https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.7027

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Avaliação de diferentes doses de radiação gama aplicadas na microalga spirulina (*Arthrospira platensis)*

Evaluation of different doses of gamma radiation applied in microalgae spirulina (Arthrospira platensis)

Pablo Kashisol Duarte de Lima[1], Ingrid Alves de Moraes[1], Gabriel Luis Castiglioni[1], Valter Arthur[2], Adriana Régia Marques de Souza[1]

[1]Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA) - Universidade Federal de Goiás (UFG). Avenida Esperança, s/n. Campus Samambaia. CEP:74690900. pablokashisol@hotmail.com
[2]Centro de Energia Nuclear na Agricultura / Universidade de São Paulo. Av. Centenário, 303 - São Dimas, Piracicaba - SP, CEP:13400970.

Recebido em:08/10/2017 Aceito em:18/10/2017

Resumo: São frequentes os estudos da viabilidade do uso da microalga Spirulina como forma de agregar valores nutricionais aos alimentos ou até mesmo fonte de pigmento natural, utilizado na indústria. A irradiação pode ser aplicada como uma forma de descontaminação e de conservação da Spirulina seca. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na estrutura físico-química da Spirulina submetida a diferentes doses de radiação. Verificou-se que os maiores valores de doses de radiação gama aplicada, houve diferença de cor. Contudo não houve alterações morfológicas significativas na estrutura da Spirulina irradiada. Não evidenciando maior fragilidade de quebra ou mudança na textura das amostras. Os tratamentos se comportaram como fluido não newtoniano dilatante, característica também de outras microalgas. Tendo a temperatura como uma forte influência no comportamento da Spirulina, tornando-se menos viscosa, no entanto Spirulina irradiada a 3kGy apresentou menor energia de ativação do fluxo, assim como uma viscosidade aparente maior em relação ao controle. Conclui-se que o uso de radiação gama, nas doses estudadas na Spirulina, não se evidenciou uma diferença significativa em termos de alterações estruturais físico-químicas para aplicações futuras na indústria de alimentos.

Palavras-chave: irradiação, microalga, proteína

Abstract: Studies on the feasibility of using the Spirulina microalga as a way of adding nutritional values to foods or even as a natural pigment source used in industry are frequent. Irradiation can be applied as a form of decontamination and preservation of dry Spirulina. The objective of this work was to evaluate the changes in the physico-chemical structure of Spirulina when submitted to different doses of radiation. It was verified that when the highest dose values of gamma radiation were applied, difference in color was observed. However no significant morphological changes in the structure of the Spirulina irradiated. Evidencing no greater break frailty or change in the texture of the samples. The treatments behaved as non-Newtonian dilating fluid, characteristic of other microalgae. Having the temperature as a strong influence on the behavior of Spirulina, becoming less viscous, however Spirulina irradiated at 3kGy displayed lower activation energy for flow, as well as an apparent viscosity greater than the control. It was concluded that the use of the studied gamma radiation doses in Spirulina did not indicated a significant difference in terms of physico-chemical structural changes for future applications in the food industry.

Keywords: irradiation, microalgae, protein

Introdução

A microalga Spirulina (*Arthrospira Platensis*) é uma cianobactéria, de cor verde azulada, não ramificada com filamentos helicoidais, variando o tamanho conforme as condições de crescimento (Benelhadj, *et al*, 2016). Segundo Benelhadj *et al* (2016), a Spirulina tem um elevado teor de proteína, 60-70%, com a composição de aminoácidos essenciais geralmente equilibrada. Além de ácidos graxos poli-insaturados, é uma excelente fonte de carotenoides, possui alto nível de vitaminas B12 (e outras tais como provitamina A, Bl, B2, B6, E, D), minerais (Shabana, *et al*, 2017) e também fonte de pigmento como a ficocianina, essa possuindo ação

CC BY NC SA

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

antioxidante e anti-inflamatória, podendo substituir corantes sintéticos.

A biomassa é amplamente utilizada para produção de suplementos alimentares, consumida em pó ou em capsulas (Andrade, *et al*, 2008). Além disto, são realizadas pesquisas com o proposito de desenvolver novos produtos a partir da biomassa, incorporando ou suplementando alimentos tradicionais, com o proposito de adicionar atributos funcionais que podem trazer possíveis benefícios nutricionais (Batista, *et al,* 2013).

A Spirulina em pó é irradiada especialmente com a finalidade da esterilização (Liu, *et al;* 2012). Abomohra (2016) define que a radiação ionizante pode ser quantificada em termos de dose absorvida, que é a quantidade de energia de radiação ionizante depositada por unidade de massa irradiada. Silva e Roza (2010) descreve a irradiação de alimentos como exposição de algum dado material à radiação ionizante, sendo as fontes de ^{60}Co e ^{137}Cs consideradas de uso comercial.

Moussa, *et al* (2015) e Shabana, *et al* (2017), aplicaram radiação gama, em diferentes doses, durante o crescimento da Spirulina *platensis*, avaliando o efeito na atividade metabólica. O máximo de crescimento foi percebido a dose de 2,0kGy, com aumento significativo dos teores de clorofila, carotenoides, ficocianina, teor de carboidratos totais, além de minerais, fenóis, enzimas, dentre outras substancias. Liu, *et al* (2012), analisou espectros de infravermelho da Spirulina em pó irradiada com intuito de discriminar mudanças estruturais. A comparação demonstrou pequenas diferenças entre elas, tais como, as estruturas secundárias de proteínas, grupo de ácido carboxílico e seus ésteres. O objetivo desse presente trabalho foi avaliar as alterações na estrutura e propriedades físico-químicas da Spirulina submetida a diferentes doses de radiação gama.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios do Setor de Engenharia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A Spirulina (doado pela empresa BrasilVital) foi irradiada nas doses de 0 (controle), 0,5; 1,0 e 3,0 kGy em um irradiador Gamacell com fonte de ^{60}Co, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) na cidade de Piracicaba – SP.

A análise foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic), em um equipamento Jeol, JSM – 6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging. As amostras de Spirulina foram posicionadas em "stubs" e em seguida, feita a deposição de uma camada de 20nm de filme de ouro por metalizador da marca Denton Vacuum, modelo Desk V. A aceleração de voltagem foi de 5kV e as micrografias representativas foram tiradas na escala de 300x de magnificação.

As amostras de Spirulina irradiadas se apresentaram secas e em formato granular acondicionada em local seco e em embalagem flexível laminada, que impedia a passagem de luz. A dissolução tornou-se necessária a fim de determinar uma concentração mínima para que fossem conduzidas as análises de reologia e cor. Amostras com peso de 0,1 g dos tratamentos de 0; 0,5; 1,0 e 3,0 kGy foram pesadas em balança analítica (Shimadzu, Analítica e semi-analítica, Serie BL320H, com resolução de 0,01g), transferidas para tubos de ensaio com rosca, adicionado 20 ml de água destilada e levadas ao homogeneizador de soluções por um período de 24 horas em temperatura ambiente, a fim de obter o máximo de dissolução possível da biomassa Spirulina em água destilada. A concentração final de todas as amostras preparadas foi de 0,5%.

A cor foi determinada em aparelho ColorQUEST XE (Hunterlab, Estados Unidos, serie: CQX4181), operando no padrão L* a* b* CIE (Commission Internacional de L' Eclairage). As coordenadas medidas, em transmitância total, foram: L* (luminosidade) a* (tonalidades de verde a vermelho) e b* (tonalidades de azul a amarelo). Com os dados coletados calcularam-se os valores de croma ou C* e do H_{ab} ou ângulo de tonalidade. Pelas expressões (1) e (2) (Minolta, 2007):

$$C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$H_{ab} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (2)$$

Para o estudo reológico da Spirulina, somente as amostras controle (0 kGy) e 3,0kGy forma estudadas. As mesmas foram deixadas em repouso por cerca de 1 minuto e realizada a coleta da suspensão em sobrenadante. O comportamento reológico foi avaliado pelo Reômetro (Physica, MCR 101, Ostfildern, Germany), no Laboratório Multiusuário de Análises de Textura, Reologia e HPLC (LabMulti).

Primeiramente, a temperatura foi mantida em 25°C na placa inferior pelo sistema Peltier. A geometria utilizada foi placa-placa, com 1 mm de diâmetro. As curvas de escoamento foram determinadas por três rampas contínuas consecutivas de varredura de taxa de deformação

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

de 0 a 500 s^{-1}. Escolheram-se as curvas com os dados da primeira rampa ascendente que melhor descreveram o comportamento reológico das amostras.

A modelagem matemática foi realizada utilizando o modelo da Lei de Potencia, visto que o modelo e considerado geral, pois se aplica a maioria dos fluidos (Santos, 2015).

Para determinar as curvas de viscosidade pela temperatura, esta variou entre 10C°(283,15K) a 80C°(353,15K). A geometria utilizada foi placa-placa, com 1 mm de diâmetro. As curvas foram determinadas por três rampas contínuas consecutivas de varredura de taxa de deformação fixa de 100 s^{-1}. Escolheram-se as curvas com os dados da última rampa ascendente que melhor descreveram o comportamento reológico das amostras.

O efeito da temperatura sobre a viscosidade foi modelado pela equação de Arrherius (Giap, 2010) e foram realizados os ajustes das curvas ao modelo na forma linearizada, sendo o parâmetro de ajuste μ(Pa.s) e a energia de ativação para viscosidade (E_a) determinados como o coeficiente linear e o coeficiente angular das curvas, respectivamente.

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as diferenças entre os tratamentos avaliados pelo teste de médias Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014)

Resultados

A figura 1 apresenta as estruturas morfológicas das amostras de Spirulina, secas e granuladas, submetidas às diferentes doses de radiação gama.

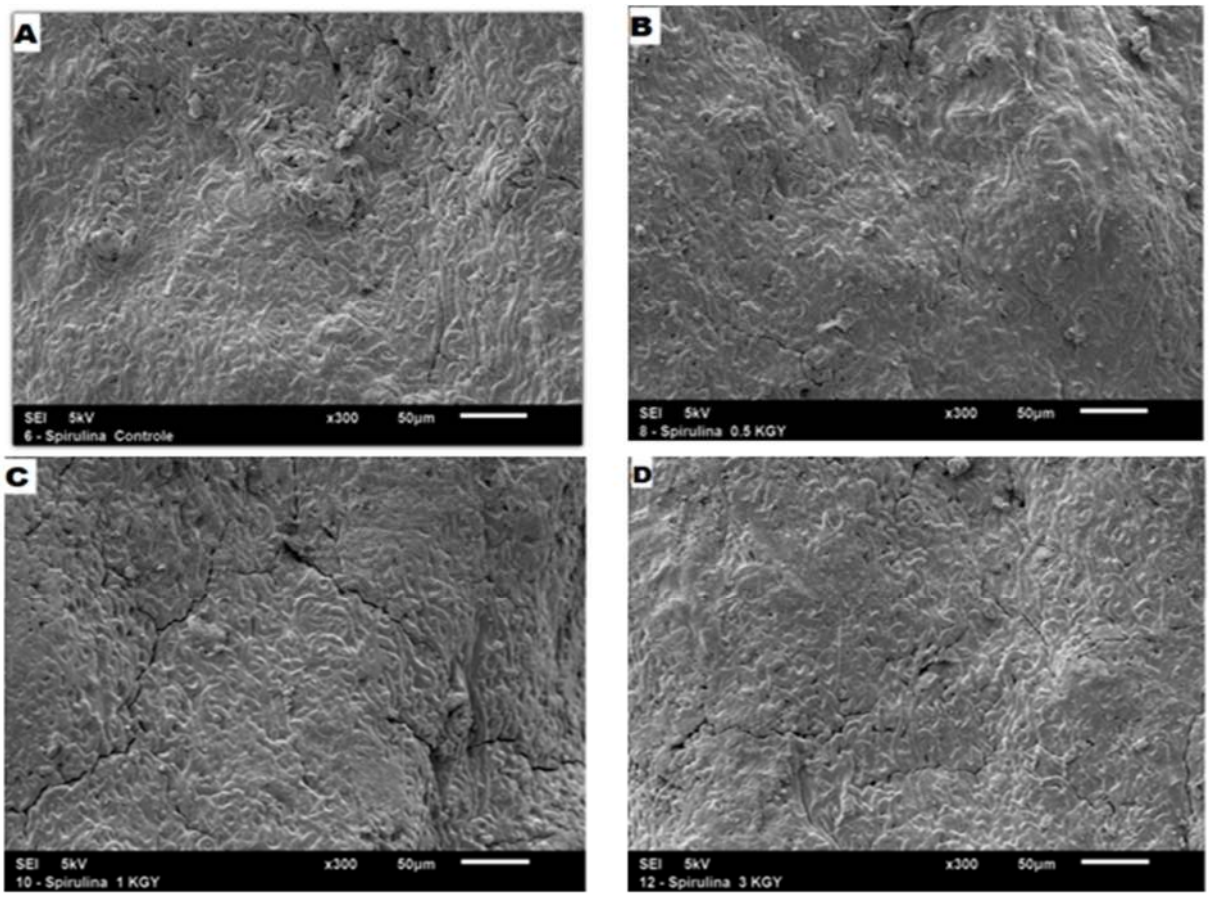


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura da Spirulina submetida à dose de 0(a); 0,5(b); 1,0(c) e 3,0(d)kGy.

A Spirulina se apresentou visivelmente rígida e heterogênea com superfície rugosa, irregular com sulcos, com protuberâncias, e pouca evidência de poros. As amostras de 1,0 e 3,0kGy apresentaram mais rachaduras e supostamente um aspecto menos rugoso, com pontos lisos, menos sulcos e protuberâncias, em contraste com controle.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Os parâmetros de cor avaliados para doses de 0; 0,5; 1,0 e 3,0kGy de radiação gama na Spirulina (Tabelas 1) demostrou que houve diferença significativa ($p< 0,05$) para todos os valores medidos de L, a*, b* e calculados de C* e $H_{ab.}$

Tabela 1. Efeito da irradiação na coloração (parâmetros L, a*, b*, C* e H_{ab}) da Spirulina.

TRAT(kGy)	L	a*	b*	C*	H_{ab}
0	$19,152^{b} \pm 0,021$	$-26,556^{b} \pm 0,043$	$14,708^{a} \pm 0,054$	$30,357^{b} \pm 0,001$	$-1,617^{a} \pm 0,002$
0,5	$18,349^{c} \pm 0,262$	$-27,005^{c} \pm 0,148$	$13,214^{c} \pm 0,084$	$30,064^{c} \pm 0,005$	$-1,878^{b} \pm 0,003$
1,0	$19,940^{a} \pm 0,383$	$-28,177^{d} \pm 0,219$	$13,802^{b} \pm 0,046$	$31,376^{a} \pm 0,006$	$-1,875^{b} \pm 0,003$
3,0	$16,990^{d} \pm 0,283$	$-26,345^{a} \pm 0,202$	$12,545^{d} \pm 0,989$	$29,180^{d} \pm 0,016$	$-1,939^{c} \pm 0,031$

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$).

Foi observado que a dose de 3kGy apresentou os menores valores para a maior parte dos parâmetros avaliados, no qual o croma indicou uma diminuição na intensidade de cor e a luminosidade indicou que o tratamento esta mais escuro.

A reologia das soluções de Spirulina, irradiadas a 0 (controle) e 3kGy, indicaram que o comportamento do fluxo variou com a taxa de deformação, onde a tensão de cisalhamento demonstrou uma relação não linear com a taxa de deformação (Figura 2). Comportamento característico de fluido não newtoniano.

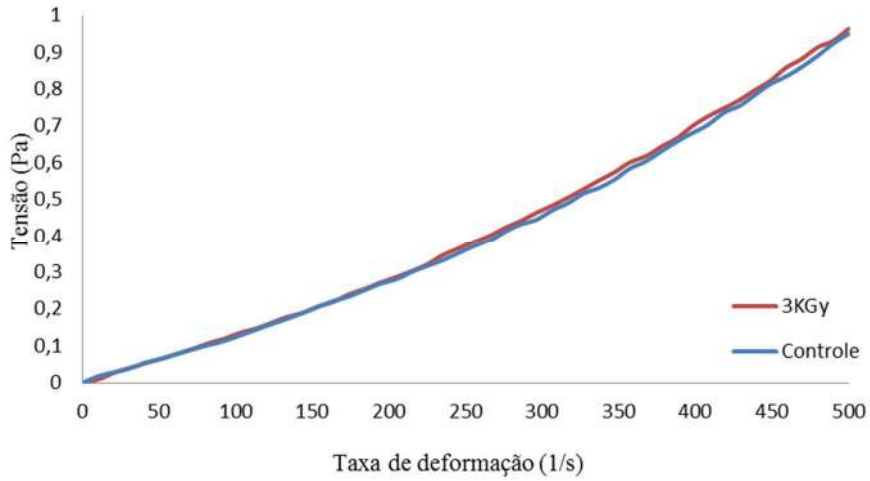


Figura 2. Curva de escoamento da Spirulina Irradiada a 3kGy e o controle (0kGy).

Foi observada a viscosidade aparente, calculada pela taxa de deformação a 500^{-s} e os parâmetros reológicos estimados da equação da Lei de Potencia, onde n é o índice de escoamento e K é o coeficiente de consistência, para soluções de Spirulina. O comportamento reológico é estatisticamente diferente. Constata-se que o modelo se ajustou muito bem as curvas de escoamento com valores de coeficiente de correlação alto, acima de 0,9.

Tabela 2. Índice de escoamento (n), coeficiente de consistência (K) e viscosidade aparente (μ) das soluções de Spirulina submetida à irradiação gama.

Trat(kGy)	**n**	**K (Pa.s^{n})**	**μ(Pa.s)**	**R^2**
0	$1,0762^{b}$	$0,0010^{a}$	$0,0016^{b}$	$0,9925^{b}$
3,0	$1,1066^{a}$	$0,0009^{b}$	$0,0017^{a}$	$0,9944^{a}$

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$)

O tratamento de 3kGy apresentou índice de escoamento (n) maior do que o controle (0kGy), porém este obteve maior coeficiente de consistência (K). A viscosidade aparente (μ), da amostra irradiada (3kGy) foi maior que a amostra controle (0kGy). Segundo Santos (2015) o coeficiente de consistência é um indicador da natureza viscosa do sistema, mostrando o grau de

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

resistência do fluido ao escoamento. O índice de escoamento é um indicador da natureza fluida do sistema, correspondendo à inclinação da curva de Tensão pela Taxa de deformação (figura 2).

A viscosidade diminuiu com o aumento da taxa de deformação, depois de uma redução acentuada, a viscosidade mudou ligeiramente e tornou-se constante em tensões de cisalhamento mais altas (Figura 3). Se comportando como fluido não newtoniano dilatante devido a soluções de Spirulina serem uma suspensão cujas partículas constituintes são irregulares e não se orientam facilmente. As suspensões podem apresentar o comportamento dilatante devido à ruptura de estruturas formadas durante o escoamento a partir de uma taxa de deformação crítica (Barnes, 2000). Esse comportamento também foi evidenciado pela tabela 2, com índice de escoamento maior que um (n>1).

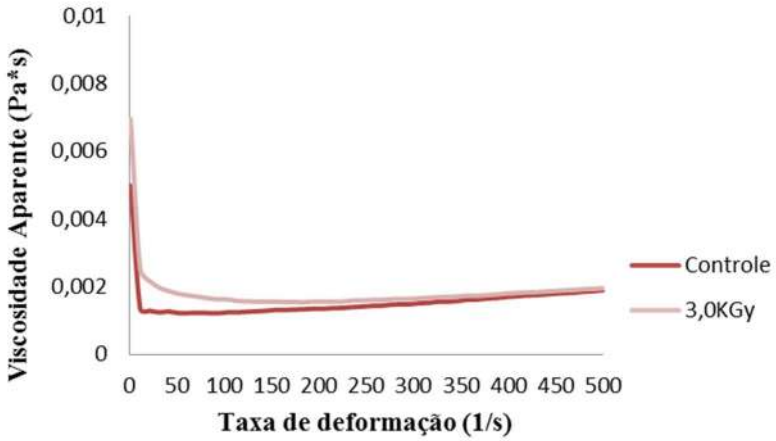


Figura 3. Comportamento das soluções de Spirulina submetidas à radiação gama.

Santos (2012), observou um comportamento dilatante das suspensões, dentro de um intervalo de valores para a taxa de deformação e para a concentração de biomassa dos cultivos, de *Scenedesmus acuminatus* BR003. Lira (2011), analisou o comportamento reológico da cultura de microalga nativa *Chlorella* sp. durante o cultivo em meio com baixo teor de nitrogênio e evidenciou um comportamento não newtoniano dilatante. Assim, de acordo com Lahoud; Campos (2010), esse comportamento é típico de suspensões contendo grandes quantidades de sólidos insolúveis suspensos e nestas substâncias cada partícula de sólido disperso está rodeada de veículo, o qual preenche os espaços entre as partículas.A Figura 4 demonstra o gráfico obtido da viscosidade aparente pela temperatura das soluções de Spirulina irradiada. Na Figura 5 construímos o gráfico de lnμ pelo inverso da temperatura (1/T) das soluções de Spirulina irradiada.

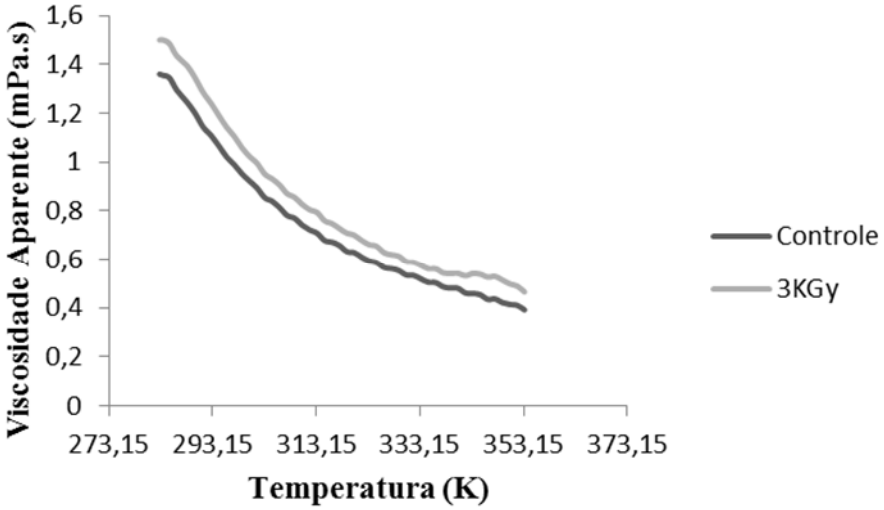


Figura 4. Viscosidade Aparente X Temperatura(K).

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

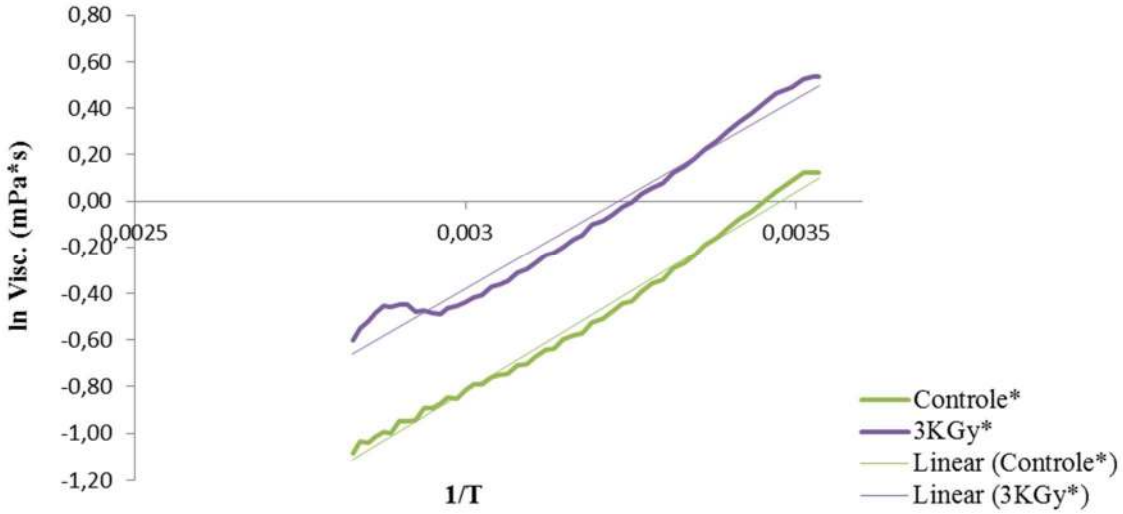


Figura 5. Gráfico de lnμ X 1/T – de acordo com a equação de Arrhenius.

Logo, na Tabela 3 foram relacionados os resultados obtidos pelo gráfico da figura 5, onde se analisou a equação de Arrherius, através da análise de regressão linear. Com os dados da tabela encontramos os valores de energia de ativação de fluxo (E_a) e do parâmetro da viscosidade (μ) para as soluções de Spirulina irradiada, demonstrados na tabela 4.

Tabela 3. Valores de E_a/R; $ln\mu_\infty$ e R^2 para os tratamentos da Spirulina.

Trat(kGy)	E_a/R	$ln\mu_\infty$ (mPa.s)	R^2
0	1721,1[a]	-5,9829[b]	0,9915[a]
3,0	1636,9[b]	-5,2912[a]	0,9707[b]

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si (p < 0,05).

Observou-se na Tabela 4, que em 3kGy, a energia de ativação é menor em comparação com 0kGy, porém apresenta maior viscosidade aparente. Os resultados encontrados por Canciam (2012) sugerem que quanto maior a energia de ativação, a viscosidade é relativamente mais sensível à mudança de temperatura. De forma análoga pudemos dizer que o tratamento 3kGy demonstrou-se menos sensível à mudança de temperatura. A energia de ativação também esta correlacionada com a energia necessária para mover um mol de dado material sob o cisalhamento (Denari, 2014). E quanto maior o valor de viscosidade aparente encontrada, maior será a barreira potencial que uma molécula terá que vencer a fim de mudar para uma vacância adjacente (Canciam, 2012). E nesse sentido, observando a viscosidade aparente da figura 4 pudemos constatar que em todas as temperaturas, o valor da viscosidade de 3kGy é maior em relação ao controle (0kGy). O coeficiente de correlação (R^2) nos fornece o grau de relacionamento linear, mostrando a qualidade dos pontos ajustados.

Tabela 4. Valores da energia de ativação de fluxo e do parâmetro μ_∞.

Trat(kGy)	E_a (kJ.mol^{-1})	μ_∞ (mPa.s)
0	14,0097[a]	0,0025[b]
3,0	13,3244[b]	0,0050[a]

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si (p < 0,05).

Discussão

A estrutura dos grânulos de Spirulina apresentou ligeira diferença visual nas superfícies, em relação às doses de radiação empregada nas amostras. Logo, a radiação gama, não interferiu na morfologia dos grânulos de Spirulina, preservando sua forma e o tamanho. Costa (2014) e Larrosa, *et al* (2015) verificaram de forma similar a morfologia da Spirulina seca não irradiada, durante a avaliação da secagem da microalga, observando

que a estrutura se manteve rígida, heterogênea, irregular e com rugosidade.

Foi evidente a diferença de cor em função das doses de radiação gama estudadas, onde a maior dose de radiação aplicada apresentou maior diferença de cor. De acordo com Tezotto (2015) a irradiação de alimentos pode resultar na desnaturação de proteínas, devido a reações químicas que provocam a ruptura nos resíduos de aminoácidos sulfurados de cadeias de proteínas, induzida por radicais hidroxilas e elétrons que causam alterações na estrutura da proteína. Estudos demonstraram que com as ficobiliproteínas (Antelo, 2007), presentes na Spirulina, podem ocorrer uma descoloração dependendo dos processos utilizados e que uma descoloração da ficocianina provavelmente é relacionada à desnaturação da cadeia proteica. Liu, *et al* (2012), confirma que a irradiação na Spirulina em pó afeta estruturas secundárias de proteínas, grupo de ácido carboxílico e seus ésteres. Assim a mudança de cor pode ser compreendida, possivelmente, como uma descoloração proveniente de desnaturação proteica.

A reologia se apresenta como uma técnica importante no controle de qualidade dos produtos alimentícios. A viscosidade medida é um parâmetro que determina a tendência de um fluido de escoar. Ela se faz necessária para o dimensionamento de processos e equipamentos dentro da indústria, determinar a funcionalidade do ingrediente para desenvolvimento de novos produtos, dentre outros aspectos (Tonelli, *et al*, 2005)

A Spirulina se comportou como um fluido não newtoniano dilatante. Um comportamento parecido em relação a outras microalgas (Lira, 2011; Santos, 2012) sobre efeito da tensão pela taxa de deformação variada. Apesar dos dois tratamentos serem diferentes estatisticamente, na Figura 2 se observou que as curvas de escoamento se apresentaram aproximadamente uma sobreposta a outra. Podendo dizer que o comportamento do fluido, com radiação gama de 3kGy praticamente não se diferenciou, devido às tensões observadas pelas taxas aplicadas.

A dose radiação gama de 3kGy praticamente não teve influência na viscosidade aparente (Tabela 2). Os valores de energia de ativação obtidos não foram afetados pelo tratamento da Spirulina, sendo de difícil comparação pela ausência na literatura de valores experimentais para energia de ativação de fluxo da microalga Spirulina.

Chronakis (2001) isolou os materiais proteicos da Spirulina e verificou, em concentração de 2%, que a viscosidade do isolado diminuiu quando a temperatura foi aumentada Demonstrando que a proteína de Spirulina é sensível à temperatura e uma desnaturação irreversível pode ocorrer e alterar a viscosidade em temperaturas abaixo de que 60°C. Essa afirmação é constatada na Figura 4, onde tanto para 0kGy quanto para 3kGy, houve a diminuição da viscosidade pelas temperaturas aplicadas.

Conclusão

As doses de radiação gama aplicadas não evidenciaram diferenças significativas nas alterações estruturais e nas propriedades físico-químicas da Spirulina.

Referências

ABOMOHRA, A. E; EL-SHOUNY, W.; SHARAF, M.; ABO-ELENEEN, M. **Effect of Gamma Radiation on Growth and Metabolic Activities of *Arthrospira platensis*.** Brazilian Archives of Biology and Technology. v.59, Jan/Dec, 2016.

ANDRADE, M. R; CAMERINI, F. V; COSTA, J. A. V. **Perda química de carbono e cinética do crescimento celular em cultivos de *Spirulina.*** Química Nova, v. 31, nº8, p.2031-2034, 2008.

ANTELO, F. S**. Purificação de ficocianina de Spirulina platensis através de sistema aquoso bifásico e caracterização cinética da desnaturação térmica**. 2007. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2007.

BARNES, H. A. **A Handbook of Elementary Rheology.** Aberystwyth: University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 2000, p.200.

BATISTA, A. P; GOUVEIA, L.; BANDARRA, N. M.; FRANCO, J. M.; RAYMUNDO, A. **Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products**. Algal Research, v.2, p.164–173, 2013.

BENELHADJ, S.; GHARSALLAOUI, A.; DEGRAEVE, P.; HAMADI, A.; GHORBEL, D. **Effect of pH on the functional properties of Arthrospira (Spirulina) platensis protein isolate.** Food Chemistry, v.194, p.1056–1063, 01 de mar. de 2016.

CANCIAM, C. A. **Estimativa da energia de ativação de fluxo dos óleos lubrificantes SAE 20W30, SAE20W40 E SAE20W50.** Revista de

Ciências Exatas Aplicadas e Tecnológicas da Universidade de Passo Fundo, UPF, v.4, n.2, p42-50, 2012.

CHRONAKIS, I. S**. Gelation of Edible Blue-Green Algae Protein Isolate (Spirulina platensis Strain Pacifica): Thermal Transitions, Rheological Properties, and Molecular Forces Involved**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.49, p.888-898, 2001.

COSTA, B. R. **Secagem da microalga *SPIRULINA* em camada delgada utilizando secador com bomba de calor.** 2014. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

DENARI, N. S. M. **Biomateriais binários de quitosana-amido e quitosana-gelatina em L-ácido lático.** 2014. f 137. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014.

FERREIRA, **Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons.** Ciência e Agrotecnologia, v.38, n.2, p. 109-112. 2014.

GIAP, S. G. E. **The Hidden Property of Arrhenius-type Relationship: Viscosity as a Function of Temperature.** Journal of Physical Science, v.21, n.1, p.29–39, 2010.

LAHOUD, M.H; CAMPOS, R. **Aspectos teóricos relacionados à reologia farmacêutica.** Visão Acadêmica, Curitiba, v.11, n.1, jan/jun de 2010.

LARROSA, A. P. Q; COMITRE A. A.; VAZ L. B.; PINTO L. A. A**. Efeito da ruptura celular em diferentes métodos de secagem no conteúdo de ficocianina da Arthrospira (Spirulina).** In: XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 2015, São Carlos-SP, Anais do XXXVII ENEMP, 2015. v. 2, n. 1, p.1766-1775.

LIRA, R. A. **Estudo do rendimento da microalga nativa *Chlorella* sp. visando a obtenção de biocombustível.** 2011. 119f. Dissertação (Doutorado) – Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

LIU, H. J.; XU, C. H.; ZHOU, Q.; WANG, F.; LI, W. M.; HA, Y. M.; SUN, Q. S. **Analysis and identification of irradiated Spirulina powder by a three-step infrared macro-fingerprint spectroscopy.** Radiation Physics and Chemistry, v.85, p.210-217, april, 2013.

MINOLTA. **Precise Color Communication: Color Control from Perception to Instrumentation.** Konica Minolta Sensing, INC., 2007.

MOUSSA, H. R; ISMAIEL, M.M.S.; SHABANA, E.F.; GABR, M.A.; EL-SHAER, E.A. **The Role of Gamma Irradiation on Growth and Some Metabolic Activities of *Spirulina platensis***. Journal of Nuclear Technology in Applied Science, v.3, n.2, p.99-107, 2015.

SANTOS, M.G. **Avaliação de estabilidade do extrato hidrossolúvel de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*).** 2015. 75f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SANTOS, M. O. **Comportamento reológico e viabilidade celular de cultivos da microalga *Scenedesmus acuminatus* submetidos a tensões hidrodinâmicas.** 2012. 64f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SHABANA, E. F; ALI GABR, M. A.; MOUSSA, H. R.; EL-SHAER, E. A.; ISMAIEL, M. M. S.; **Biochemical composition and antioxidant activities of Arthrospira (Spirulina) platensis in response to gamma irradiation.** Food Chemistry, v.214, p.550–555, 01 de Jan. de 2017.

SILVA, A. L. F; ROZA, C. R; **Uso da Irradiação em Alimentos: Revisão**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v.28, n.1, p.49-56, jan.\jun. Curitiba, 2010.

TEZOTTO, U. J. V; SILVA, P. P. M.; KLUGE, R. A.; SPOTO, M. H. F. **Radiação Gama em Produtos de Origem Vegetal.** Revista Virtual Química; v.7, n.1, p.267-277, 2015.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. **Review – Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p.181-204, 2005.