçar a rede de glúten é a adição da enzima transglutaminase que atua, principalmente, formando ligações cruzadas entre grupamentos de lisina e glutamina criando uma ligação ϵ -(γ -glutamil)-lisina (Aalami & Leelavathi, 2008; Chillo, Laverse, Falcone, Protopapa & Del Nobile, 2008; Takács, Gelencsér & Kovács, 2008; Hernández-Nava, Berrios, De Pan, Osorio-Díaz & Bello-Perez, 2009; Bustos et al., 2011; Santos, Rodrigues, Jaekel, Chang & Schmiele, 2017; Quinaud et al., 2020).

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a influência da substituição parcial da farinha de trigo por amido resistente e da adição de transglutaminase sobre as características de cozimento, textura e cor instrumental, na solubilidade de proteínas e no teor de amido resistente de espaguetes.

2. Metodologia

As matérias-primas utilizadas na produção das massas alimentícias foram: farinha de trigo (FT) (Pastificio Selmi, Sumaré, Brasil), amido resistente (AR) tipo 2 - *Hi Maize 260*, composto por amido de milho com alto teor de amilose (*National Starch*, Trombudo Central, Brasil) e enzima transglutaminase (TG), em pó, obtida do *Streptomyces mobaraense*, com

atividade enzimática de 20–34 U.g⁻¹ (*Ajinomoto* do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA, São Paulo, Brasil).

Métodos

2.1 Caracterização físico-química das matérias-primas

2.1.1 Composição centesimal

A farinha de trigo e o amido resistente foram caracterizados, em triplicata, quanto a composição centesimal através da determinação do teor de umidade, proteína, lipídeos, cinzas e amido resistente, segundo os respectivos métodos oficiais nº 44-15.02, 46-13.01, 30-25.01, 08-10.01 e 32-40.01 (AACCI, 2010). Para a farinha de trigo foi determinado o teor de fibra alimentar total (método 32-05.01). Os teores de carboidratos digeríveis foram determinados através do método 978.10 (AOAC, 2019).

2.1.2 Cor instrumental

A cor da farinha de trigo e do amido resistente foi determinada instrumentalmente, em triplicata, usando um colorímetro espectrofotométrico 45/0-L (Mini *Scan*TM XE, Reston, USA), previamente calibrado no modo transmitância total para leitura dos parâmetros L^* , a^* e b^* . As leituras foram feitas com iluminante D65, ângulo de visão de 10° e calibração *reflectance specular included* (RSIN).

2.2 Formulações e processo de obtenção dos espaguetes

2.2.1. Planejamento experimental

Os espaguetes foram elaborados baseados em uma formulação controle constituída de farinha de trigo (100 %) e água, nas demais formulações utilizou-se diferentes percentuais de amido resistente e transglutaminase. A água foi adicionada em quantidade suficiente para dar consistência característica de macarrão em cada formulação.

A obtenção das massas alimentícias seguiu um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2² para estudar os efeitos do amido resistente *Hi-maize* 260 (0 - 20 %) e da enzima transglutaminase (0,2 - 1,0 %, p/p). Foram realizados um total de 12 ensaios, sendo 4 fatoriais (combinações entre os níveis -1 e +1), 4 axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e a outra em 0) e 4 centrais (as duas variáveis no nível 0). A Equação 1 representa o modelo genérico da função de regressão, o qual pode ser ajustado aos valores das variáveis respostas, que é detentora de termos lineares, quadráticos e das interações entre si.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Y = é a variável dependente em estudo; β_0 = constante de regressão; β_1 , β_2 e β_{12} = coeficiente de regressão linear, quadrático e de interação, respectivamente; x_1 e x_2 = valores codificados das variáveis independentes; e ε é o erro experimental.

2.2.2 Processamento dos espaguetes

A produção das massas alimentícias foi realizada no Pastifício Selmi objetivando utilizar um processo industrial de secagem através do método 66-50.01 (AACCI, 2010), com modificações. As matérias-primas (FT, AR e TG) foram pré-misturadas por 5 minutos em agitador homogeneizador em “V” (Tecnal, Piracicaba, Brasil), e processadas em extrusor a vácuo 250-LAB 2.V (Food Processing Systems, Ridgewood, Nova York). Adicionou-se a água (54 °C) e procedeu-se a etapa de mistura por 20 minutos, seguida da extrusão, obtendo-se, por corte manual, massas alimentícias do tipo espaguete com 1,70 mm de espessura (matriz n° 49149). A secagem foi realizada em secador industrial Mega Brasil (Mauá, Brasil), com temperaturas entre 45 e 85 °C e UR de 74 a 85 % por aproximadamente 12 h, até o produto atingir uma umidade abaixo de 12 %. As massas alimentícias foram armazenadas em embalagens de polietileno de alta densidade.

2.3. Avaliação da qualidade tecnológica dos espaguetes

2.3.1 Cor instrumental

As massas cruas foram analisadas em relação a cor instrumental conforme descrito em 2.1.3. A análise foi realizada em triplicata. A variação de cor (ΔE) foi determinada em relação a amostra controle de acordo com a Equação 2:

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{0,5} \quad \text{Eq. 2}$$

2.3.2 Características de cozimento

O teste de cozimento foi realizado segundo o método 66-50.01 (AACCI, 2010), em triplicata, e os parâmetros avaliados foram tempo ótimo de cozimento (min), perda de sólidos solúveis na água de cozimento (%), aumento de peso (%) e de volume do produto cozido (%).

2.3.3. Características de textura

A textura das massas alimentícias cozidas (no tempo ótimo de cozimento determinado no item 2.3.2) foi analisada utilizando-se Texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra), seguindo o método 66-50.01 (AACCI, 2010) para avaliação dos seguintes parâmetros:

Firmeza

Os parâmetros utilizados foram: velocidade pré-teste (2 mm/s); velocidade de teste (0,17 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s); distância (4,50 mm) e o *probe* A/LKB-F, avaliando-se a força de cisalhamento (N). A análise foi realizada com 15 repetições para cada ensaio.

Adesividade

A medida foi realizada utilizando-se o *probe* HDP/PFS e as seguintes condições operacionais: velocidade pré-teste (1,0mm/s); velocidade de teste (0,5 mm/s); velocidade pós-

teste (10 mm/s); distância (100 mm), força (9,81 N) e tempo (2 segundos). A análise foi realizada com 15 repetições e os resultados expressos em N.

Elasticidade

As condições operacionais foram: velocidade pré-teste (1,0 mm/s); velocidade de teste (3,0 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s) e o *probe* A/SPR. O teste baseia-se na extensão do filamento de massa cozida, pela aplicação de uma força de tensão entre suas extremidades até a completa ruptura. O teste foi realizado com 15 repetições por ensaio e a elasticidade reportada em N.

2.3.4 Teor de amido resistente

O teor de amido resistente das massas alimentícias cruas foi determinado como em 2.1.1. Neste caso, as amostras foram moídas até granulometria inferior a 250 μm e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h).

2.4 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas foi determinada segundo Aalami e Leelavathi (2008). Em amostras contendo 1 g de espaguete triturado (passado por peneira com abertura de 250 μm) e seco em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h), foi adicionado de 10 mL de solução tampão contendo fosfato (pH 7,5 e 27,5 mM), 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio e 5 % de β -mercaptoetanol e agitado em vórtex Mixer (Labnet, Rating, USA) a cada 5 min durante 30 min. A suspensão foi centrifugada a 8000 x g em centrifuga refrigerada Mikro 200 R (Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, DEU) a 20 °C por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para tubo de proteína micro *Kjeldahl* e o conteúdo de proteína foi determinado de acordo com o método 46-13.01 da AACCI (AACCI, 2010).

2.5 Análise estatística

A comparação de médias da farinha de trigo e do amido resistente foi realizada através de teste t-*Student* com nível de significância de 5 %. Os resultados das variáveis dependentes foram analisados através de Metodologia de Superfície de Resposta para cálculo do

coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10 %. Para o presente trabalho foi adotado coeficiente de regressão (R^2) mínimo da ANOVA de 0,80 para garantir a validade das predições efetuadas pelo modelo matemático e elaboração das superfícies de resposta. O ponto otimizado foi determinado através de metodologia proposta por Derringer e Suich (1980).

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização física e química das matérias-primas

3.1.1 Composição centesimal

Na Tabela 1 visualiza-se a composição centesimal das matérias-primas. O teor de umidade (10,08 %), proteína (11,36 %) e cinzas (0,46 %) encontram-se dentro do limite estabelecido Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 (Brasil, 2005a), podendo ser classificada no Tipo 1, a qual deve conter teor de umidade máximo de 15 %, quantidade de proteína mínima de 7,5 % e teor de cinzas de no máximo 0,8 %. A FT utilizada nesse estudo tem composição centesimal semelhante à da farinha usada em estudo de Vernaza (2011). O teor de cinzas está de acordo com valores encontrados em farinhas de trigo tipo 1 comerciais (0,21 a 0,48 %) (Pinheiro et al., 2020). O valor de fibra alimentar para farinha de trigo está de acordo com o citado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América - USDA (2019).

O teor de umidade encontrado para AR (11,97 %) encontra-se dentro dos limites estipulados pela Anvisa através da RDC 263, de 23 de setembro de 2005 (Brasil, 2005b) que estabelece o máximo de 15 % de umidade em farinhas e amidos. Os valores encontram-se semelhantes aos citados por Vernaza (2011).

O teor de amido resistente na FT foi de $1,16 \pm 0,09$ %. Na literatura, encontra-se valores que variam de 0,8 a 2,13 % (Goñi, Garcia-Diz, Mañas & Saura-Calixto, 1996; Vernaza, 2011). A amostra *Hi Maize* 260 trata-se de um amido resistente tipo 2, obtido de amido de milho com alto teor de amilose, na qual obteve-se um teor de $47,01 \pm 1,05$ % de amido resistente. O valor encontrado foi maior que o citado por Vernaza (2011) (44,34 %) e por Bustos et al. (2011) (33 %). Tal diferença pode ser decorrente da fonte botânica, que pode variar de um lote para outro.

Tabela 1. Composição centesimal farinha de trigo e amido resistente.

Componente (%)	Farinha de trigo	Amido resistente
Umidade	10,08±0,04	11,97±0,15
Proteínas	11,36±0,2	0,65±0,04
Cinzas	0,46±0,01	0,03±<0,01
Lipídeos	1,09±0,01	0,20±0,05
Fibra alimentar total	1,36±0,29	Nd
Amido resistente	1,16±0,09	41,54±1,10
Carboidratos digeríveis*	75,65±0,35	45,61±1,11

Média de 4 repetições ± desvio padrão; Nd – não determinado; *desvio padrão calculado por erro de propagação. Fonte: Autores.

3.1.2 Cor instrumental

A Tabela 2 apresenta os valores de cor para os parâmetros L^* , a^* e b^* da farinha de trigo e do amido resistente. Verificou-se que as matérias-primas apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) nos três parâmetros analisados. A amostra de AR tem maior luminosidade, ficando mais próxima à cor branca ($L^* = 100$), menor valor de a^* e de b^* . O menor valor de L^* da FT pode estar relacionado ao grau de extração da farinha e a presença de componentes das camadas mais externas do grão como minerais e fibras alimentares. O parâmetro b^* da FT foi maior em relação ao AR e este resultado pode estar atribuído à presença de carotenoides, principalmente β -caroteno, pigmento encontrado no trigo.

Tabela 2. Valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* da farinha de trigo e do amido resistente.

Parâmetro (%)	Farinha de trigo	Amido resistente
L^*	96,25±0,46	98,44±0,46
a^*	0,36±0,46	0,11±0,46
b^*	9,93±0,46	4,77±0,46

Média de 3 determinações ± desvio padrão. Fonte: Autores.

3.2 Avaliação dos espaguetes

3.2.1 Cor instrumental

A Tabela 3 apresenta os valores de L^* , a^* , b^* e ΔE dos espaguetes. Os valores para o parâmetro L^* dos ensaios do delineamento encontraram-se entre 57,53 e 64,89. Os termos linear e quadrático de AR, linear de TG e a interação AR e TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre esta variável, obtendo-se um modelo matemático preditivo de 2ª ordem descrito na Equação 3. Através da ANOVA ($R^2 = 89,72\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 8,45$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível gerar superfície de resposta (Figura 1), indicando que a luminosidade (L^*) aumenta com maiores valores de AR e TG, ficando mais próxima à cor branca, o que ficou evidente pela amostra controle, a qual apresentou valor de L^* de 57,20, inferior a todos os ensaios do DCCR.

$$L^* = 59,67 + 2,39x_1 + 0,77x_1^2 + 0,51x_2 + 0,87x_1x_2 \quad \text{Eq. 3}$$

Os espaguetes estudados no delineamento estatístico apresentaram L^* maior que a formulação controle, o que era esperado uma vez que o valor da amostra AR (98,44) foi maior que FT (96,25) neste parâmetro. Hernández-Nava et al. (2009) desenvolveram espaguete com diferentes percentuais de AR de banana (0 a 20 %) e obtiveram redução no valor de L^* com o incremento de AR. O amido de banana, geralmente, apresenta uma coloração mais escura oriunda do escurecimento enzimático ocorrido durante a etapa de processamento pela ação da polifenoloxidase sobre os polifenóis e a formação de compostos escuros, além de variar também com o tipo de cultivar da banana. O AR usado nesse estudo apresenta a vantagem de não alterar a coloração dos produtos obtidos com farinha de trigo refinada.

Os valores de a^* oscilaram entre 7,12 e 10,28. Somente os termos linear e quadrático de AR apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$). A ANOVA ($R^2 = 88,07\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 12,23$ e $p\text{-valor} < 0,001$) possibilitou a elaboração do modelo matemático (Equação 4) e a geração da superfície de resposta (Figura 1), a qual indicou maiores valores para a^* com menor proporção de AR. Todos os ensaios apresentaram um perfil verde-vermelho com menor intensidade quando comparado ao controle.

$$a^* = 9,33 - 0,99x_1 - 0,34x_1^2 \quad \text{Eq. 4}$$

No parâmetro b^* , os valores variaram de 37,75 a 42,97. Esta variável foi estatisticamente influenciada apenas pelo termo linear de AR. Através da ANOVA ($R^2 = 86,96\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 20,27$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível elaborar um modelo matemático de 1º ordem (Equação 5) e gerar superfície de resposta (Figura 1), na qual visualiza-se que a presença do AR resultou na diminuição do perfil amarelado do macarrão em função da diluição da FT, a qual possui maior valor de b^* .

$$b^* = 41,24 - 1,66x_1 \quad \text{Eq. 5}$$

Tabela 3. Níveis reais e codificados as variáveis independentes e resultados dos parâmetros de cor instrumental avaliando os parâmetros L^* , a^* , b^* e variação de cor (ΔE) dos espaguetes.

Ensaio	Níveis		L^*	a^*	b^*	$\Delta E^{\#}$
	X_1	X_2				
1	2,91 (-1)	0,32 (-1)	58,12±0,11	9,99±0,07	42,97±0,34	0,99±0,36
2	17,09 (+1)	0,32 (-1)	61,01±0,59	8,44±0,13	40,28±0,24	4,90±0,65
3	2,91 (-1)	0,88 (+1)	58,51±0,24	10,28±0,15	42,83±0,51	1,40±0,58
4	17,09 (+1)	0,88 (+1)	64,89±0,34	7,83±0,08	39,66±0,38	8,64±0,52
5	0 (-1,41)	0,60 (0)	57,53±0,30	9,88±0,09	42,96±0,15	0,48±0,35
6	20 (+1,41)	0,60 (0)	64,49±0,66	7,12±0,07	37,75±0,43	9,39±0,79
7	10 (0)	0,20 (-1,41)	60,16±0,43	9,57±0,24	40,86±0,41	3,19±0,64
8	10 (0)	1,00 (+1,41)	60,03±0,50	8,61±0,14	41,49±0,16	3,52±0,54
9	10 (0)	0,60 (0)	59,12±0,30	9,59±0,07	42,03±0,22	2,18±0,38
10	10 (0)	0,60 (0)	57,91±0,38	9,63±0,12	41,02±0,05	2,68±0,40
11	10 (0)	0,60 (0)	59,54±0,38	9,14±0,05	41,53±0,05	2,87±0,39
12	10 (0)	0,60 (0)	60,66±0,30	8,71±0,31	41,56±0,62	3,06±0,76
Controle	-	-	57,20±0,46	10,13±0,33	42,86±0,77	-

X_1 e X_2 : níveis reais de amido resistente e de transglutaminase, respectivamente; entre parênteses estão apresentados os níveis codificados; média de três repetições \pm desvio padrão; $\#$ desvio padrão calculado por erro de propagação. Fonte : Autores.

Os resultados de ΔE dos ensaios do delineamento encontram-se entre 0,48 e 9,39. Os termos linear e quadrático de AR, linear de TG e a interação AR e TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre ΔE . Através da ANOVA ($R^2 = 96,65\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 16,39$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível elaborar um modelo matemático

preditivo de 2ª ordem (Equação 6) e gerar superfície de resposta (Figura 1), que indicou que este parâmetro aumenta com maiores valores de AR e TG, sendo que a influência de AR é mais evidente por apresentar os maiores coeficientes de regressão.

$$\Delta E = 2,93 + 2,97x_1 + 1,03x_1^2 + 0,58x_2 + 0,83x_1x_2 \quad \text{Eq. 6}$$

3.2.2 Características de cozimento

As características de cozimento dos espaguetes encontram-se na Tabela 4. O tempo ótimo de cozimento (TOC) das amostras de massas alimentícias estudadas no DCCR oscilou entre 6,42 e 8,58 min. Os termos linear e quadrático de AR e quadrático de TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$). A ANOVA ($R^2 = 97,43 \%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 34,59$ e $p\text{-valor} < 0,001$) possibilitou a elaboração do modelo matemático (Equação 7) e a geração da superfície de resposta (Figura 1), a qual indicou uma diminuição deste parâmetro com o incremento de AR. A presença do AR pode diluir as proteínas formadoras do glúten causando enfraquecimento da rede de glúten, o que facilita a absorção de água e, conseqüentemente, reduz o tempo de cozimento (Chillo et al., 2008). O TOC de todas as massas alimentícias estudadas no DCCR foi inferior à amostra controle (8,75 min).

$$\text{Tempo ótimo de cozimento (min)} = 507,52 - 38,84x_1 - 21,60x_1^2 - 6,26x_2^2 \quad \text{Eq. 7}$$

Em estudo com massas alimentícias de farinha de trigo, adicionadas de monoglicerídeos (0 a 0,7 %) e de AR2 (0 a 25 %), os valores encontrados para TOC variaram de 7,30 a 12,70 min (Vernaza et al., 2012). Em outro estudo com massas sem glúten enriquecidas amido resistente (10 a 20 %), as médias variaram de 13,5 a 14,5 minutos. A discordância entre os valores demonstrados nesses estudos pode ser devido à diferente formulação da massa (tipo e conteúdo de AR e farinha) e as diferentes condições de processamento das massas (Foschia, Beraldo & Peressini, 2016).

As massas alimentícias estudadas no DCCR apresentaram perda de sólidos de 3,51 a 4,01. Entretanto, este parâmetro não foi influenciado por nenhum dos termos das variáveis independentes usados no delineamento. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de apenas 62,43 %, $F_{\text{calculado}}$ inferior que $F_{\text{tabelado}} (5;6;0,90)$ e $p\text{-valor}$ de 0,213, impossibilitando a elaboração do modelo matemático e a geração da superfície de resposta.

No geral, a perda de sólidos dos espaguetes estudados no DCCR foi superior ao controle (3,65 %). Considerando o ensaio com maior perda de sólidos (ensaio 11 = 4,01 %), proporcionalmente este apresentou uma lixiviação de sólidos em 9,86 % superior ao controle. Este resultado é extremamente satisfatório, pois a perda de sólidos durante o cozimento é um dos parâmetros de cozimento mais importantes. Quanto menor a perda de sólidos na água do cozimento, menor será a pegajosidade da massa alimentícia e melhor a qualidade da massa alimentícia (Schmiele, Jaekel, Ishida, Chang & Steel, 2013).

Tabela 4. Propriedades de cozimento dos espaguetes.

Ensaio	Tempo ótimo de cozimento (min)	Perda de sólidos (%)	Aumento de peso (%)	Aumento de volume (%)
1	8,58±0,02	3,96±0,08	135,13±3,65	333,11±0,16
2	8,07±0,04	3,73±0,06	123,49±5,35	271,27±0,06
3	8,68±0,06	3,90±0,08	137,02±1,96	350,01±<0,01
4	6,42±0,06	3,51±0,19	107,07±0,69	238,57±0,07
5	8,60±0,02	3,91±0,07	132,27±3,69	267,42±0,08
6	6,66±0,23	3,85±0,06	119,18±0,90	238,39±<0,01
7	8,33±0,03	3,53±0,14	122,39±1,20	250,09±0,09
8	8,30±0,04	4,01±0,04	125,34±0,96	286,03±0,07
9	8,43±0,02	3,65±0,10	121,03±1,40	240,49±0,08
10	8,45±0,02	3,98±0,07	121,91±2,80	259,55±0,28
11	8,45±0,01	4,01±0,07	124,29±0,68	267,17±<0,01
12	8,47±0,02	3,48±0,01	120,41±4,57	271,00±<0,01
Controle	8,75±0,04	3,65±0,14	123,37±1,73	295,02±0,28

Média de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores.

Comportamento semelhante para a perda de sólidos foi observado por Ovando-Martinez, Sáyago-Ayerdi, Agama-Acevedo, Goñi & Bello-pérez (2009) em pesquisa com adição de farinha de banana (15, 30 e 45 %) em espaguete, os valores para este parâmetro foram de 5,8, 6,08 e 6,17 %, respectivamente, e para o espaguete convencional foi de 4,73 %. Hernández-Nava et al. (2009) também observaram esse aumento e obtiveram valores entre (6,36 e 7,40 %) para os produtos contendo amido de banana e 6,25 % para a amostra controle. O mesmo comportamento foi observado para a cultivar de trigo MACS 1967 em estudo com espaguetes de diferentes cultivares de trigo adicionados de TG (Aalami & Leelavathi, 2008).

O aumento deste parâmetro com a adição de AR pode estar relacionado à lixiviação de maior quantidade de amilose durante o cozimento. A amilose pode ser decorrente do AR (amido de milho com alto teor de amilose) e do amido nativo da farinha, pelo enfraquecimento da rede de glúten. De acordo com alguns autores, adição de matérias-primas sem glúten reduz o teor das proteínas formadoras da rede glúten (gliadina e glutenina), enfraquecendo a estrutura, promovendo um impedimento físico na formação da matriz proteica e provocando maior perda de sólidos do produto (Hernández-Nava et al., 2009; Ovando-Martinez et al., 2009; Vernaza et al., 2012). Takács et al. (2008) estudando o efeito da enzima TG em massas alimentícias tradicionais, obtiveram redução da perda de sólidos devido à nova rede proteica formada em consequência do intercruzamento promovido pelo uso d TG, o que aumentou a quantidade de subunidades proteicas de elevado peso molecular, dificultando a lixiviação das frações lineares do amido (composto principalmente por amilose e material intermediário). Neste estudo, como o glúten foi diluído, não foi observado tal efeito. Wu e Corke (2005) também não verificaram influência significativa para perda de sólidos em pesquisa de TG em *noodles*. Em geral, quanto melhor a qualidade da rede de glúten desenvolvida durante o processo de extrusão, melhor é a formação do sistema coloidal e menor é a lixiviação dos sólidos (principalmente as cadeias essencialmente lineares do amido) durante o cozimento. O uso do AR promoveu a diluição da rede de glúten, mas o processo de gelatinização do amido e sua estrutura cristalina provavelmente formou um gel com maior coesão.

O aumento de peso dos espaguetes variou de 107,07 a 137,20 %, sendo influenciado pelas duas variáveis independentes em estudo. A ANOVA ($R^2 = 81,62 \%$, $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}} = 2,63$ e $p\text{-valor } 0,010$) possibilitou a elaboração do modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 8) e a geração da superfície de resposta (Figura 1), a qual mostra aumento deste parâmetro com menores teores de AR e transglutaminase. Com a adição de AR as proteínas da farinha foram diluídas, e estas têm uma capacidade de absorção maior que o amido, além disso, o AR enfraquece a rede de glúten, aumentando a lixiviação do amido, e, conseqüentemente diminuindo o valor deste parâmetro de cozimento.

$$\text{Aumento de peso (\%)} = 122,86 - 7,52x_1 - 1,30x_2 + 1,90x_1^2 - 4,58x_1x_2 \quad \text{Eq. 8}$$

A amostra controle apresentou aumento de peso (123,37 %) intermediário aos espaguetes estudados no delineamento experimental. Hernández-Nava et al. (2009) não encontraram diferenças significativas ($p < 0,005$) em espagete contendo diferentes níveis de

AR de banana. Sozer et al. (2007), analisando as propriedades de cozimento para espaguete enriquecido com 10 % de amido resistente tipo 3, observaram aumento de peso de 136,84 e 152,17 % para 6 e 8 min de cozimento, respectivamente.

Wu e Corke (2005), avaliando o efeito de TG em *noodles*, observaram redução significativa neste parâmetro, como consequência da adição de TG que torna a estrutura da rede de glúten mais compacta devido à formação de ligações cruzadas entre grupamentos de lisina e glutamato. Com isso, ocorre uma redução de aminoácidos hidrofílicos diminuindo a exposição das ligações hidrofílicas durante o cozimento e a absorção de água. Aalami e Leelavathi (2008) também observaram essa redução por efeito da TG.

O aumento de volume das massas alimentícias estudadas no DCCR variou de 238,39 a 350,09. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 81,52 %, $F_{\text{calculado}}$ 6,60 vezes maior que F_{tabelado} (2;9;0,90) e p-valor de 0,001, com isso foi possível elaborar modelo matemático de 1ª ordem não linear (Equação 9) e a gerar da superfície de resposta (Figura 1). O uso do AR e da transglutaminase favoreceram o aumento de volume durante o cozimento da massa alimentícia. Vernaza et al. (2012) observou aumento de volume variou de 1,59 a 2,09 vezes em massas alimentícias adicionadas de AR2 e monoglicérides.

$$\text{Aumento de volume (\%)} = 253,42 + 33,47x_2 - 70,43x_1x_2 \quad \text{Eq. 9}$$

Schmiele et al. (2013) reportam que uma massa alimentícia com boa qualidade tecnológica deve apresentar no máximo 6 % de perda de sólidos durante o cozimento e um aumento de pelo menos 2 vezes em relação ao peso e ao volume. Estes dados corroboram com estudo de Souza, Neves e Schmiele (2019) em macarrão tipo espaguete, no qual os autores analisaram 10 amostras comerciais e obtiveram valores de perda de sólido inferior a 5 % e aumento de peso entre 2 a 3 vezes. A massa alimentícia desenvolvida no presente estudo atende as especificações de perda de sólidos e de aumento de volume. Como a proteína do trigo é responsável por absorver entre 2,7 a 3,0 vezes de água, em relação ao teor proteico, e o amido tem a capacidade menor de hidratação, este pode ser o fato que justifica o aumento de peso não se ter duplicado. Com base nisso, os espaguetes contendo diferentes níveis de amido AR, deste estudo, estão dentro do esperado e podem ser considerados de boa qualidade.

3.2.3 Característica de textura, solubilidade de proteínas e teor de amido resistente

As características de textura, a solubilidade proteica e o teor de amido resistente dos espaguetes encontram-se na Tabela 5. Os valores de firmeza variaram de 3,99 a 5,18 N. As variáveis independentes não apresentaram diferença estatística ($p < 0,10$) sobre este parâmetro. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 47,93 %, $F_{\text{calculado}}$ 1,73 vezes maior que F_{tabelado} (1;10;0,90) e p-valor de 0,043, o que não permitiu a geração do modelo matemático e superfície de resposta.

Tabela 5. Características de textura instrumental, solubilidade das proteínas e amido resistente dos espaguetes.

Ensaio	Textura instrumental*			Proteína solúvel** (%)	Amido resistente** (%)
	Firmeza (N)	Adesividade (N)	Elasticidade (N)		
1	4,22±0,19	1,00±0,17	0,22±0,01	91,07±0,59	1,77±0,15
2	4,77±0,21	1,41±0,21	0,18±0,01	90,97±0,74	1,92±0,15
3	4,94±0,27	1,52±0,23	0,20±<0,01	87,83±0,47	7,34±0,15
4	5,18±0,46	1,96±0,28	0,19±0,01	85,81±0,63	2,02±0,05
5	4,68±0,22	1,73±0,19	0,21±0,01	87,78±1,58	7,46±0,36
6	4,68±0,28	1,99±0,37	0,18±0,02	86,89±3,29	1,43±0,10
7	4,41±0,22	0,95±0,18	0,20±0,01	89,26±1,08	10,64±0,98
8	4,08±0,27	1,53±0,10	0,19±0,01	86,59±1,13	5,44±0,28
9	3,99±0,21	1,29±0,24	0,18±0,01	86,97±0,45	5,98±0,34
10	4,25±0,26	1,29±0,35	0,17±0,01	88,17±0,55	5,92±0,54
11	4,56±0,29	1,39±0,38	0,18±0,01	87,85±0,97	5,76±0,43
12	4,24±0,17	1,54±0,28	0,19±0,01	88,64±4,57	5,81±0,50
Controle	3,95±0,15	1,85±0,41	0,22±0,02	91,11±0,47	5,53±0,43

*Média de 15 determinações ± desvio padrão; ** Média de 3 determinações ± desvio padrão. Fonte: Autores.

As propriedades de textura, especialmente firmeza e adesividade, são importantes para estabelecer a qualidade da massa e a aceitabilidade do consumidor (Foschia et al., 2016). A adição de AR estudada no delineamento estatístico aumentou a firmeza das massas, cozidas no tempo ótimo de cozimento, em relação a amostra controle (3,95 N). Souza et al. (2019)

indicam que espaguete devem apresentar firmeza acima de 2,5 N para serem consideradas com qualidade comercial. Resultado contrário foi obtido em estudo com espaguete adicionado de amido de banana, onde foi observada redução da firmeza com o incremento de AR (Hernández-Nava et al., 2009). Nesse estudo, o fato das amostras estudadas no DCCR apresentarem maior firmeza que o controle pode estar relacionado à presença da TG, que age formando ligações cruzadas, reforçando a rede de glúten, tornando-a mais coesa (Wu & Corke, 2005; Takács et al., 2008; Santos et al., 2017).

A adesividade ou pegajosidade está relacionada com a quantidade e gelatinização do amido (Sozer et al., 2007). As massas alimentícias estudadas nesse DCCR apresentaram variação de 0,95 a 2,73 N para este parâmetro, o qual não foi influenciado por nenhum dos termos das variáveis independentes utilizadas nesse estudo. A ANOVA ($R^2 = 50,13 \%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 3,23$ e $p\text{-valor} = 0,010$) não possibilitou gerar um modelo matemático e superfície de resposta. Sozer, Kaya e Dalgiç (2008) e Vernaza et al. (2012) citaram reduções nos valores de adesividade para espaguete adicionados de AR. Foschia et al., (2016) encontraram valores muito próximos (1,4 a 2,5 N) em massas sem glúten adicionadas de amido resistente (10, 15 e 20 %). Os pesquisadores Hernández-Nava et al., (2009) concluíram que a adesividade está diretamente relacionada com a quantidade de amido gelatinizado. A faixa de gelatinização do AR é acima de 100 °C, então, quando adicionado às formulações, diminui a quantidade de amido nativo oriundo da farinha de trigo, alterando o conteúdo e a gelatinização do amido, diminuindo a adesividade no produto.

Os valores de elasticidade oscilaram entre 0,17 a 0,22 N. Este parâmetro foi influenciado estatisticamente ($p < 0,10$) pelos termos lineares e quadráticos e pela interação das variáveis independentes estudadas. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 95,98 %, $F_{\text{calculado}}$ 9,21 vezes maior que $F_{\text{tabelado}(5;6;0,90)}$ e $p\text{-valor}$ de $< 0,001$, o que permitiu a geração de modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 10) e geração de superfície de resposta (Figura 1), indicando que aumento deste parâmetro com menores níveis de AR e TG. O AR diminui a elasticidade dos espaguetes, por interferir na rede de glúten através da diluição das proteínas gliadina e glutenina. No entanto, o intercrossamento realizado pela transglutaminase apresentou efeito positivo sobre este parâmetro.

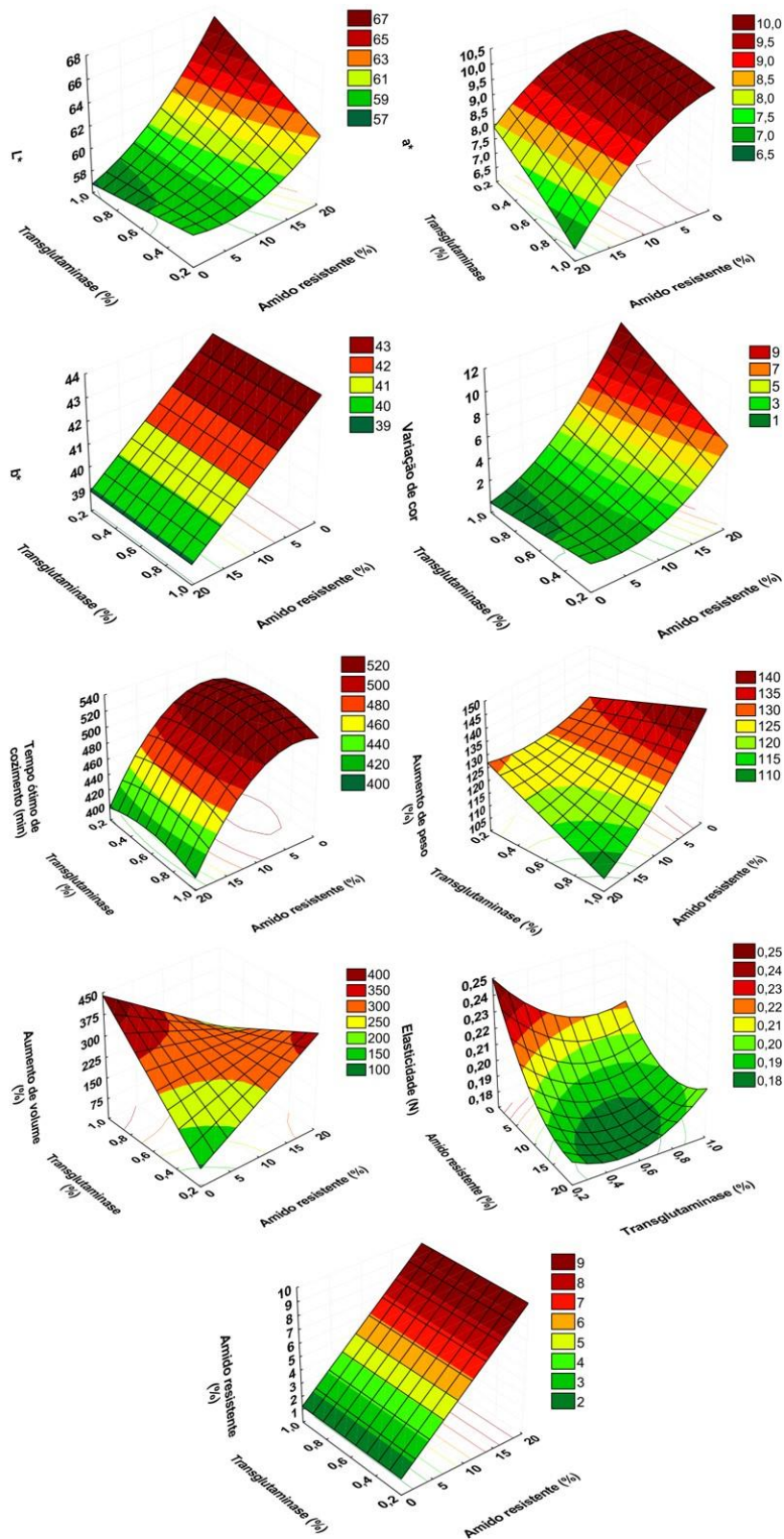
$$\text{Elasticidade (N)} = 0,179 - 0,014x_1 + 0,009x_1^2 - 0,004x_2 + 0,008x_2^2 + 0,007x_1x_2 \quad \text{Eq. 10}$$

Os espaguetes avaliados através do DCCR apresentaram redução na elasticidade quando comparados com a amostra controle (0,22 N). De acordo com Sozer et al. (2008), isso

pode ser explicado pela presença de grânulos de amido de carga neutra estarem presentes na matriz formada pelo glúten, o que torna essa matriz mais fraca. Em estudo com massas alimentícias adicionadas de AR2 e monoglicérides, Vernaza et al. (2012) relataram valores de elasticidade variando de 2,23 a 0,33 N.

O parâmetro solubilidade das proteínas dos ensaios estudados no DCCR variou entre 85,81 e 91,07 %. Nenhum dos termos das variáveis independentes influenciou significativamente ($p < 0,10$) a solubilidade das proteínas. Através da ANOVA obteve-se coeficiente de determinação de apenas 63,54 %, $F_{\text{calculado}}$ 5,29 vezes maior que $F_{\text{tabelado}} (1;10;0,90)$ e p-valor de 0,002, não sendo possível a geração de modelo matemático e de superfície de resposta.

Figura 1. Superfícies de resposta para os parâmetros estatisticamente significativos para produção de macarrão tipo espaguete utilizando amido resistente e transglutaminase.



Fonte: Autores.

As massas alimentícias estudadas no DCCR apresentaram menor teor de proteínas solúveis que a amostra controle (91,11 %). Em pesquisa com adição de TG em espaguete convencional, também foi observada redução na solubilidade das proteínas com o aumento dos níveis de enzima (0 a 3 %) devido a possível formação de ligações cruzadas, e consequentemente, polímeros insolúveis (Aalami & Leelavathi, 2008). O menor percentual de proteínas solúveis, no presente estudo, também é explicado pela diluição da farinha de trigo pela adição de AR.

Os valores de amido resistente dos espaguetes, estudados no DCCR, variaram entre 1,92 e 10,64 % (Tabela 5). Vernaza e Chang (2020) encontraram valores semelhantes em macarrão instantâneo adicionado de amido resistente (0 a 16 %) obtido por secagem convencional (4,44 a 8,47 %) e secagem a vácuo (4,61 a 10,12 %). O termo linear de AR mostrou efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre esta variável, obtendo-se um modelo matemático preditivo de 1ª ordem, descrito na Equação 11. Através da ANOVA ($R^2 = 94,22$ %, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 49,57$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível gerar superfície de resposta (Figura 1), indicando que este parâmetro aumenta com maiores valores de AR.

$$\text{Amido resistente (\%)} = 5,44 + 2,99x_1 \quad \text{Eq. 11}$$

Segundo Nugent (2005), dentre os tipos de AR, o tipo 2 (usado nesse estudo), encontrado no milho com alto teor de amilose, mantém sua estrutura, mesmo durante o processamento e preparação de muitos alimentos.

3.2.4 Otimização

Diante dos resultados obtidos experimentalmente foi realizada a otimização do processo para determinação do ponto ótimo. Para tanto, foram consideradas as respostas estatisticamente significativas ($p < 0,10$): cor instrumental avaliando os parâmetros L^* , a^* , b^* e variação de cor (ΔE), tempo ótimo de cozimento, aumento de peso e de volume durante o cozimento, elasticidade e teor de amido resistente. Na Tabela 6 estão apresentados os parâmetros otimizados. A melhor formulação foi obtida com uso de 18,65 % de amido resistente em substituição à farinha de trigo, sem a necessidade de uso da transglutaminase (o que é vantajoso, pois reduz custos de produção) e com uma probabilidade de 70 % de sucesso. Considerando o ponto otimizado, uma porção de espaguete (80 gramas) pronto para o consumo apresentará o teor de amido resistente de 4,03 %. Desta forma, o produto pode ser

considerado como fonte em fibras, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, através da RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012 (Brasil, 2012).

Tabela 6. Análise de desejabilidade para obtenção dos parâmetros otimizados visando a elaboração de espaguete com melhores características físico-químicas e de propriedades de cozimento.

Variáveis	Objetivo	Importância	Solução
Independentes (em níveis codificados)			
Amido resistente	Maximizar	5	1,22
Transglutaminase	Na faixa	3	-1,41
Dependentes			
L^*	Na faixa	3	62,35
a^*	Na faixa	3	8,16
b^*	Na faixa	3	39,21
ΔE	Na faixa	3	6,23
Tempo ótimo de cozimento (min)	Maximizar	5	7,87
Aumento de peso (%)	Maximizar	1	124,13
Aumento de volume (%)	Maximizar	1	272,75
Elasticidade (N)	Maximizar	1	0,19
Teor de amido resistente (%)	Maximizar	5	8,90
Desejabilidade			0,70

Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

O amido resistente e transglutaminase foram estatisticamente significativas ($p < 0,10$) na cor instrumental (L^* e ΔE), tempo ótimo de cozimento, aumento de peso, aumento de volume e elasticidade. Nos parâmetros a^* e b^* da cor instrumental e no teor de amido resistente do espaguete, somente o amido resistente utilizado foi significativo. Em geral, o amido resistente apresentou maior efeito que a TG sobre as variáveis dependentes estudadas. O menor efeito da enzima pode ser devido ao baixo teor de água usado em formulações de massas alimentícias, e ao menor tempo de produção, comparando com produtos de

panificação. Para estudos futuros, uma alternativa seria aumentar o tempo de hidratação para o macarrão extrusado ou aplicar a TG em massa alimentícia laminada.

Contudo, em vista dos resultados, foi possível obter massas alimentícias de qualidade tecnológica adequada com valores próximos aos encontrados para amostra controle e reportados como satisfatórios pela literatura. O ponto otimizado necessita de uma combinação de 81,35 % de farinha de trigo e 18,65 % de amido resistente, resultando em um espaguete com um teor de aproximadamente 4 % de fibra alimentar, classificando-a como fonte de fibras. Esta massa alimentícia pode ser considerada com características funcionais, pois a ingestão de produtos com amido resistente também pode trazer benefícios à saúde, assim como o consumo de fibra alimentar, além de atuar como potencial prebiótico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro (#2011/14531-2), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos de L. Z. Jaekel e pelo suporte financeiro (código de financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico pela bolsa de estudos de M. Schmiele (#140331/2009-3). Agradecemos ainda à *Ajinomoto* do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA e à *National Starch* pela doação da enzima e do amido resistente, respectivamente, e ao Pastifício Selmi S/A por possibilitar o uso da linha de processamento do espaguete.

Referências

AACCI (2010). American Association of Cereal Chemists International. *Approved methods*. 11th ed. St. Paul: AACCI.

Aalami, M., & Leelavathi, K. (2008). Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. *Journal of Food Science*, 73(5), 306-312. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2008.00741.x.

Alsaffar, A. A. (2011). Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 455-462. DOI: 1365-2621.2010.02529.x.

Antunes, K. H., Fachi, J. L., Paula, R., Silva, E. F., Pral, L. P., Santos, A. A., Dias, G. B. M., Vargas, J. E., Puga, R., Mayer, F. Q., Maito, F., Zárate-Bladés, C. R., Ajami, N. J., Sant'Ana, M. R., Candreva, T., Rodrigues, H. G., Schmiele, M., Clerici, M. T. P. S., Proença-Modena, J. L., Vieira, A. T., Mackay, C. R., Mansur, D., Caballero, M. T., Marzec, J., Li, J., Wang, X., Bell, D., Polack, F. P., Kleeberger, S. R., Stein, R. T., Vinolo, M. A. R., & Souza, A. P. D. (2019). Microbiota-derived acetate protects against respiratory syncytial virus infection through a GPR43-type 1 interferon response. *Nature Communications*, *10*, 3273. DOI: 10.1038/s41467-019-11152-6.

AOAC (2019). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 21st edn. Association of Official Analysis Chemists International, Gaithersburg.

Brasil (2005a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa n° 8 de 02 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Farinha de Trigo*. Recuperado de <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2020.

Brasil (2005b). Ministério de Saúde. *Resolução RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos*. Recuperado de <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

BeMiller, J. N. (2020). Resistant starch. In J. Welti-Chanes., et al. (eds.), *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp153-186). Cham: Springer.

Bustos, M. C., Perez, G. T., & León, A. E. (2011). Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta. *LWT - Food Science and Technology*, *44*, 1429-1434. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.02.002.

Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P. M., Protopapa, A. & Del Nobile, M. A. (2008). Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of Cereal Science*, *47*, 144-152. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.03.004.

Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, *12*, 214-219.

Foschia, M., Beraldo, P., & Peressini, D. (2016). Evaluation of the physicochemical properties of gluten-free pasta enriched with resistant starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(2). DOI: 10.1002/jsfa.7766.

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43, 931-942. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.02.004.

Goñi, I., Garcia-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445-449. DOI: 10.1016/0308-8146(95)00222-7

Hernández-Nava, R. G., Berrios, J., De Pan, J., Osorio-Díaz, P., & Bello-Perez, L. A. (2009). Development and characterization of spaghetti with high resistant starch content supplemented with banana starch. *Food Science and Technology International*, 15, 73-78. DOI: 10.1177/1082013208102379.

Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *British Nutrition Foundation*, 30, 27-54. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2005.00481.x.

Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., & Bello-pérez, L. A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 113, 121-126. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.035.

Pinheiro, V. J. F., Barbosa, I. C. C., Cardoso, D. F. S. R., Rosa, R. M. S. S., Santos, L. P., & Neto, A. M. (2020). Quality evaluation of three brands of type 1 wheat flour commercialized in Belém, Pará, Brazil. *Research, Society and Development*, 9: e15985280. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5280.

Quinaud, B. E. R., Monteiro, P. L., Pires, C. R. F., Santos, V. F., Kato, H. C. A., & Sousa, D. N. (2020). Elaboration and nutritional characterization of enriched food pasta with soybean waste. *Research, Society and Development*, 9(7) 1-13. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4724.

Remya, R., Jyothi, A. N., & Sreekumar, J. (2018). Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. *Carbohydrate Polymers*, 202, 29-38. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.08.128

Santos, V. S., Rodrigues, R. S., Jaekel, L. Z., Chan, Y. K., & Schmiele, M. (2017). Dough rheology and technological characteristics of pan bread elaborated with the partial replacement of wheat flour via isolated soy protein and transglutaminase. In H. Lewis (Ed), *Bread consumption, cultural significance and health effects*. (pp. 219-246). New York: Nova Science Publishers.

Schmiele, M., Jaekel, L. Z., Ishida, P. M. G., Chang, Y. K., & Steel, C. S. (2013). Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. *Ciência Rural*, 43(5), 908-914. DOI: 10.1590/S0103-84782013000500026.

Souza, E. C., Neves, N. A., & Schmiele, M. (2019). Análise e caracterização de um padrão de identidade e qualidade do macarrão comercial [Resumo expandido]. In: Anais da IV Jornada Regional Sudeste de Engenharia de Alimentos. *Anais...* Diamantina (MG) UFVJM, 2019. Recuperado de <<https://www.even3.com.br/anais/IVJEA/145279-ANALISE-E-CARATERIZACAO-DE-UM-PADRAO-DE-IDENTIDADE-E-QUALIDADE-DO-MACARRAO-COMERCIAL>>.

Sozer, N., Dalgiç, A. C., & Kaya, A. (2007). Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*, 81, 476-484. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.026.

Sozer, N., Kaya, A., & Dalgic, A. C. (2008). The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 39, 1-16. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2007.00126.x.

Takács, K., Gelencsér, E., & Kovács, E. T. (2008). Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. *European Food Research Technology*, 226, 603-611. DOI: 10.1007/s00217-007-0604-1.

USDA – *National Nutrient Database for Standard Reference*. Recuperado de <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

Vernaza, M. G., Biasutti, E., Schmiele, M., Jaekel, L. Z.; Bannwart, A., & Chang, Y. K. (2012). Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(6), 1302–1312. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.02974.x

Vernaza, M. G. L. (2011). *Macarrão instantâneo funcional obtido pelos processos de fritura convencional e a vácuo*. Tese, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil.

Vernaza, M. G., & Chang, Y. K. (2020). Resistant starch and soy protein isolate in instant noodles obtained by conventional and vacuum frying. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, DOI: 10.1590/1981-6723.23918.

Wu, J., & Corke, H. (2005). Quality of dried white salted *noodles* affected by microbial transglutaminase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2587-2594. DOI: 10.1002/jsfa.2311.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Leandra Zafalon Jaekel – 40%

Marcio Schmiele – 20%

Yoon Kil Chang – 40%