

## Efeitos do tratamento de plasma não térmico gerado por micro-ondas aplicado em farinha e farelo de trigo

Effects of microwave-generated non-thermal plasma treatment applied to wheat flour and bran

Efectos del tratamiento con plasma no térmico generado por microondas aplicado a la harina y el salvado de trigo

Recebido: 10/06/2021 | Revisado: 22/06/2021 | Aceito: 22/06/2021 | Publicado: 08/07/2021

### **Flávio Martins Montenegro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0476-4764>  
Instituto de Tecnologia de Alimentos, Brasil  
E-mail: [flavio@ital.sp.gov.br](mailto:flavio@ital.sp.gov.br)

### **Antonio Marsaioli Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4305-3466>  
Instituto de Tecnologia de Alimento, Brasil  
E-mail: [tonymars@ital.sp.gov.br](mailto:tonymars@ital.sp.gov.br)

### **Michele Nehemy Berteli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9765-1947>  
Instituto de Tecnologia de Alimento, Brasil  
E-mail: [berteli@gmail.com](mailto:berteli@gmail.com)

### **Jayr de Amorim Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9250-4681>  
Instituto de Tecnologia da Aeronáutica, Brasil  
E-mail: [jayr.de.amorim@gmail.com](mailto:jayr.de.amorim@gmail.com)

### **Pedro H. Campelo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5137-0162>  
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
E-mail: [pedrocampelo@ufam.edu.br](mailto:pedrocampelo@ufam.edu.br)

### **Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-336X>  
Universidade Estadual de Campinas, Brasil  
E-mail: [mclerici@unicamp.br](mailto:mclerici@unicamp.br)

### **Resumo**

A utilização de plasma não térmico em matérias-primas alimentícias é recente e pode se constituir em uma inovação para o setor, que necessita gerar conhecimento na área, a fim de conhecer as possibilidades de uso desta tecnologia emergente aplicadas em alimentos. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento tecnológico em farinha e farelo de trigo, tratados em uma geradora de plasma não térmico, obtido por micro-ondas, comparadas com as mesmas matérias-primas sem tratamento. O plasma não térmico foi gerado por micro-ondas a partir de 200 W de potência e o gás utilizado foi o argônio. Todo o sistema operou em pressão atmosférica. A farinha de trigo tratada por plasma não térmico (FPL) apresentou menor porcentagem de amido danificado (4,33 %), menor distribuição do tamanho acumulada a D90 % e menor tamanho médio de partícula, além de menores valores para as suas propriedades de pasta, onde todas estas características diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ), através da análise de variância (ANOVA), quando comparadas com a farinha de trigo controle (FC). Os glútenos destes dois materiais não sofreram alterações significativas para a mesma significância. O farelo de trigo tratado por plasma não térmico (BPL) foi avaliado através do pH, dos índices de absorção em água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) e a análise de cor instrumental, com a obtenção dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , além da diferença de cor ( $\Delta E$ ) e teve estes resultados comparados para o farelo sem tratamento (BC). Apenas o IAA e o parâmetro  $b^*$  da análise de cor instrumental apresentaram diferença significativa pela análise de variância (ANOVA) ( $p \leq 0,05$ ), em relação ao farelo BC. Apesar de apresentar diferença significativa em um parâmetro da análise de cor ( $b^*$ ), a diferença de cor existente entre as amostras ( $\Delta E = 0,30$ ) apresentou valor inferior a 1,0, o que indica que esta diferença é de difícil percepção pelo observador. Os resultados indicam modificações importantes para estas matérias-primas e que necessitam maior aprofundamento experimental e analítico para consolidar os efeitos conferidos por esta tecnologia emergente.

**Palavras-chave:** Plasma não térmico; Micro-ondas; Argônio; Farinha de trigo; Farelo de trigo.

### **Abstract**

The use of non-thermal plasma in food raw materials is recent and may constitute an innovation for the sector, which needs to generate knowledge about this subject, in order to know the possibilities of using this emerging technology

applied in food. The objective of this study was to evaluate the technological behavior in flour and wheat bran, treated in a non-thermal plasma generator, obtained by microwave, compared with the same raw materials without treatment. The non-thermal plasma was generated by microwaves from 200 W of power and the gas used was argon. The system operated at atmospheric pressure. Wheat flour treated by non-thermal plasma (FPL) showed a lower percentage of damaged starch (4.33%), a lower accumulated size distribution at D90% and a lower size distribution of particle, in addition to lower values for its pasting properties, where all these characteristics showed that ANOVA differed significantly ( $p \leq 0.05$ ) when compared to the control wheat flour (FC). The gluten of these two materials did not change significantly to the same significance. Wheat bran treated by non-thermal plasma (BPL) was evaluated using pH, water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) and instrumental color analysis, with the achievement of L\* parameters, a\* and b\*, in addition to the color difference ( $\Delta E$ ) and these results were compared for untreated bran (BC). Only the WAI and the b\* parameter of the instrumental color analysis showed a significant difference for ANOVA ( $p \leq 0.05$ ) in comparison with BC. Despite having a significant difference in a color analysis parameter (b\*), the color difference between the samples ( $\Delta E = 0.30$ ) showed a value below 1.0, which indicates that this difference is difficult to perceive by the observer. The results show important changes for these raw materials and that need further experimental and analytical deepening to consolidate the effects conferred by this emerging technology.

**Keywords:** Non-thermal plasma; Microwave; Argon; Wheat flour; Wheat bran.

### Resumen

El uso del plasma no térmico en materias primas alimentarias es reciente y puede constituir una innovación para el sector, que necesita generar conocimiento en el área, afín de conocer las posibilidades de uso de esta tecnología emergente aplicada en alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento tecnológico de la harina y salvado de trigo tratados en una generadora de plasma no térmico, obtenido por microondas, en comparación las mismas materias primas sin tratamiento. El plasma no térmico fue generado por microondas a partir de 200 W de potencia y el gas utilizado fue el argón. Todo el sistema operó a presión atmosférica. La harina de trigo tratada por plasma no térmico FPL presentó un menor porcentaje de almidón dañado (4.33%), menor distribución de tamaño acumulado al D90% y tamaño medio de partícula, además de valores más bajos para sus propiedades de empastado, cuyas características difirieron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) a través del análisis de varianza (ANOVA), en comparación a la harina de trigo control (FC). Los glútenos de estos dos materiales no sufrieron alteraciones significativas para la misma significancia. El salvado de trigo tratado por plasma no térmico (BPL) fue evaluado a través del pH, índices de absorción de agua (IAA), e índice de solubilidad en agua (ISA) y el análisis de color instrumental, obteniendo los parámetros L\*, a\* y b\*, además de la diferencia de color ( $\Delta E$ ) cuyos resultados se compararon para el salvado sin tratamiento (BC). Solo el IAA y el parámetro b\* del análisis del color instrumental presentaron diferencias significativas, en el análisis de varianza (ANOVA) ( $p \leq 0,05$ ), en relación con el salvado BC. A pesar de presentar diferencia significativa en un parámetro de color (b\*), la diferencia total de color existente entre las muestras ( $\Delta E = 0,30$ ) presentó un valor inferior a 1.0, lo que indica que ésta es de difícil percepción por el observador. Los resultados indican modificaciones importantes para estas materias primas y que éstas necesitan de una mayor profundidad de estudio experimental y analítico para consolidar los efectos atribuidos a esta tecnología emergente.

**Palabras clave:** Plasma no térmico; Microondas; Argón; Harina de trigo; Salvado de trigo.

## 1. Introdução

A tecnologia de plasma não térmico aplicada a alimentos ainda pode ser considerada emergente, mas que a cada dia vem despertando mais interesse devido ao seu caráter inovador e possuir benefícios econômicos, além de ser uma fonte de energia limpa para o meio ambiente (Pankaj, Wan & Keener, 2018).

É conhecida como o quarto estado da matéria, no sentido de possuir propriedades ópticas, elétricas e magnéticas diferentes de um gás neutro. O plasma gasoso é um gás ionizado, normalmente composto por elétrons livres, íons positivos e negativos, átomos e / ou moléculas reativas, moléculas neutras e fótons (Thriumdas et al., 2017; Loureiro & Amorim, 2016).

O estado de plasma é obtido através da mistura de um gás, ou mistura de gases associados a uma fonte de energia, em quantidade suficiente para a sua geração e que pode ser operado em sistemas de baixa pressão ou em pressão atmosférica (Loureiro & Amorim, 2016).

Uma série de trabalhos vem sendo conduzidos no campo de controle de micro-organismos, modificação de propriedades tecnológicas de amidos e farinhas, melhoria de taxas de germinação de sementes e inativação enzimática. Todas estas aplicações são dependentes do tipo de equipamento gerador de plasma, condições de processamento, como a utilização de diferentes gases e as condições de pressão em que o sistema é operado (Bie et al., 2016; Carvalho et al., 2021; Misra et al., 2016; Sarangapani et

al., 2016).

Misra, Schlüter e Cullen (2016) reportam que além da possibilidade de uso de baixas temperaturas e não gerar resíduos de processos, também não utiliza água como solvente, possui baixo consumo energético e possui a versatilidade de poder ser aplicado em materiais sólidos e líquidos.

Como exemplo de geradores de plasma podemos citar a descarga de corrente direta (*glow discharge*), rádio frequência (RF), descarga por barreira dielétrica (DBD), jato de plasma em pressão atmosférica, descarga por energia pulsante e a descarga por micro-ondas (Cullen et al., 2017).

Ainda por se considerada uma tecnologia emergente, a maioria dos trabalhos e estudos se encontram em escala laboratorial e possuem grandes desafios a serem ultrapassados para se tornarem uma tecnologia utilizada em escalas maiores, como a comprovação e validação de sua eficácia em produtos e processos, aprovações no campo regulatórios e principalmente a aceitação por parte dos consumidores (Chizoba Ekezie, Sun & Cheng, 2017; Cullen et al., 2017).

O presente trabalho teve como objetivo explorar a utilização desta unidade geradora de plasma não térmico, gerado por micro-ondas, em farinha e farelo de trigo, onde foi possível: 1) avaliar a viabilidade de uso da unidade geradora de plasma por micro-ondas, 2) avaliar os efeitos do fluxo de plasma pós descarga nas características tecnológicas de farinha de trigo e 3) avaliar os efeitos nas propriedades do farelo de trigo.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Matéria-prima**

A farinha de trigo e o farelo utilizados no presente trabalho foram produzidos a partir de trigo (*Triticum aestivum* L.), produzido em Arapongas-PR, Brasil, de coordenadas geográficas 23° 25' 10" latitude sul e 51° 25' 28" longitude oeste. A umidade inicial do trigo foi de 11,28 %, onde para a realização de sua moagem e geração da farinha e farelo, este foi condicionado a 16 %, seguindo os procedimentos descritos nos métodos AACCI nº 26-10.02 e 26-95.01 (AACCI, 2010).

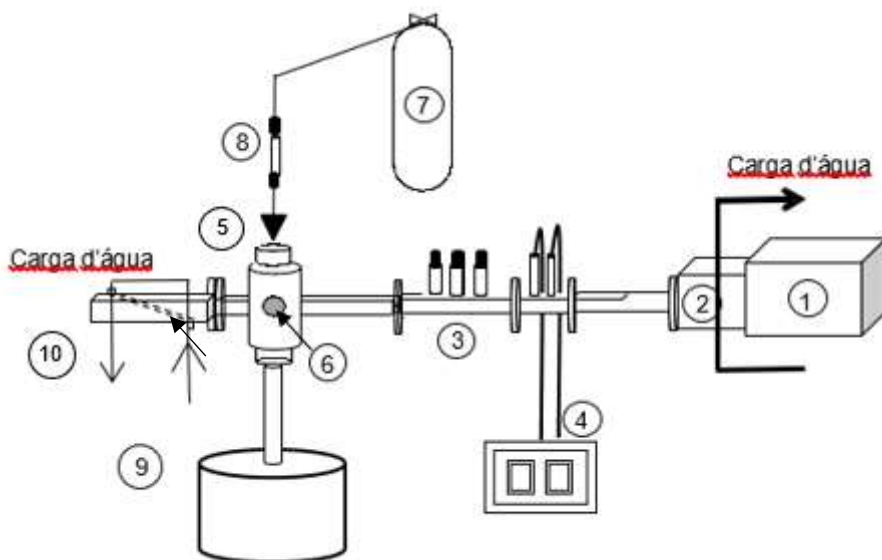
Posteriormente ao condicionamento, a moagem deste trigo foi conduzida em moinho Quadrumat Jr. (Brabender, Duisburg, Alemanha), segundo método AACCI nº 26-50.01 (AACCI, 2010).

### **2.2 Unidade geradora de plasma não térmico (UGPNT), gerado a partir de micro-ondas, e tratamentos**

A UGPNT funcionou em sistema monomodo descontínuo, mas pode ser adaptada para processos contínuos, é composta por elementos para a geração e transmissão de micro-ondas, com frequência de 2,45 GHz x 1,9 kW, onde adotou-se a configuração de onda viajante, com posicionamento de uma carga d'água no final do guia de onda. A referida unidade possui um sistema provedor de gás e uma abertura para introdução do ignitor de alta voltagem (1,5 kV), utilizado para a formação de plasma em acessório específico e que está conectado através de um duto condutor a um porta amostra, para tratamento da farinha e do farelo de trigo, a partir do fluxo contínuo da pós descarga do plasma não térmico gerado, conforme é apresentado na Figura 1.

Para a realização do processo, as amostras de farinha (25 g/ teste) e farelo de trigo (15 g/ teste) foram colocadas em placas de Petri e introduzidas no módulo para tratamento e recebimento do fluxo de plasma pós descarga. Argônio foi o gás utilizado para geração do plasma por micro-ondas a 200 W de potência, a uma vazão de 5 L/ min. Os tratamentos foram conduzidos por 15 min em pressão atmosférica. Todos os ensaios foram realizados em duplicata de processamento. As amostras tratadas por plasma não-térmico foram recolhidas, embaladas em embalagens metalizadas à vácuo e mantidas sob refrigeração.

**Figura 1.** UGPNT em sistema monomodo: 1) gerador de micro-ondas, 2,45 GHz x 1,9 kW, 2) circulador de desvio das micro-ondas refletidas; 3) sintonizador; 4) medidor de potência transmitida e refletida, 5) aplicador de micro-ondas para a geração de plasma; 6) entrada de ignitor de alta voltagem (1,5 kV), 7) cilindro de gás, 8) fluxômetro, 9) porta amostra para tratamento de plasma pós descarga e 10) carga d'água posicionada no final do sistema configurado como onda viajante (Clerici et al., 2019).



Fonte: Autores.

### 2.3 Avaliação qualitativa da farinha de trigo tratada

A farinha de trigo tratada por plasma não térmico (FP) foi avaliada quanto ao teor de amido danificado (método AACCI 76-33.01), análise de glúten, quanto aos teores de glúten úmido, glúten seco e glúten index (metodologia AACCI 38-12.02) e *falling number* (método AACCI 56-81.03) (AACCI, 2010).

A distribuição do tamanho e o diâmetro médio das partículas das farinhas de trigo foram determinadas em analisador de distribuição de tamanho de partículas por difração de raios laser, modelo LA-950-V2 (Horiba Instruments, Kyoto, Japão). Foi obtido também o diâmetro médio segundo o diâmetro de De Brouckere ( $d_{4,3}$ ), que se caracteriza como o diâmetro médio de uma esfera com o mesmo volume da partícula medida. A distribuição do tamanho de partículas acumuladas na distribuição 10 %, 50 % e 90 % do total das partículas medidas, onde com estes dados foi calculado o índice de polidispersibilidade das partículas (*Span*), a partir da equação 1, para identificar qual a dispersão de tamanho das partículas em cada amostra.

$$Span: \frac{D90 \% - D10 \%}{D50 \%} \quad \text{Eq. 1}$$

onde: D10 %, D50 % e D90 % correspondem aos diâmetros a 10, 50 e 90% da distribuição cumulativa das amostras.

As propriedades de pasta foram determinadas pela metodologia oficial da AACCI 76-21.01, adotando-se o perfil de temperatura *Standard 1* do equipamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento (AACCI, 2010). Os resultados das análises de qualificação da FP foram comparados com os resultados da farinha de trigo controle (FC).

### 2.4 Avaliação qualitativa do farelo de trigo tratado

O farelo de trigo tratado por plasma não térmico (FP) foi avaliado quanto ao seu pH de acordo com os procedimentos da AOAC (1998), análise do índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA), procedimento de acordo

com Anderson (1982). A análise de cor instrumental dos farelos de trigo deste trabalho utilizou o sistema CIELab, com valores de L\*, a\* e b\* determinados a partir de colorímetro Minolta Chroma Meter CR-410 (Konica Minolta Inc., Tóquio, Japão). As condições para obtenção das análises foram a calibração do equipamento com placa branca padrão, iluminante padrão D65, simulando a luz do dia, e observador padrão de 10°. Os valores de pH e IAA e ISA foram obtidos a partir de triplicata analítica e a análise de cor instrumental foi realizada a partir de dez repetições para cada amostra.

## 2.5 Análise estatística

Os resultados foram analisados através da análise de variância (ANOVA) das suas médias, realizada no software SISVAR 5.6 Build 86, sendo que a diferença significativa foi calculada para  $p \leq 0,05$  (Tabelas C.1 até C.21, do Apêndice C) (Ferreira, 2011).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Amido danificado, análise de glúten, *falling number*, distribuição do tamanho de partícula e propriedades de pasta das farinhas de trigo

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de amido danificado, análise de glúten, da distribuição do tamanho médio de partícula e das propriedades de pasta das farinhas de trigo FC (farinha de trigo controle) e FPL (tratada por plasma não térmico). O resultado de amido danificado presente na farinha de trigo FC apresentou maior valor em relação a farinha FPL, 6,35 e 4,33 %, respectivamente e através da análise estatística entre as médias, constatou-se diferença significativa entre os resultados através da análise de variância ANOVA ( $p \leq 0,05$ ).

A análise de glúten nos mostrou que o tratamento com plasma não térmico pouco afetou as características de glúten úmido, seco e índice de glúten, assim como a atividade enzimática de alfa amilase presente nas farinhas, determinada pelo *falling number*, pois tanto para FC, quanto para FPL não houve diferença significativa para a análise de variância (ANOVA) ( $p \leq 0,05$ ). Misra et al. (2015), diferentemente reporta em seu trabalho a ocorrência de aumento da viscoelasticidade das massas, propriedades de mistura, melhorando a força e tempos de mistura, tanto para as farinhas de trigos mais fracos, com menor qualidade das proteínas formadoras de glúten, quando para as farinhas de trigo de glúten mais fortes.

Conforme apresentado na Tabela 1, a distribuição do tamanho médio das partículas acumuladas à 10 %, 50 % e 90 % do total de partículas, indica que a farinha FC apresentou os maiores valores e diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ) quando comparados com os valores obtidos para as farinhas de trigo tratadas com o plasma não térmico (FPL). O diâmetro acumulado à 90% para a farinhas de trigo FPL foi menor que o obtido pela farinha FC (controle). O volume do diâmetro médio das partículas ( $d_{4,3}$ ) das farinhas de trigo tratada como plasma não térmico (FPL), foi aproximadamente 63 % inferior ao diâmetro médio das partículas da farinha controle, sendo que as duas farinhas de trigo, FC e FPL também apresentaram valores diferentes significativamente, ao nível de 5 % de significância para o índice de polidispersibilidade das partículas (*Span*), que variou (1,69 e 2,56), onde valores superiores a 1,00 indicam caráter de amostras muito polidispersas, onde há presença de grande variação dos tamanhos das partículas presentes nas farinhas de trigo analisadas. Cruz et al. (2016) apresentaram valores superiores 1,44 para micropartículas de agente oxidante, utilizados em seus experimentos e indicando possuir alto índice de polidispersibilidade.

Com exceção da temperatura de pasta, que não apresentou diferença significativa, todos os parâmetros da análise do perfil de viscosidade para as duas farinhas (FC e FPL), apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) sendo que a farinha tratada com o plasma não térmico apresentou menor viscosidade máxima (Visc. Máx.), quando comparada com FC, indicando que a capacidade de absorção de água pelo amido foi modificada pelo tratamento aplicado, além de ter apresentado menor quebra, menor valor de viscosidade final e menor tendência à retrogradação.

### 3.2 Análises de pH, índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA) e análise de cor instrumental do farelo de trigo tratado

Os resultados das análises de pH, índices de absorção e solubilidade em água e de cor instrumental para o farelo dos trigos BC (farelo de trigo controle) e BPL (farelo de trigo tratado com plasma não térmico) são apresentados na Tabela 2. As amostras farelo de trigo tratado com plasma não-térmico (BPL) não apresentou diferença significativa quando comparado com o valor de pH do farelo de trigo controle (BC). Assim, a interação do plasma não-térmico com o farelo não influenciou esta característica dos farelos. O índice de solubilidade em água (ISA) não apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras de farelo de trigo BC e BPL. Entretanto, houve diferença significativa para o parâmetro IAA, entre a amostra controle (BC), com valor de 4,70, e a amostra tratada (BPL), que apresentou valor de 5,71, indicando que a aplicação de plasma não térmico na amostra ocasionou uma propensão a aumentar esta capacidade após o tratamento.

**Tabela 1** – Caracterização das farinhas de trigo quanto a amido danificado, análise de glúten, *falling number*, propriedades de pasta e sua distribuição de tamanho de partícula e seu tamanho médio antes e após processamento por plasma não térmico.

Análises	Amostras	
	FC	FPL
<i>Amido danificado</i>		
Amido Danificado (AD) (%)	6,35±0,02	4,33±0,19*
<i>Análise de glúten</i>		
Glúten úmido (%)	30,05±0,37	29,48±1,15
Glúten seco (%)	10,16±0,10	10,24±0,50
Glúten index	97,80±1,57	98,24±1,03
<i>Falling Number</i>		
FN (s)	350±6	345±5
<i>Distribuição de tamanho de partícula e tamanho médio de partícula</i>		
D10% (µm)	33,88±3,22	19,40±0,13*
D50% (µm)	131,05±4,93	67,47±0,84*
D90% (µm)	255,01±11,49	192,34±6,63*
d <sub>4,3</sub> (µm)	140,51±6,60	88,46±2,42*
Span	1,69±0,05	2,56±0,07*
<i>Propriedades de pasta</i>		
Temp. pasta (°C)	84,7±0,1	85,1±0,6
Visc. Máx. (cP)	1743,4±34,4	1542,3±20,3*
Visc. Mín. (cP)	1034,7±4,9	1008,0±3,5*
Quebra (cP)	748,0±17,5	652,3±21,5*
Visc. Final (cP)	2039,7±21,9	1898,0±4,6*
Tend. Retrog (cP)	1005,0±17,1	891,0±1,7*

<sup>1</sup>FC – farinha de trigo controle; FPL: farinha de trigo tratado por plasma não térmico. Resultados apresentados como média ± desvio padrão; para as médias seguidas de (\*) na mesma linha há diferença significativa entre as médias ( $p \leq 0,05$ ), pela análise de variância (ANOVA). Fonte: Autores.

Quanto a análise de cor instrumental, os farelos analisados não se apresentaram diferentes para os parâmetros luminosidade ( $L^*$ ) e parâmetro  $a^*$ , apresentando apenas diferença significativa para o parâmetro  $b^*$ , associado a coloração tendendo para o amarelo para a amostra tratada por plasma não térmico (BPL). Hidalgo, Fongaro, & Brandolini (2014) indicaram o parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) como sendo o mais influenciado pela presença de farelo de trigo em farinha de trigo. Desta forma, por não ter apresentado diferença significativa para este parâmetro e também não ter ocorrido diferença significativa para a cor ( $\Delta E = 0,30$ ), entre a amostra tratada, comparada com a amostra controle, indicando que são amostras difíceis de serem identificadas visualmente, reforçado também pelas imagens dos dois farelos apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Caracterização do farelo de trigo quanto acidez (pH), índices de absorção em água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) e cor instrumental antes e após processamento por plasma não térmico

Análises	Amostras <sup>1</sup>	
	BC	BPL
<i>Acidez - pH</i>		
pH (%)	6,54±0,06	6,53±0,04
<i>Índices de Absorção e Solubilidade em água</i>		
IAA	4,70±0,13	5,71±0,06*
ISA	8,55±0,34	8,09±0,92
<i>Cor Instrumental</i>		
$L^*$	62,55±0,21	62,49±0,15
$a^*$	7,21±0,03	7,22±0,02
$b^*$	17,68±0,05	17,88±0,08*
$\Delta E$	----	0,30±0,10

**Imagem do farelo de trigo**



<sup>1</sup>BC – farelo de trigo controle; BPL: farelo de trigo tratado por plasma não térmico. Resultados apresentados como média  $\pm$  desvio padrão; para as médias seguidas de (\*) na mesma linha há diferença significativa entre as médias ( $p \leq 0,05$ ), pela análise de variância (ANOVA). Fonte: Autores.

#### 4. Conclusão

A unidade geradora de plasma não térmico a partir de micro-ondas permitiu a aplicação de fluxo de plasma pós descarga provocando alterações significativas em algumas propriedades tecnológicas importantes da farinha e farelo de trigo. O tratamento permitiu a obtenção de farinha de trigo com menor teor de amido danificado e de modo geral a farinha de trigo FPL apresentou tamanho médio de partícula menor que a farinha de trigo FC, porém mais polidispersa. As propriedades de pasta da farinha de trigo FPL apresentaram viscosidades mais baixas, assim como menor também foi a sua tendência a retrogradação. O farelo de trigo foi menos afetado pelo tratamento com o plasma não térmico (BPL), onde apenas o IAA apresentou maior valor de absorção

em relação ao farelo de trigo BC. Os resultados obtidos com este trabalho indicam a necessidade de se ampliar as potências de micro-ondas utilizadas para geração de plasma, assim como trabalhar com outros gases a fim de verificar os impactos nas proteínas e também nas características dos amidos presentes no trigo.

### Agradecimentos

Dedicamos este trabalho ao Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior (*In memoriam*) pelo seu incansável trabalho para o desenvolvimento da tecnologia de alimentos no Brasil. Os autores são gratos à CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, ao Instituto de Tecnologia de Alimentos, ao Moinho Arapongas S.A. pela doação do trigo utilizado no presente trabalho, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo 2014/14435-1) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedidas (150826/2019-2, 150826/2019-2 e 312786/2020-4).

### Referências

- AACCI. (2010). *Approved Methods of Analysis*. AACC International.
- Alvim, I. D., Stein, M. A., Koury, I. P., Dantas, F. B. H., & Cruz, C. L. de C. V. (2016). Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 689–694. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.049>
- Anderson, R. A. (1982). Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products. *Cereal Chemistry*, 59(4), 165–269.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis* (15a ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Bie, P., Pu, H., Zhang, B., Su, J., Chen, L., & Li, X. (2016). Structural characteristics and rheological properties of plasma-treated starch. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.019>
- Carvalho, A. P. M. G., Barros, D. R., da Silva, L. S., Sanches, E. A., da Costa Pinto, C., de Souza, S. M., Clerici, M. T. P. S., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2021). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied to the modification of Ariá (*Goeppertia allouia*) starch: Effect of plasma generation voltage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1618–1627. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.165>
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 69, pp. 46–58). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- Clerici, M. T. P. S., Sampaio, U. M., Montenegro, F. M., Antonio Mar, Bertelli, M. N., & Amorim, J. de. (2019). *Dispositivo Gerador De Plasma Não Térmico Por Micro-Ondas Para Tratamento Contínuo De Modificação De Amidos* (Patent No. BR 10 2019 027106 0).
- Cullen, P. J., Milosavljevi, V., Lator, J., Scally, L., Boehm, D., Bourke, P., & Keener, K. (2017). *Translation of plasma technology from the lab to the food industry*. July, 1–11. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700085>
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. In *Ciencia e Agrotecnologia* (35, 1039–1042). <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Hidalgo, A., Fongaro, L., & Brandolini, A. (2014). Wheat flour granulometry determines colour perception. *Food Research International*, 64, 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.050>
- Loureiro, J., & Amorim, J. (2016). *Kinetics and Spectroscopy of Low Temperature Plasmas*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09253-9>
- Misra, N. N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, N., & Cullen, P. J. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.019>
- Misra, N. N., Schlüter, O., & Cullen, P. J. (2016). *Cold Plasma in Food and Agriculture*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-00009-3>
- Pankaj, S. K., Wan, Z., & Keene, K. M. (2018). Effects of Cold Plasma on Food Quality: A Review. *Foods*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/foods7010004>
- Sarangapani, C., Thirumdas, R., Devi, Y., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.003>
- Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2017). Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1723–1731. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.050>