

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS HENRIQUE
SANTILLO
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CINÉTICA DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE *SPIRULINA PLATENSIS*

Pâmella de Carvalho Melo

ANÁPOLIS – GO
FEVEREIRO/2016

CINÉTICA DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE *SPIRULINA* *PLATENSIS*

PÂMELLA DE CARVALHO MELO
Engenheira Agrícola

ORIENTADOR: PROF. D.S. IVANO ALESSANDRO DEVILLA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRA.

ANÁPOLIS – GO
FEVEREIRO/2016

MELO, Pâmella de Carvalho.

Cinética de secagem e armazenamento de *Spirulina platensis* – 2016.

78 f. il.

Orientador: Prof. DSc. Ivano Alessandro Devilla.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás. Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo. Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Engenharia Agrícola, 2016.

Bibliografia.

1. pós-colheita. 2. microalga. 3. proteína. I. Título.

**CINÉTICA DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE *SPIRULINA*
*PLATENSIS***

Por

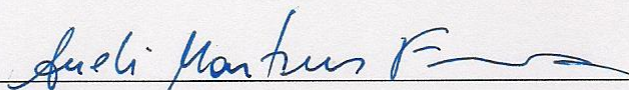
Pâmella de Carvalho Melo

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRA EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

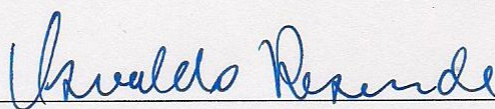
Aprovado em 26/02/2016



Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla
Orientador
UEG/CCET



Profa. Dra. Sueli Martins de Freitas Alves
Membro
UEG/CCET



Prof. Dr. Osvaldo Resende
Membro
IFG/CÂMPUS RIO VERDE

À Deus,
aos meus queridos pais.
Dedico com muito amor, respeito e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui onde estou hoje, inúmeras pessoas fazem parte dessa vitória, para que isso fosse possível acontecer, desde do: “Faça! Você consegue” até ao “Calma! Eu vou te ajudar” ditos nos momentos mais desesperadores desta jornada.

Primeiramente tenho que agradecer a Deus! Pois só ele me dá forças diariamente e sabe meu verdadeiro caminho que devo traçar, com fé e perseverança. Tudo posso naquele que me fortalece.

Aos meus pais, que sempre acreditaram no meu sucesso, na força e garra de vencer na vida a cada degrau nessa vida. Por toda ajuda e carinho comigo.

A minha irmã pelas críticas construtivas e apoio.

Ao meu namorado, por toda ajuda e companheirismo. Pela ajuda nas realizações destes experimentos e apoio total em todas as fases.

Ao meu orientador Professor Dr. Ivano Alessandro Devilla, por todas suas inúmeras orientações a qualquer horário tirando todas as dúvidas e mostrando soluções. Pelo aprendizado que me passou nesses quase cinco anos de iniciação científica e pós-graduação, agregando valores que sem dúvida não teria se não tivesse passado por tudo isso.

Aos amigos que se fizeram presente, Elson Júnior, Ródney Couto, Túlio Natalino, Vanesa Reis, Zeuxis Rosa, Pedro Tolentino, Danilo Gomes, Arlindo Modesto, Mateus Moraes, Carolina Sena, Kari Katiele, que tivemos sempre muito companheirismo e várias risadas juntos.

Aos colegas de trabalho, Waldeir Costa e todos os técnicos dos laboratórios de química pela grandiosa ajuda durante a execução dos experimentos, e à Eliete Fernandes pela colaboração e pelas palavras de ânimo.

Ao produtor Thierry Conroi pela disponibilização das amostras a serem utilizadas em todo o trabalho.

Aos membros da banca pela disponibilidade em corrigir a dissertação.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

A Universidade Estadual de Goiás pelo curso de Engenharia Agrícola e aos excelentes professores, pelo esforço e dedicação, em tornar realidade o Mestrado em Engenharia Agrícola.

Muito obrigada!

O que é nascido de Deus vence o mundo; e esta é a vitória que vence o mundo:

a nossa fé.

1 João 5:4

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1	
REVISÃO DE LITERATURA	18
1.1. <i>Spirulina platensis</i>	18
1.1.1. Histórico	18
1.1.2. Cultivo da <i>Spirulina Platensis</i>	19
1.1.3. Composição nutricional	21
1.1.4. Cor	21
1.2. SECAGEM	22
1.2.1. Importância e características da secagem	22
1.2.2. Secagem da <i>Spirulina Platensis</i>	23
1.2.3. Cinética de secagem	24
1.2.4. Teoria da Difusão	26
1.3. ARMAZENAMENTO	27
1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO 2	
CINÉTICA DE SECAGEM DA <i>Spirulina Platensis</i>	36
2.1. INTRODUÇÃO	36
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
2.4 CONCLUSÕES	49
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 3	
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM NO ARMAZENAMENTO DA <i>Spirulina platensis</i>	54
3.1 INTRODUÇÃO	54
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.2.1. Experimento 1	55
3.2.2. Experimento 2	58
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.3.1. Experimento 1	59

3.3.2. Experimento 2.....	62
3.4 CONCLUSÕES.....	73
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.	40
TABELA 2. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros relativo (P,%), erros médio estimado (SE, decimal) para modelos analisados, para a secagem da <i>Spirulina platensis</i> nas temperaturas 30 e 40 °C.	43
TABELA 3. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros relativo (P, %), erros médio estimado (SE, decimal) para modelos analisados, para a secagem da <i>Spirulina platensis</i> nas temperaturas 50 e 60 °C.	43
TABELA 4. Coeficientes dos modelos matemáticos escolhidos pelo critério de seleção dos estimadores estatísticos ajustados da curva de secagem da <i>Spirulina platensis</i> , para as temperaturas estudadas.	45
TABELA 5. Coeficiente de difusão efetivo da <i>Spirulina platensis</i> nas temperaturas estudadas. .	46
TABELA 6. Coeficientes de difusão efetivo para a secagem de diversos produtos agrícolas.	47
TABELA 7. Energia de ativação para a secagem de diversos produtos agrícolas.	49
TABELA 8. Valores médios e desvios das variáveis analisadas depois da secagem, e em diferentes temperaturas (30, 40, 50, e 60 °C) da <i>Spirulina platensis</i>	59
TABELA 9. Resumo da análise de variância das variáveis estudadas, expressa pelo quadrado médio, da <i>Spirulina platensis</i> em diferentes temperaturas de secagem e tempos de armazenamento.	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Estrutura da <i>Spirulina platensis</i>	18
FIGURA 2. Produção de <i>Spirulina platensis</i> em tanques cobertos por estufa.	20
FIGURA 3. Ilustração do sistema CIELAB.....	22
FIGURA 4. Curvas típicas de secagem.....	25
FIGURA 5. (a) Amostras filtradas fornecidas pela Brasil Vital; (b) As amostras colocadas no equipamento para serem prensadas em forma de pellets; (c) Amostras em forma de pellets cilíndricos longos prontas para serem utilizadas.	38
FIGURA 6. (a) Amostras para determinação do teor de água da <i>Spirulina platensis</i> ; (b) Estufa utilizada para a determinação do teor de água da <i>Spirulina platensis</i>	38
FIGURA 7. (a) Estufa com circulação forçada de ar; (b) Bandejas removíveis de aço com fundo telado feito de lã de vidro; (c) Termo-higrômetro digital Cycloar; (d) Balança semi-analítica com precisão $\pm 0,01\text{g}$	39
FIGURA 8. Pontos experimentais de secagem da <i>Spirulina platensis</i> , para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C.....	42
FIGURA 9. Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) da <i>Spirulina platensis</i> , nas temperaturas 30, 40, 50 e 60 °C.....	46
FIGURA 10. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo, em função da temperatura do ar, durante a secagem de <i>Spirulina platensis</i>	48
FIGURA 11. (a) Colorímetro ColorQuest XE. (b) Ilustração do sistema CIELAB.	57
FIGURA 12. (a) Microcentrífuga, MiniSpin. (b) Espectrofotômetro UV- 2000A.	58
FIGURA 13. Análise microscópica da <i>Spirulina platensis</i> testemunha (in natura).....	61
FIGURA 14. Análise microscópica da <i>Spirulina platensis</i> após a secagem em diferentes temperaturas: (a) Temperatura de 30 °C; (b) Temperatura de 40 °C; (c) Temperatura de 50 °C; (d) Temperatura de 60 °C.....	61
FIGURA 15. Temperatura média e umidade relativa média em condições de ambiente de armazenamento, em Anápolis-Goiás, durante o armazenamento de <i>Spirulina Platensis</i>	62

FIGURA 16. Teor de água da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.....	64
FIGURA 17. Teor cinzas da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.....	66
FIGURA 18. Proteína bruta da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.	67
FIGURA 19. Clorofila da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.	68
FIGURA 20. Parâmetro de luminosidade L da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.	70
FIGURA 21. Parâmetro de cor –a* da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.	71
FIGURA 22. Parâmetro de cor b* da <i>Spirulina platensis</i> , em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.	72

RESUMO

A *Spirulina platensis* é uma cianobactéria multicelular fotossintetizante de coloração verde-azulada, e vem sendo utilizada em vários países na aquicultura, como alimento para consumo humano e animal. A *Spirulina platensis* foi fornecida pela empresa Brasil Vital, localizada em Anápolis- GO. O objetivo do primeiro capítulo foi determinar e modelar a cinética de secagem da *Spirulina platensis* em diferentes temperaturas (30, 40, 50 e 60 °C). Foi adotado o DIC, e os tratamentos foram as temperaturas de secagem. O teor de água inicial do produto foi determinado de acordo com a norma analítica da AOAC. O produto foi submetido à secagem em estufa nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. As amostras foram colocadas em bandejas removíveis de aço inoxidável com fundo telado, em três repetições. A temperatura e UR do ar ambiente foram monitoradas por meio de um termo-higrômetro. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente até massa constante. Posteriormente, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5%. Foram ajustados modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, utilizando o Software Statística 12.0. O coeficiente de difusão efetivo foi obtido por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida. Pode-se concluir que: o tempo necessário para a *Spirulina platensis* atingir o massa constante, foi de 7,00; 4,58; 3,83 e 3,25 horas, para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente; o modelo recomendados para prever o fenômeno de secagem da *Spirulina platensis* foram o modelo matemático Midilli para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, e o modelo Aproximação da Difusão para a temperatura de 60 °C; o coeficiente de difusão aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores entre $3,343 \times 10^{-8}$ a $14,881 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 30 a 60 °C; e apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida de $39,52 \text{ kJ.mol}^{-1}$. No segundo capítulo as amostras foram secas nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, em estufa até atingirem o teor de água ideal de $\pm 8\%$ b.u. Em seguida foram trituradas e colocadas em embalagens de polietileno. As análises realizadas foram: o teor de proteína bruta, foi determinado utilizando o método de Kjeldahl, o teor de cinzas foi determinado pela diferença de massa pela mufla, na análise de cor foi verificado os valores L, a*, b*, utilizando-se colorímetro ColorQuest XE, as análises de Clorofila a, foram realizadas por meio da metodologia específica com adaptações. E foram realizados dois experimentos. Experimento 1: analisou o efeito da secagem da *Spirulina platensis*, nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. Foram feitas análises da testemunha (produto in natura), e o tempo 0 (depois da secagem em diferentes temperaturas). Foi aplicado teste de Dunnet utilizando o software Assistat 7.7. Também foram feitas análises microscópica da *Spirulina platensis* utilizando-se o microscópio Leica ICC50. Experimento 2: analisou o efeito da secagem da *Spirulina platensis*, no armazenamento durante 6 meses. Foi utilizado o DIC, em esquema fatorial (4 x 7), sendo quatro temperaturas de secagem (30, 40, 50 e 60 °C), e 7 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). Os dados experimentais foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% por meio do Software Statística 12.0. A análise dos resultados permitiu concluir que: na faixa de temperatura de 40 a 50 °C ocorreram as menores porcentagens de cinzas e maiores no teor proteico, houve aumento da quantidade de clorofila com a elevação da temperatura de secagem, em relação aos parâmetros de cor, foi observado um clareamento da *Spirulina platensis*.

Palavras – chave: pós-colheita, microalga, proteína.

ABSTRACT

The *Spirulina platensis* is a multicellular photosynthetic cyanobacteria blue -green coloring, and has been used in several countries in aquaculture as food for human and animal consumption. The *Spirulina platensis* was provided by the company Vital Brazil, located in Anápolis- GO. The objective of the first chapter was to determine and model the drying kinetics of *Spirulina platensis* in different temperatures (30, 40, 50 and 60 °C). It adopted a completely randomized design and treatments were drying temperatures. The initial water content of product was determined according to the analytical standard AOAC. The product was subjected to oven drying at temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C. The samples were placed on removable stainless steel trays with screenhouse bottom, in three repetitions. The temperature and RH of ambient air were monitored by means of a thermo-hygrometer. During the drying process, the trays with samples were weighed periodically until constant weight. Later, the data were submitted to analysis of variance by F test at 5%. Mathematical models were fitted to the experimental data of drying, using Statistica Software 12.0. The effective diffusion coefficient was obtained by fitting the mathematical model of liquid diffusion. It can be concluded that: the time required for *Spirulina platensis* achieve constant mass was 7.00; 4.58; 3.83 and 3.25 hours for temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C, respectively; recommended the model to predict the drying phenomenon of *Spirulina platensis* were Midilli the mathematical model for the temperatures 30 , 40 and 50 °C, and the diffusion approximation model for the temperature 60 °C; The diffusion coefficient has increased with the temperature increase, with values of 3.343×10^{-8} to $14.881 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for the temperature range 30 to 60 °C; and has an activation energy of liquid diffusion $39.52 \text{ kJ.mol}^{-1}$. In the second chapter the samples were dried at temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C in an oven with forced air circulation until they reach the great water content of $8\% \pm \text{w.b.}$ They were crushed and placed in polyethylene packages. The analysis were carried out: the crude protein content was determined using the Kjeldahl method, an ash content was determined by weight difference by the muffle, the color analysis was verified the values L, a*, b*, using colorimeter ColorQuest XE, the analysis of Chlorophyll-a, it was carried out through specific methodology adaptations. Two experiments were conducted. The Experiment 1: analyzed the effect of drying of *Spirulina platensis* at temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C. Witness analyzes were performed (product in nature), and the time 0 (after drying at different temperatures). It was applied Dunnet test using Assistat 7.7 software. Microscopic analyzes were also made *Spirulina platensis* using the Leica ICC50. The Experiment 2: analyzed the effect of drying of *Spirulina platensis* in storage for 6 months. The completely randomized design was used in a factorial designs (4 x 7), four drying temperatures (30, 40, 50 and 60 °C) and 7 storage periods (0, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days). The experimental data were subjected to analysis of variance by F test at 5% through Software Statistica 12.0. The results concluded that: in the temperature range of 40 to 50 °C occurred smaller percentages of ash and higher in protein content, an increase in the amount of chlorophyll-a with increasing drying temperature, for the color parameters, a whitening of *Spirulina platensis* was observed.

Keywords: Postharvest, micro-algae, protein.

INTRODUÇÃO GERAL

A *Spirulina platensis* (*Arthrospira* sp.) é uma cianobactéria filamentosa de cor verde-azulada pertencente à família Cyanophyta. Cresce em águas alcalinas e ricas em sais minerais em lagos da África, Ásia, América do Sul e do Norte (RAMIREZ-MORENO e OLVERA-RAMIREZ, 2006).

ANDRADE e COSTA (2008) comentam que a spirulina são microrganismos fotossintéticos com requerimentos nutricionais relativamente simples, sendo: os nitratos, a ureia e os sais de amônio. A biomassa pode ser empregada para obtenção de biocompostos, como suplemento alimentar humano, alimento animal ou fonte de biocombustíveis (MORAES, 2013).

A *Spirulina platensis* destaca-se principalmente por apresentar biomassa com composição bioquímica diversificada, como: compostos nutricionais e pigmentos naturais. Os pigmentos naturais são compostos por: ficobilinas (azul), carotenoides (laranja) e clorofilas (verde), por isso se deve a coloração verde-azulada da spirulina. Dentre as ficobilinas obtidas a partir da spirulina, uma das mais abundantes é a ficocianina, que dependendo do seu grau de pureza, possui diferentes e importantes aplicações. Na composição química da microalga spirulina têm-se um alto teor de proteínas, carboidratos, vitaminas e sais minerais, dentre outros fotonutrientes, como o ácido graxo essencial (destacando o ácido γ -linolênico), antioxidantes, sulfolípides, glicolípides e polissacarídeos (RAMIREZ-MORENO e OLVERA-RAMIREZ, 2006; WALTER, 2011; ARRUDA et al., 2013).

A *Spirulina platensis* é aprovada no Brasil como complemento nutricional, não podendo ser substituído pelo alimento, segundo a Portaria nº 19 de 15 de março de 1995 da ANVISA, sendo um produto elaborado com a finalidade de complementar a dieta cotidiana. A spirulina contém uma recomendação máxima diária de consumo de 1,6g indivíduo⁻¹, não podendo ultrapassar este valor (BRASIL, 1995; BRASIL, 2009).

Devido ao seu alto valor nutricional e a importância da spirulina para a alimentação humana, como sendo um alimento promotor da saúde, vários pesquisadores tem desenvolvido trabalhos a fim de obter um conhecimento amplo sobre a microalga spirulina, dentre eles: GONÇALVES et al.(2014) que estudaram a cinética de purificação de biopolímeros extraídos da microalga spirulina; INSOGNIA e PINTO (2014), avaliaram a extração de lípidios a partir da biomassa seca da microalga *Spirulina* sp. utilizando espectroscopia de infravermelho FT-IR; SILVA et al.(2014), analisaram as propriedades funcionais protéicas da *Spirulina* sp. seca em leite de jorro; KHAZAIY et al. (2015), que estudaram a formulação de um produto inovador de kiwis com alta durabilidade e seu enriquecimento com algas *Spirulina platensis* investigando algumas

propriedades físico-químicas e sensoriais do produto; ZHANG et al. (2015), que estudaram a extração e separação de ficocianina de spirulina usando dois tipos de sistemas aquosos; SHALABY et al. (2015), estudaram algas como a spirulina, como uma fonte natural de compostos ativos antioxidantes.

A *Spirulina platensis* tem um curto ciclo de vida e uma alta taxa de crescimento específico, ela possui filamentos arranjados na forma de uma espiral alongada, o que facilita sua “colheita” e filtração utilizando peneiras, tornando-se viável a sua produção e comercialização. Tem como, principais fatores que afetam o crescimento da biomassa de spirulina: os nutrientes, o pH, o efeito da temperatura, o efeito da distribuição e intensidade luminosa e o efeito da agitação. Quando os nutrientes, o pH e a temperatura não estão limitando o crescimento da biomassa, o efeito da intensidade/distribuição luminosa torna-se o fator dominante (SERENOTTI et al., 2004).

A secagem é uma operação unitária que tem sido utilizada para obtenção de biomassa a fim de aumentar a vida útil, minimizando o crescimento microbiano e as deteriorações por reações químicas. Ainda, facilita o transporte e estocagem pela redução de massa e volume (OLIVEIRA et al., 2010).

Na fase de pós-colheita, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade do produto considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças físicas e químicas que ocorrem nos produtos agrícolas durante o armazenamento. No entanto, durante a secagem, em condições de temperatura e umidade relativa do ar com temperaturas elevadas, a qualidade dos produtos pode ser comprometida negativamente (ALMEIDA et al., 2013).

Há uma grande limitação de informações teóricas sobre os efeitos imediato e latente da combinação da temperatura, teor de água inicial e teor de água final, durante o processo de secagem, principalmente de produtos classificados como “novos alimentos”, como no caso da spirulina. Sendo assim, é de fundamental importância à simulação e à obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a secagem, que possam influenciar em sua qualidade (BROOKER et al., 1992; ANDRADE et al., 2006). Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que represente satisfatoriamente a perda de água do produto durante o processo de secagem (BERBERT et al., 1995).

Dentre os modelos teóricos que são aplicados ao processo de secagem, o modelo da difusão líquida é o mais intensamente investigado. Este modelo é aplicado em processos de secagem de um sólido à taxa decrescente, considerando, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que descreve que o fluxo de massa por unidade de área é

proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002). O mecanismo por meio do qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas é complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos (COSTA et al., 2011).

O armazenamento é uma etapa da pós-colheita de fundamental importância econômica, a fim de garantir a oferta e a estocagem do produto mantendo a qualidade, podendo ser viável a distribuição do produto durante todo ano, atendendo o mercado consumidor. Sendo uma excelente alternativa para atender à logística de produção, transporte e comercialização (CHAVES et al., 2012).

O processo de secagem tem papel significativo nas perdas da qualidade do produto, uma vez que seu manejo incorreto ocasiona deterioração do produto, ao longo do armazenamento. A temperatura do ar secagem e, conseqüentemente, a taxa de secagem, podem exercer efeito sobre a qualidade final do produto tendo influência no armazenamento (FARONI et al., 2006).

Em face do exposto, é importante avaliar aspectos que influenciam no processamento de produtos classificados como “alimentos novos”, como no caso da *Spirulina platensis*, para que seja mantida a qualidade do produto até o consumidor final. Este trabalho objetivou o estudo da cinética de secagem e o armazenamento da *Spirulina plantesis* durante seis meses.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

A questão da desnutrição proteica mundialmente é vista com grande preocupação pelos órgãos públicos de saúde, especificamente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Nesses países a base da economia é agrícola e, apesar de ter grande ajuda da tecnologia, ainda há dificuldades no fornecimento de proteínas necessárias para a população.

1.1. *Spirulina platensis*

O gênero *Spirulina*, pertence à família Oscillatoriaceae, contida no grupo das cianobactérias filamentosas. É caracterizada por cadeias de células em forma de espirais (tricomos) moveis que giram ao redor do próprio eixo, cujos diâmetros celulares variam de 1 a 12 μm dependendo da espécie, Figura1 (RANGEL, 2000).

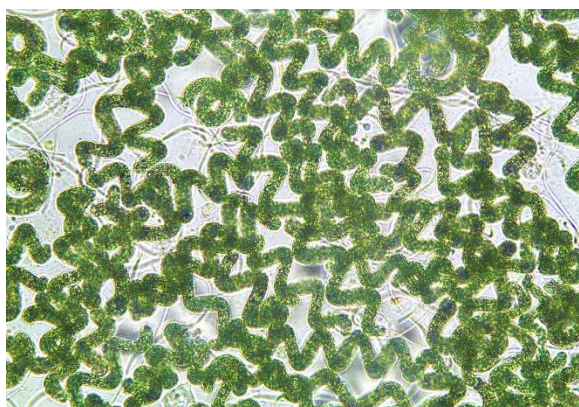


FIGURA 1. Estrutura da *Spirulina platensis*.

A *Spirulina platensis* é uma microalga fotossintética, multicelular e filamentosa de coloração verde-azulada, a qual vem sendo utilizada em muitos países na aquicultura, como alimento para consumo humano e animal, extração de pigmentos, produção de biocombustíveis assim como, remoção de poluentes. A *Spirulina platensis* é encontrada em ambientes alcalinos, sendo uma das mais produzidas no mundo, pois sua biomassa possui alto valor nutricional e agregado. Apresenta alto teor proteico e é rica em compostos bioativos, como aminoácidos essenciais, ácidos graxos, pigmentos e vitaminas. Um sistema de produção de biomassa microalgal depende de muitos fatores, entre eles, o desenvolvimento de um meio de cultivo economicamente viável (THAJUDDIN e SUBRAMANIAN, 2005; ROSA, 2008; ADIBA et al., 2011).

1.1.1. Histórico

Entre vários microrganismos já estudados a *Spirulina platensis*, cuja existência na Terra é datada de mais de 3500 anos, é considerada como um alimento promissor. A *Spirulina* devido ao seu alto teor proteico, vitaminas e minerais pode ser utilizada para o combate à desnutrição (DESMORIEUX e DECAEN, 2005).

Os Astecas que habitavam o México na região do Texcoco e os sul africanos que habitavam a região do lago Chad já utilizavam a *Spirulina platensis* como forma de alimentação. Esses lagos são naturalmente alcalinos, propiciando o desenvolvimento dessas cianobactérias, (OLIVEIRA, 2006).

A *Spirulina* sp., já é tradicionalmente utilizada como alimento em vários países, vem sendo produzida no México e Estados Unidos. No Japão, a ficocinina, um pigmento azul extraído deste microorganismo, tem sido utilizada como corante em alimentos (RANGEL, 2000).

Desde a década de 1970, *Spirulina platensis* é comercializada como um alimento seguro para o consumo humano e aprovada, para a nutrição humana, por vários órgãos governamentais, agências de saúde e outras associações em mais de 80 países. Baseados nas pesquisas sobre qualidade e segurança, realizados por décadas, muitos países e organizações têm estabelecido padrões de qualidade e segurança de *Spirulina* sp. Atualmente, mais de 70% de *Spirulina* spp. comercializadas se destinam ao consumo humano, principalmente para fins nutracêuticos (BELAY, 1997 e VONSHAK, 1997).

1.1.2. Cultivo da *Spirulina Platensis*

A produção em nível comercial de *Spirulina platensis* é feita quase que totalmente em tanques abertos ou cobertos por uma estufa (Figura 2), que necessitam de um baixo investimento inicial. Mas, em alguns países a microalga é cultivada em lagos e lagoas com características naturalmente alcalinas (ROSA, 2008).

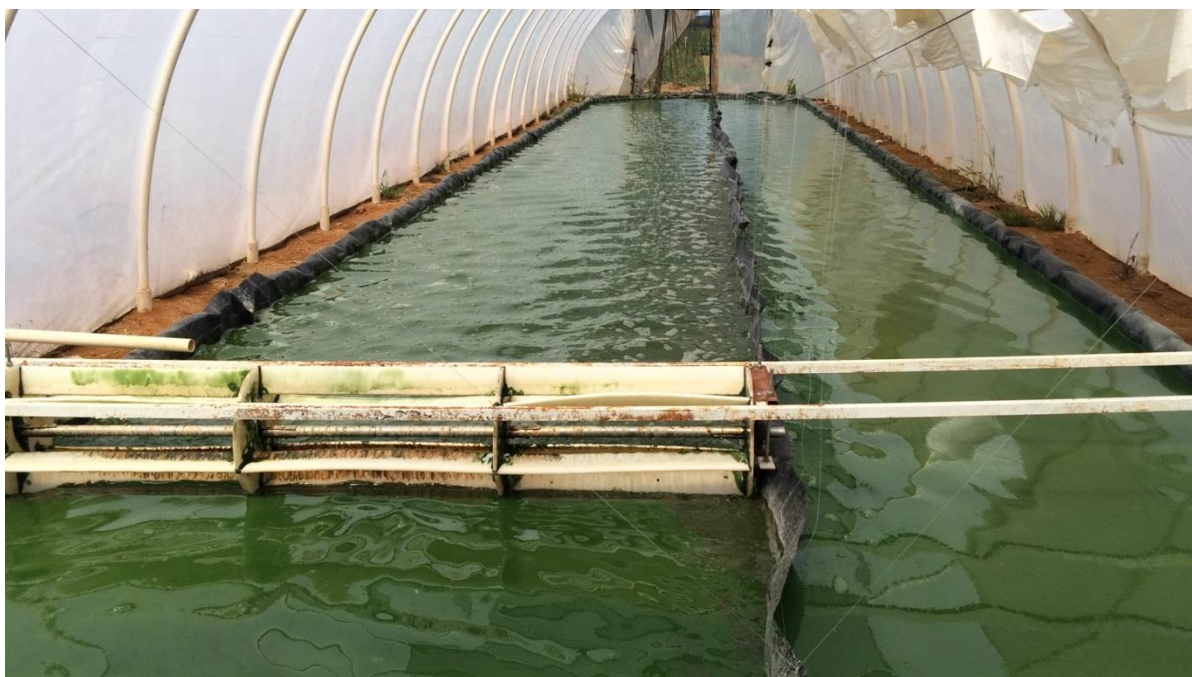


FIGURA 2. Produção de *Spirulina platensis* em tanques cobertos por estufa.

A produção da *Spirulina platensis* para o comércio em grande escala depende de fatores como o desenvolvimento de um sistema de cultivo econômico e viável. Há diversas considerações a respeito do sistema a ser utilizado que são de extrema importância, tais como: mão de obra, morfologia da microalga, água, energia, nutrientes, clima (para cultivos em condições não controladas) e o tipo de produto final (BOROWITZKA, 1999).

A utilização do cultivo da *Spirulina platensis* em meio sintético é um dos modos mais eficientes para a produção em grande escala, já que a microalga requer para seu crescimento alguns nutrientes que na maioria das vezes só são assimilados através do meio onde é produzida (ROSA, 2008).

O cultivo da *Spirulina platensis* ocorre em águas alcalinas e são mais produtivas sob valores de pH variando de 8 a 11. Ainda prevalece em meio aquoso com concentrações salinas superiores a 30 g L^{-1} , podendo suportar concentrações de até 270 g L^{-1} . O melhor desenvolvimento da *Spirulina platensis* se dá em ambientes em que as fontes minerais de carbono são os constituintes principais (carbonatos, bicarbonatos), além da presença de fósforo e nitrogênio (nitratos). Sendo a melhor temperatura para o crescimento na ordem de 30° C , utilizando a energia luminosa para seu desenvolvimento, entre 20 e 30 klx de intensidade luminosa (CIFERRI, 1983).

A *Spirulina platensis* pode se adaptar em diferentes condições do meio onde ela cresce, acarretado pela sua deficiência de nutrientes. Porém, as modificações no meio são prejudiciais na composição bioquímica da biomassa, principalmente a composição de proteínas, lipídios e pigmentos, tornando-a menos nutritiva (SÁNCHEZ et al., 2000).

1.1.3. Composição nutricional

A *Spirulina platensis* destaca-se principalmente por apresentar biomassa com composição bioquímica diversificada, como: compostos nutricionais e pigmentos naturais. Tendo como compostos nutricionais um alto teor de proteínas, carboidratos, vitaminas (sendo umas das fontes mais ricas de vitamina B₁₂) e sais minerais, dentre outros fotonutrientes, como o ácido graxo essencial (destacando o ácido γ -linolênico), antioxidantes, sulfolípidos, glicolípidos e polissacarídeos. Além da elevada concentração protéica, também contém compostos antioxidantes que possuem efeitos terapêuticos e anti-cancerígenos. Os pigmentos naturais são compostos por: ficobilinas (azul), carotenóides (laranja) e clorofilas (verde), por isso se deve a coloração verde-azulada da *Spirulina platensis*. Dentre as ficobilinas, uma das mais abundantes é a ficocianina, que tem sido empregado como corantes naturais em cosméticos e alimentos. Porém, a sua aplicação é frequentemente limitada pela sua instabilidade à umidade, luz e temperatura devido à degradação da fração protéica (SCHELDEMAN et al., 1999; ESTRADA, 2001; WALTER, 2011; CHAIKLAHAN et al., 2012).

A forma e otimização do processo de produção da *Spirulina platensis* pode influenciar na variação da composição centesimal. Henrikson (1994), avaliou amostras de *Spirulina platensis* e verificou em extrato seco, 65% de proteínas, 20% de carboidratos, 7% de minerais, 5% de lipídios e 3% de umidade. Babadzhanov et al. (2004), analisando a composição química da *Spirulina platensis* cultivado no Uzbequistão obteve 68% de proteínas e 14,3% de lipídios. Larrosa et al. (2015), analisaram a composição centesimal da *Spirulina platensis* cultivada em fotobiorreatores abertos em condições não controladas utilizando meio de cultivo Zarrouk, e obtiveram 54,7% de proteína, 18% de lipídios, 7,2% de cinzas e 20,1% de carboidratos. Convém notar que *Spirulina platensis* se destacasse por conter um elevado valor proteico.

1.1.4. Cor

As microalgas são microrganismos com pigmentos fotossintéticos que originam sua coloração. No caso da *Spirulina platensis* uma coloração verde-azulada, compreendendo cerca de 1,7% do peso celular de clorofila a dentre outros pigmentos (RANGEL, 2000).

Inúmeros testes têm demonstrado que a cor é importante para a aceitação do produto, sendo umas das principais características perceptíveis que predominam a expectativa do consumidor (RANGEL, 2000). A cor é um parâmetro de qualidade atrativo para o consumidor, e varia entre as

características edafoclimáticas da região, o manejo e as cultivares (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Analisando parâmetros físicos relacionados a cor, tem-se o sistema CIELab, definido pela norma CIE-Commission Internationale de l'Éclairage (1976), que consiste em um sistema de coordenadas retangulares no espaço, conforme Figura 3.

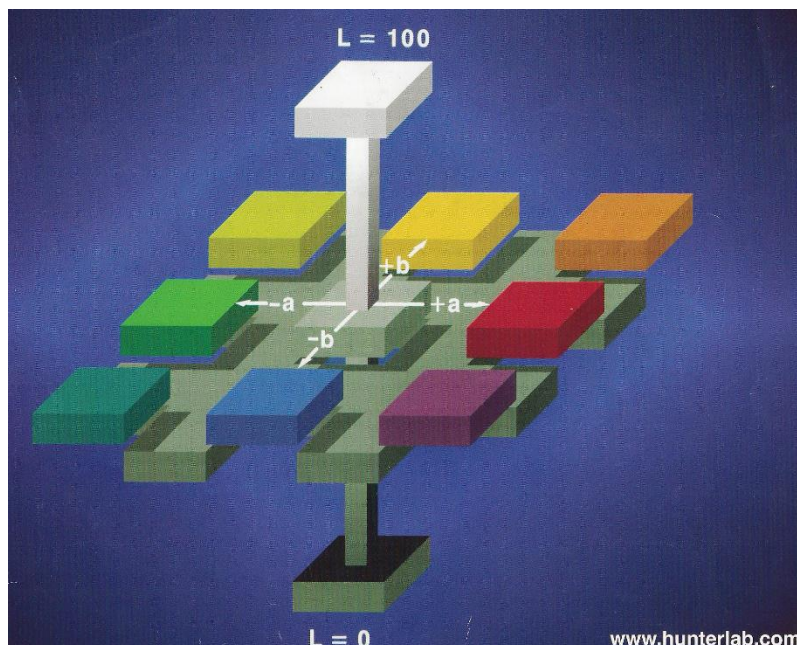


FIGURA 3. Ilustração do sistema CIELAB.

Os parâmetros analisados L , a^* e b^* representam as medidas objetivas de cor avaliadas pelo olho humano, onde L expressa em porcentagem os valores de luminosidade (0% = negro e 100% = branco), a^* representa as cores vermelha (+) ou verde (-), variando de +60 a -60 e, b^* as cores amarela (+) ou azul (-), variando de +60 a -60 (MINOLTA, 1994).

1.2. SECAGEM

1.2.1. Importância e características da secagem

A secagem é uma das mais antigas e comuns operações utilizadas no mundo, para o controle e a manutenção da qualidade de um produto.

A secagem consiste em um complexo processo, que envolve a transferência de energia e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, na qual o aumento da temperatura provoca o aumento da pressão parcial de vapor no produto, provocando a redução no teor de água. Desse modo, é reduzida a disponibilidade de água para: (i) o desenvolvimento de fungos e bactérias; (ii) a realização do processo de respiração dos produtos vegetais que provoca perda de massa e gera

calor; e (iii) a execução de reações bioquímicas que promovem a auto-degeneração do produto (SILVA, 2004; GONELI et al., 2014).

A secagem dos produtos é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e sua estabilidade, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (CORRÊA et al., 2007).

Segundo Andrade et al. (2006), a importância da secagem aumenta à medida em que cresce a produção, devido as vantagens de permitir a armazenagem por períodos mais longos sem o perigo de deterioração do produto; permitir antecipar a colheita; o poder germinativo é mantido por longos períodos; impedir o crescimento de microrganismos e insetos; minimizar a perda de produto no campo e redução do volume e da massa a ser transportado.

Cada produto tem uma particularidade específica, não só em relação às suas propriedades físicas e termodinâmicas, mas também por sua composição química, tornando seu comportamento único durante o processo de secagem. Logo, informações a respeito desta singularidade, são relevantes para o auxílio no processamento pós-colheita além de fornecer um conjunto de dados que servirão de base na elaboração de máquinas, equipamentos, estruturas, processos de controle e proporcionar melhor eficiência de um equipamento ou operação (CORRÊA et al., 2010; ARAUJO et al., 2014).

1.2.2. Secagem da *Spirulina Platensis*

A secagem da *Spirulina platensis* tem sido realizada em diversas condições a fim de determinar a melhor técnica de secagem para conservação da sua qualidade: em secadores de bandeja (OLIVEIRA et al., 2010), spray dryer, estufa, liofilizador e secagem por infravermelho (DESMORIEUX e HERNANDEZ, 2004), leito de jorro (OLIVEIRA et al., 2008), secagem a vácuo (COMITRE, et al., 2015) e secagem com ar natural e energia solar.

No processo de secagem ocorrem mudanças estruturais e físico-químicas que, dependendo do processo utilizado, podem afetar a qualidade final do produto. Mas este deve preservar critérios de qualidade como pigmentação, composição nutricional, forma ou textura (MORIST et al., 2001)

Estudos realizados por DESMORIEUX e HERNANDEZ (2004), utilizando a *Spirulina platensis* mostraram que na secagem a estufa, as proteínas e açúcares totais podem variar de acordo com a temperatura do ar usado na secagem. O melhor método para manter as proteínas e açúcares totais foi o de liofilização. A maior perda de proteínas e açúcares totais foi obtida pela secagem por raios infravermelhos.

A liofilização é o processo de secagem do alimento em condições de pressão e temperatura, onde a água passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso. O processo de liofilização da biomassa de microalgas rompe as células e transforma o material algáceo em um pó solto, fazendo outro tratamento desnecessário (MATA et al., 2010). O alto custo do processo de liofilização pode ser compensado pela ausência de manuseio e estocagem do produto em local refrigerado e também quando o produto tem um alto valor agregado, porém ainda não é viável ao pequeno produtor (SILVA et al., 2012).

A secagem com ar natural e energia solar é aconselhável em regiões onde o clima é seco, com boa irradiação solar ou baixa umidade relativa. É a mais barata em questão a equipamentos, não necessitar de mão de obra qualificada e não ter gastos com energia para a realização da secagem. Mas, este tipo de secagem pode apresentar desvantagens como variações climáticas, tempo de secagem e mão-de-obra (SILVA, 2000). Neste método o concentrado algáceo deve ser disposto em tabuleiros ou lonas, previamente higienizados, sobre cavaletes ou armações, que irradiam melhor o calor e devem ser organizados para facilitar a circulação de ar quente sobre eles (GAVA, 1978).

Os secadores de bandeja são utilizados por pequenos produtores com uma escala de produção de 1 a 20 t/dia ou para trabalhos em escala-piloto, por possuir um baixo custo de capital inicial e de manutenção. No entanto, a secagem não pode ser controlada, resultando em produtos com uma qualidade variável se não houver uma distribuição de ar adequada. São feitas câmaras com isolamento exterior, com bandejas de tela ou perfuradas, onde é colocado o produto a ser submetido à secagem. O seu mecanismo constitui o impulsionamento do ar por um ventilador, que passa por um sistema de aquecimento, entra o ar aquecido, colocando-se em contato sobre e/ou através de cada bandeja, permanecendo pelo tempo necessário. O tempo, a temperatura e a velocidade do ar são diferentes, sendo regulados de acordo com o produto a ser seco (FELLOWS, 2006).

1.2.3. Cinética de secagem

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento e otimização podem ser feitos por meio de simulação matemática cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas do produto, utilizando um modelo matemático que representa satisfatoriamente a diminuição do teor de água (RESENDE et al., 2007).

Na Figura 4, são ilustradas as curvas de evolução do teor de água do produto (X), da temperatura (T) e da velocidade de secagem (dX/dt), também chamada de taxa de secagem, ao longo do tempo, para um experimento utilizando ar de propriedades constantes.

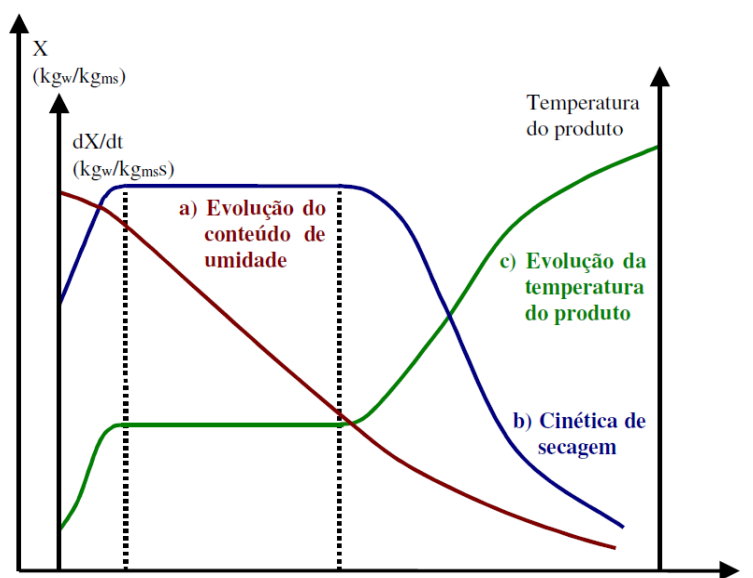


FIGURA 4. Curvas típicas de secagem.
Fonte: PARK et al. (2007).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto (X , base seca) durante a secagem, em relação à evolução do tempo de secagem (t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem em determinada condição de secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do teor de água do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo (t), isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (MORAIS, 2010).

A análise das curvas de secagem pode ser feita por meio de métodos teóricos ou empíricos. O método empírico consiste na obtenção de curvas de secagem a partir de variações nas condições externas, não oferecendo indicações precisas sobre o transporte de água no interior do produto. No entanto, a utilização de modelos matemáticos empíricos que descrevam as curvas de secagem em camada delgada, tem sido útil na simulação de secagem de camadas espessas do produto, mesmo que esses modelos sejam válidos apenas nas mesmas condições testadas experimentalmente. Esses estudos são de grande importância para novos projetos de secadores ou o aperfeiçoamento de equipamentos já existentes (PARRY, 1985; BROOKER et al., 1992; OLIVEIRA et al., 2013).

As curvas de secagem variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre vários outros fatores. Desta forma, a determinação do efeito da temperatura no produto e a obtenção de um modelo de secagem que represente satisfatoriamente os dados experimentais, são de suma importância para minimizar as alterações promovidas pelo

processo de secagem, conseqüentemente, mantendo a qualidade do produto (MENDONÇA et al., 2015).

Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Esses modelos, geralmente, baseiam-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem. Entretanto, não fornecem indicações sobre os fenômenos de transporte de energia e de água no interior do produto e consideram que todo o processo de secagem ocorre somente no período de taxa decrescente (CORRÊA et al., 2007). Essas curvas de secagem são representadas, em geral, pelo teor de água do produto por cada instante de tempo, após terem sido submetidos a uma temperatura e umidade relativa constantes em todo o período (MIDILLI et al., 2002).

A modelagem matemática da secagem é complexa pois, que além de considerar que ocorrem simultaneamente processos de transferência de energia e massa, os mesmos devem ser ajustados para o formato do produto e tipo de secagem (NASCIMENTO et al., 2015)

Durante a modelagem e a simulação dos processos de secagem de produtos agrícolas, diversos trabalhos correlacionaram satisfatoriamente os coeficientes dos modelos ajustados aos parâmetros de secagem, principalmente a temperatura, a umidade relativa (ALMEIDA et al., 2009; REIS et al., 2011; ALEXANDRE et al., 2013; DURIGON et al., 2013; MORAIS et al., 2013; COSTA et al., 2015; JORGE E SILVA, 2015; RODOVALHO et al., 2015).

1.2.4. Teoria da Difusão

A difusão de água em produtos agrícolas durante a secagem é um processo complexo que pode envolver diferentes mecanismos, tais como: a difusão molecular, a difusão capilar, a difusão na superfície, o fluxo hidrodinâmico, a difusão de vapor e a difusão térmica (GONELI et al., 2014).

O modelo da difusão líquida é aplicado em processos de secagem de um sólido à taxa decrescente, considerando, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick (PARK et al., 2002).

Uma vez que os modelos baseados na segunda Lei de Fick não são rigorosamente representativos dos diversos mecanismos que prevalecem no transporte de água em produtos agrícolas, o coeficiente de difusão determinado é considerado aparente ou efetivo (ROCA et al., 2008). Outro fator que contribui para a complexidade do mecanismo de difusão é a diversidade da composição química e a estrutura física dos produtos (GONELI et al., 2014).

Os modelos que empregam a teoria da difusão podem descrever de forma aceitável o perfil da distribuição de água no interior de determinado produto agrícola desde que seja possível

correlacionar sua forma à geometria de um sólido perfeito, além da exigência do estabelecimento de uma relação funcional entre o coeficiente de difusão, o teor de água e a temperatura. Nesse caso, há que se considerar que o valor médio da razão de umidade (RU), representada pela taxa de secagem, seja no formato de placa plana, cilíndrico ou esférico (CRANK, 1975).

O coeficiente de difusão (D_{ef}) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água do produto, sendo o resultado obtido pelo ajuste de valores experimentais (OLIVEIRA et al., 2006). A difusividade efetiva (D_{ef}) é uma grandeza física intrínseca do próprio material que deve ser determinada caracterizando o comportamento da secagem do produto agrícola.

O estudo da difusividade efetiva é importante na determinação da evolução de sistemas que sofrem processos de aquecimento ou resfriamento. Essa propriedade permite prever a velocidade da penetração de calor no interior do material, sendo assim de fundamental importância para o projeto de equipamentos e para o cálculo do processamento térmico (CARBONERA et al., 2003).

Existem vários trabalhos publicados abordando a difusividade efetiva e a energia de ativação de diversos produtos agrícolas (FERREIRA et al., 2012; DUARTE et al., 2012; VIEIRA et al., 2012; PORTELA et al., 2014; SILVA NETO et al., 2014; SANTOS et al., 2014; ALVES et al., 2015; LEITE et al., 2015; MARTINS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2015; MELO et al., 2015).

1.3. ARMAZENAMENTO

É indiscutível a importância que tem a armazenagem de produtos agrícolas no Brasil, sendo um dos grandes produtores de alimentos e considerando também a questão de segurança alimentar da população. A armazenagem é um processo de guarda do produto, associada a uma sequência de operações anteriores, tais como limpeza, secagem, tratamento fitossanitário, transporte, classificação, dentre outros. Essas sequências de operações são de suma importância para um armazenamento final com qualidade desejáveis do produto.

A qualidade dos produtos é um parâmetro relevante para comercialização e processamento, e pode afetar o valor do material. Apesar de toda a tecnologia disponível à agricultura brasileira, as perdas qualitativas e quantitativas, originadas durante o processo de pós-colheita, ainda não são bem controladas e, durante o armazenamento, a massa de grãos é constantemente submetida a fatores externos, os quais podem ser físicos, como temperatura e umidade; químicos, como fornecimento de oxigênio, e biológicos, como bactérias, fungos, insetos e roedores (CONTREIRA et al., 2013). Ao longo do armazenamento, diversas alterações

fisiológicas, químicas e bioquímicas ocorrem nos produtos agrícolas afetando a qualidade sensorial (BORÉM et al., 2013; SAATH et al., 2014)

Aguiar (1982), salienta que a qualidade dos produtos agrícolas não é melhorada sob condições ótimas de armazenamento. As técnicas modernas de conservação permitem apenas prolongar a vida útil do produto durante o armazenamento.

As características de conservabilidade dos produtos agrícolas durante o armazenamento são diretamente influenciadas pela qualidade inicial, pelas características físicas, teor de água inicial e condições de armazenamento como: temperatura e umidade relativa do ar no ambiente de armazenamento. Dependendo da interação entre estes fatores e o ambiente, podem ocasionar perdas na qualidade do produto.

A umidade relativa do ar, seguida pela temperatura no ambiente de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade dos produtos agrícolas, pois estão diretamente relacionados aos seus processos metabólicos (PARAGINSKI et al., 2015).

As embalagens podem desempenhar um papel essencial durante o armazenamento, fazendo com que não tenham trocas de umidade do produto e o ambiente inserido. Toledo e Marcos Filho (1977) e Popinigis (1985), classificaram os tipos de embalagem quanto ao grau de permeabilidade, em três categorias: permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis, em função das trocas de umidade que podem ocorrer entre o produto e o ambiente em que se encontram. As embalagens são consideradas eficientes quando impossibilitam essas trocas, não obtendo oscilações dos teores de água do produto, conseqüentemente não havendo perdas em sua qualidade.

1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIBA, B. D.; SALEM, B.; NABIL, S.; ABDELHAKIM, M. Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina* sp.) powders. **Powder Technology**, Columbus, v. 208, n. 3, p. 725-730, 2011.

AGUIAR, P.A.A. Armazenamento e conservação de grãos. In: **Noções básicas de conservação**. II Armazenamento e conservação em propriedades agrícolas. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1982, 31p.

ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.

ALMEIDA, D.P.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 02, n. 01, p. 72 - 83, 2009.

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 130-137, 2013.

ALVES, D. A. S.; PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Secagem de pimenta-do-reino preta (*piper nigrum* L.) em secador de leito fixo. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1479-1488, 2015.

ANDRADE, E.T.; CORRÊA, P.C.; TEIXEIRA, L.P.; ROBERTO GUIMARÃES PEREIRA, R.G.; CALOMENI, J.F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, Niterói, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

ANDRADE, M. R.; COSTA, J. A. V. Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1551-1556, 2008.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L.; DE SOUZA, C. M.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 279-286, 2014.

ARRUDA, R.; BARBOSA, D.; MEDEIROS, M.; OLIVEIRA, M.; FRATTINI, W. Aspectos fermentativos de *Spirulina platensis* sob condições naturais de temperatura e iluminação. **Revista Saúde**, América do Norte, v.7, n. 3/4, p. 14-22, 2013.

BABADZHANOV, A. S.; ABDUSAMATOVA, N.; YUSUPOVA, F. M.; FAIZULLAEVA, N.; MEZHLUMYAN, L. G.; MALIKOVA, M. K. Chemical composition of *Spirulina platensis* cultivated in Uzbekistan. **Chemistry of Natural Compounds**, Heidelberg, v. 40, n. 3, p. 276-279, 2004.

BELAY, A. M. H. A. Mass culture of *Spirulina* outdoors-the earthrise farms experience. In: VONSHAK, A., ed. ***Spirulina platensis (Arthrospira)***: physiology, cell-biology and biotechnology. London: Taylor & Francis, 1997. p.131-158.

BERBERT, P.A.; QUEIROZ, D.M.; SILVA, J.S.; PINHEIRO FILHO, J.B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.60, n. 3, p.167-173, 1995.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, F. C.; FIGUEIREDO, L. P.; GIOMO, G. S.; FORTUNATO, V. A.; ISQUIERDO E.P. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, England, v. 52, p. 1-6, 2013.

BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **Journal of biotechnology**, Bielefeld, v. 70, n. 1, p. 313-321, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Portarias nº 19 de 15 de março de 1995. Disponível em:<http://portal2.saude.gov.br/saudelegis/act/VisualizaRelEspelho.cfm?id=3396010&cab=Cod%20Int%20=%203396010&origem=leg_norma_espelho>. Acesso em: 08 jan. 2015.

BRASIL - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos** - Lista dos Novos Ingredientes aprovados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, maio de 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/novos_ingredientes.htm>. Acesso em: 08 jan. 2015.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CARBONERA, L.; CARCIOFI, B. M.; HUBER, E.; LAURINDO, J. B. Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n.2, p.285-90, 2003.

CHAIKLAHAN, R.; CHIRASUWAN, N.; BUNNAG, B. Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina* sp.: influence of temperature, pH and preservatives. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre Cedex, v. 47, n. 4, p. 659–664, 2012.

CHAVES, T. H.; RESENDE, O.; SIQUEIRA, V. C.; ULLMANN, R. Qualidade fisiológica das sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) durante o armazenamento em três ambientes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1653-1662, 2012.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: 2 ed. Revisada e ampliada, 2005. 785 p. Universidade Federal de Lavras.

CIFERRI, O. *Spirulina platensis*, the edible microorganism. **Microbiological reviews**, Washington, v. 47, n. 4, p. 551-578, 1983.

COMITRE, A.; VAZ, L.; SILVA, L.; LARROSA, A.; PINTO, L. D. A. Secagem a vácuo de *spirulina* sp. Leb 18: análise das características dos compostos bioativos do produto desidratado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1692-1697, 2015.

CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A.P.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n. 2, p.501-510, 2007.

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 110-119, 2010.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011.

COSTA, S.; CAPISTRANO, D.; MORAES FILHO, F. C. Cinética da secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp) em micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 4587-4594, 2015.

CONTREIRA, R. A.; SILVA, L. H.; SILVA, D. A. Avaliação da Qualidade de Grãos de Feijão Submetidos a Diferentes Métodos de Armazenamento. **Anais...**, Bagé, RS: Universidade Federal do Pampa, v. 5, n. 2, 2013.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. p. 414

DESMORIEUX, H.; HERNANDEZ, F. Biochemical and physical criteria of Spirulina after different drying processes. **In: Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS)**, 2004.

DESMORIEUX, H.; DECAEN, N. Convective drying of spirulina in thin layer. **Journal of food engineering**, Davis, v. 66, n. 4, p. 497-503, 2005.

DUARTE, M. E. M.; UGULINO, S. M. P.; MATA, M. E. R. M. C.; GOUVEIA, D. S.; QUEIROZ, A. J. D. M. Osmotic dehydration of jack fruit slices. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 478-483, 2012.

DURIGON, A., MAZUTTI, M. A., MOSSI, A. J., & TREICHEL, H. Efeito da temperatura sobre a cinética de secagem e a cor do tomate italiano. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, Londrina, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2013.

ESTRADA, J.E P.; BESCOS, P. B.; DEL FRESNO, A.M. V. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. **Il farmaco**, v. 56, n. 5, p. 497-500, 2001.

FARONI, L. R.; CORDEIRO, I. C.; ALENCAR, E. R.; ROZADO, A. F.; ALVES, W. M. Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.1, p. 148-154, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Artmed, 2006.

FERREIRA, L. F. D.; PIROZI, M. R.; RAMOS, A. M.; PEREIRA, J. A. M. Mathematical modeling of thin-layer drying of fermented grape pomace. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. NBL Editora, 1978.

GONÇALVES, I. S.; MARTINS, R. G.; QUINES, L. K. M.; ARAGÃO, G. M. F.; COSTA, J. A. V.; MORAIS, M. G. Cinética de purificação de biopolímeros extraídos da microalga *Spirulina* LEB 18. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 159-164, 2014.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 1, n. 1, p.56-64, 2014.

HENRIKSON, R. **Microalga *Spirulina platensis*: superalimento del futuro**. Ediciones Urano, SA, 1994.

INSOGNIA, A.; PINTO, L.A.A. Extração de lípidios de microalga: avaliação da qualidade utilizando espectroscopia de infravermelho ft-ir. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 223-228, 2014.

JORGE, I. R.; SILVA, M. B. Determinação experimental da cinética de secagem do morango. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1806-1811, 2015.

KHAZAIY, P. E.; SHAHIDI, F.; MORTAZAVI, S.; MOHEBBI, M. The effect of different levels of *Spirulina platensis* microalgae and agar and guar hydrocolloids on water activity, texture, color parameters and overall acceptability of kiwi puree-based fruit pastille. **Iranian Journal of Food Science and Technology**, Iranian, v. 12, n. 48, p.47-59, 2015.

KUCUK, H.; MIDILLI, A.; KILIC, A.; DINCER, I. A review on thin-layer drying-curve equations. **Drying Technology**, New York, v. 32, n. 7, p. 757-773, 2014.

LARROSA, A.; DA SILVA, K. T.; LAMAS, G.; SOARES, V.; PINTO, L. Secagem de *Spirulina* sp. Em leito de jorro: efeito da temperatura nas características do produto desidratado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 3955-3961, 2015.

LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S. D.; PORTO, A. G., PIASSON, D.; SANTOS, P. D. Volumetric contraction and drying kinetics of *Musa sapientum* slices. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 155-162, 2015.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, Golden, v. 14, n. 1, p. 217-232, 2010.

MARTINS, E. A.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L.; FILHO, C. P. H.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marçanata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; OLIVEIRA, K. P.; COSTA, C. H.; FEITOSA, R. M. Estudo da cinética de secagem da pimenta de cheiro em diferentes temperaturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 2, p. 09-14, 2015.

MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 382-387, 2015.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Ransey: Minolta Corporation INstrument Systems Division, 1994.

MORAES, I. O.; ARRUDA, R. O.M.; MARESCA, N. R.; ANTUNES, A. O.; MORAES, R. O. *Spirulina platensis*: process optimization to obtain biomass. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.33, suppl.1, p. 179-183, 2013.

MORAIS, S. J. S. **Cinética de secagem de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.)**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2010.

MORAIS, S. J. S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 455, 2013.

MORIST, A.; MONTESINOS, J. L.; CUSIDO, J. A.; GODIA, F. Recovery and treatment of *Spirulina platensis* cells cultured in a continuous photobioreactor to be used as food. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre Cedex, v. 37, n. 5, p. 535-547, 2001.

NASCIMENTO, V. R. G; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. Mathematical modeling of convective drying with infrared radiation of Moringa oleifera grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 686-692, 2015.

OLIVEIRA, E. G. **Secagem da *Spirulina platensis*: análise das técnicas do leito de jorro e camada delgada**. 92f. Dissertação. Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

OLIVEIRA, R.A.; OLIVEIRA, W.P.; PARK, K.J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

OLIVEIRA, E. G.; ROSA, G. S.; MORAES, M. A.; PINTO, L. A. A Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. **Journal of Food Process Engineering**, Texas, v. 31, n. 1, p. 34-50, 2008.

OLIVEIRA, E. G.; DUARTE, J. H.; MORAES, K.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v.45, n 8, p. 1572–1578, 2010.

OLIVEIRA, M. T. R.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P. Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v.15, n.1, p.1-12, 2013.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 358-363, 2015.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, Davis, v.51, n. 3, p.193-199, 2002.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos e processo e equipamentos de secagem**. 50p, 2007.

PARRY, J.L. Mathematical modeling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: A Review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.32, n.1, p.1-29, 1985.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2.ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PORTELA, J. V. F.; PESSOA, T. R.B.; EL-AOUAR, Â. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva do processo de secagem do miolo da macambira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 9, n. 1, p. 271-278, 2014.

RANGEL, C. O. **Influência da Luz e Uréia no Crescimento e Conteúdo de Clorofila da Biomassa de *Spirulina platensis***. 132f. Dissertação. Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-farmacêutica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

RAMÍREZ-MORENO, L.; OLVERA-RAMÍREZ, R. Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). **Interciência**, Caracas, v. 31, n. 9, p. 657-663, 2006.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. D. L.; REIS, J. D. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S.; KESTER, A. N.; LIMA DE, P. P. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n. 2, p.171-178, 2007.

ROCA, E.; GUILLARD, V.; BROYART, B.; GUILBERT, S.; GONTARD, N. Effective moisture diffusivity modeling food structure and hygroscopicity. **Food Chemistry**, Reading, v.106, n. 4, p.1428–1437, 2008.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p.128 – 142,2015.

ROSA, A. P. **Centeno da. Produção da microalga *Spirulina platensis* (*Arthrospira*) em cultivo semicontínuo e diferentes concentrações de nutrientes**. 78 f. Dissertação. Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal Do Rio Grande, Rio Grande. 2008

SAATH, R.; BROETTO, F.; BIAGGIONI, M.A.M; BORÉM, F.M.; ROSA, S.D.V.F.; TAVEIRA, J.H. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 15-24, 2014.

SÁNCHEZ, S.; MARTÍNEZ, M. E.; ESPINOLA, F. Biomass production and biochemical variability of the marine microalga *Isochrysis galbana* in relation to culture medium. **Biochemical Engineering Journal**, v. 6, n. 1, p. 13-18, 2000.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Difusividade efetiva e energia de ativação em farinhas de grãos residuais de urucum. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 75-82, 2014.

SERENOTTI, F.; CRESPI, B. A.; TORRES, L. G. Contribuição à modelagem da produção de *Spirulina máxima* em fotobioreatores. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 23, n. 1, p. 8-17, 2004.

SHALABY, E. A.; DUBEY, N. K. Algae as a natural source of antioxidant active compounds. **Plants as a source of natural antioxidants**, p. 129, 2015.

SCHELDEMAN, P.; BAURAIN, D.; BOUHY, R.; SCOTT, M.; MUËHLING, M.; WHITTON, B. A.; BELAY, A.; WILMOTTE, A. *Arthrospira* ('Spirulina') strains from four continents are resolved into only two clusters, based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally transcribed spacer. **FEMS Microbiology Letters**, Plymouth, v. 172, n. 2, p. 213-222, 1999.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000.

SILVA, L.C. Secagem de Grãos. Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano III, no XIV, p. 10-14, 2004.

SILVA, R. M. F.; GOMES, T. C. B. L.; ALBUQUERQUE, M. M.; SILVA JUNIOR, J. O. C.; BARBOSA, W. L. R.; ROLIM NETO, P. J. Abordagem sobre os diferentes processos de secagem empregados na obtenção de extratos secos de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 103-109, 2012.

SILVA, T. S.; SILVA; K. T.; SANTOS, D. D.; LAROSSA, A.P.Q.; PINTO, L.A.A. Análise das propriedades funcionais protéicas da *Spirulina* sp. seca em leito de jorro. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 754-759, 2014.

SILVA NETO, M. L.; PRADO, M. M.; MARQUES, L. G. Transferência de massa na secagem infravermelho de sementes de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.). **Scientia Plena**, Sergipe, v. 10, n. 3, p. 1-11, 2014.

THAJUDDIN, N.; SUBRAMANIAN, G. Cyanobacterial biodiversity and potential application in biotechnology, **Current Science**, Tiruchirappalli, v. 89, n. 1, p. 47-57, 2005.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. Embalagens das sementes. In: **Manual das sementes, tecnologia da produção**. São Paulo: Agronômica Ceres, cap. 14, p.187-193. 1977.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

VONSHAK, A. Outdoor mass production of *Spirulina*: the basic concept. In: VONSHAK, A., ed. ***Spirulina platensis (Arthrospira)*: physiology, cell-biology and biotechnology**. London: Taylor and Francis, 1997. p.79-99.

WALTER, A. **Estudo do processo biotecnológico para obtenção de ficocianina a partir da microalga *Spirulina Platensis* sob diferentes condições de cultivo**. 133f. Dissertação. Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZHANG, X.; ZHANG, F.; LUO, G.; YANG, S.; WANG, D. Extraction and Separation of Phycocyanin from *Spirulina* using Aqueous Two-Phase Systems of Ionic Liquid and Salt. **Journal of Food and Nutrition Research**, Lužianky, v. 3, n. 1, p. 15-19, 2015.

CAPÍTULO 2

CINÉTICA DE SECAGEM DA *Spirulina Platensis*

2.1. INTRODUÇÃO

Microalgas são microrganismos que crescem em meio líquido, se multiplicam rapidamente e são capazes de realizar fotossíntese oxigênica, produzindo biomassa rica em compostos biologicamente ativos (MENDONÇA et al., 2014).

A *Spirulina platensis* é uma cianobactéria multicelular fotossintetizante de coloração verde-azulada, e é conhecida por apresentar em sua biomassa altos teores protéicos (50-70%), presença do ácido graxo essencial γ -linolênico dentre outros diversos compostos (BEZERRA, 2010). E vem sendo utilizada em vários países na aquicultura, como alimento para consumo humano e animal, extração de pigmentos, produção de biocombustíveis, assim como, remoção de poluentes (ADIBA et al., 2011).

Na fase de pós-colheita, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade do produto considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (ULLMANN et al., 2010).

No processo de secagem é utilizado o ar como meio de condução do calor e transferência do excesso de água do alimento até a atmosfera. A redução da umidade do produto permite também a armazenagem do produto por longos períodos, além da valorização monetária do mesmo. Porém, caso essa secagem seja inadequada pode haver a deterioração do produto durante o armazenamento (DOMENICO e CONRAD, 2015).

O estudo do processo de secagem é de grande importância para fornecer informações sobre o comportamento do fenômeno de transferência de energia e massa entre o produto e o ambiente de secagem, as quais são fundamentais para elaboração de projetos, operação e simulações de sistemas de secagem e secadores (CORRÊA et al., 2010a).

As curvas de secagem variam com o produto, a espécie, variedade, condições ambientais e métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores (RESENDE et al., 2010a). Para realizar a simulação de um processo é necessário utilizar um modelo matemático que melhor descreva a situação de secagem de um determinado produto. Além de realizar a previsão da secagem, é possível analisar por meio dos modelos, outras variáveis como temperatura, umidade relativa do ar, etc. (DOMENICO e CONRAD, 2015). Portanto, é de inegável importância o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, e, também, que novos

trabalhos sejam realizados, para se obter o modelo mais adequado para determinado produto (RADÜNZ et al., 2011).

Dentre os modelos teóricos aplicados ao processo de secagem, o modelo da difusão é o mais intensamente investigado. Para que um modelo difusivo possa ser utilizado na descrição da cinética de secagem de um produto, a equação de difusão deve ser resolvida. A solução da equação de difusão, em diversas situações de interesse, requer a necessidade de se estabelecer hipóteses na descrição do processo físico (SILVA et al., 2013). Além da modelagem matemática das curvas de secagem, os valores da difusividade efetiva e energia de ativação também são fundamentais para o projeto e construção de equipamentos de secagem (CELMA et al., 2009).

Considerando-se a importância do estudo teórico e a limitação destas informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem, principalmente, de produtos classificados como “alimentos novos”, este trabalho visou determinar e modelar a cinética de secagem da microalga *Spirulina platensis* em diferentes temperaturas (30, 40, 50 e 60 °C).

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, localizado em Anápolis – Goiás.

A microalga *Spirulina platensis* foi fornecida pela empresa Brasil Vital, localizada em Anápolis, com as coordenadas geográficas do município de latitude: 16° 19' 43" sul e longitude: 48° 57' 12" oeste, no Estado de Goiás. A empresa forneceu as amostras filtradas. Logo em seguida, as amostras foram prensadas em forma de pellets cilíndricos longos de 0,002 m de espessura, (Figura 5).

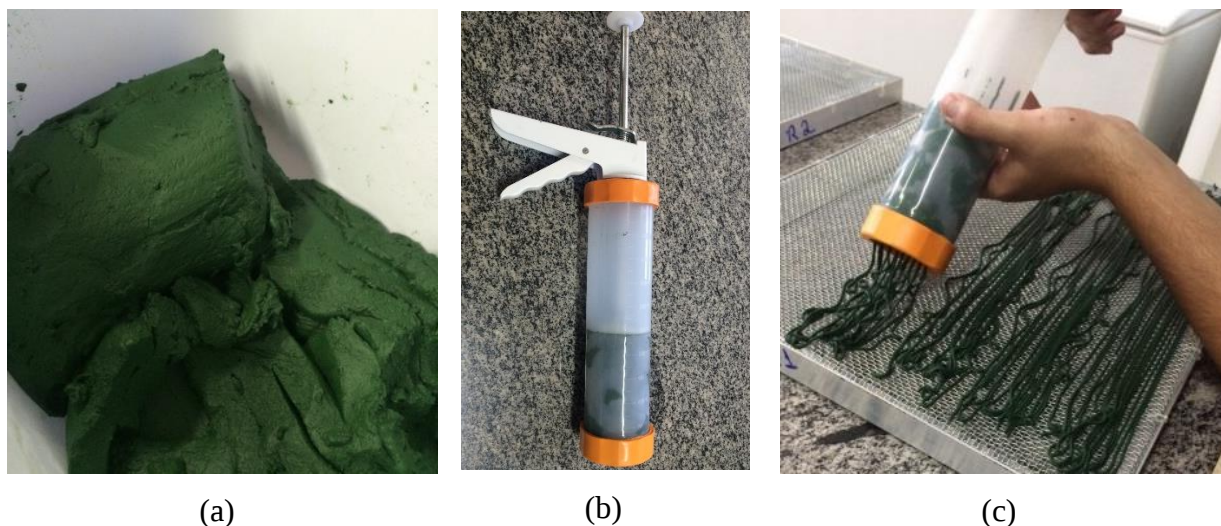


FIGURA 5. (a) Amostras filtradas fornecidas pela Brasil Vital; (b) As amostras colocadas no equipamento para serem prensadas em forma de pellets; (c) Amostras em forma de pellets cilíndricos longos prontas para serem utilizadas.

Os tratamentos foram as temperaturas de secagem 30, 40, 50 e 60 °C, em três repetições. Não foram escolhidas temperaturas superiores a 60 °C, pois estudos mostram que acima desta temperatura há efeito negativo na composição nutricional da *Spirulina platensis* (BENNAMOUNA et al., 2015).

O teor de água inicial da *Spirulina platensis* foi determinado de acordo com a norma analítica da AOAC (1995), 105 °C até massa constante, com três repetições (Figura 6).

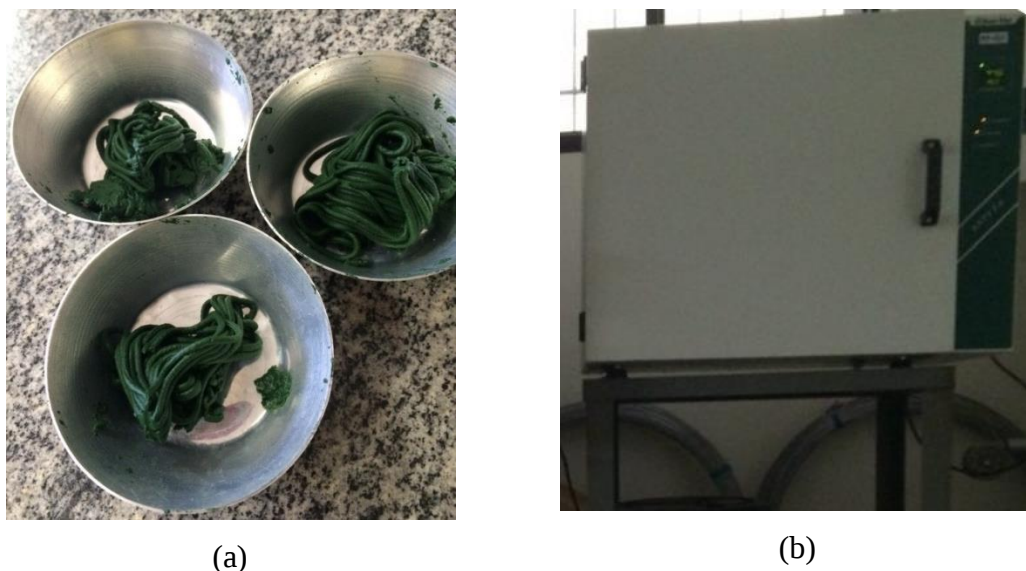


FIGURA 6. (a) Amostras para determinação do teor de água da *Spirulina platensis*; (b) Estufa utilizada para a determinação do teor de água da *Spirulina platensis*.

O produto foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C $\pm$ 1°C, Figura 7a. As amostras foram colocadas em bandejas removíveis de aço inoxidável com fundo telado para a passagem do ar através das mesmas, em

três repetições, Figura 7b. A temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de um termo-higrômetro digital instalado no laboratório, Figura 7c. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente até a massa constante, utilizando uma balança semi-analítica com precisão $\pm 0,01\text{g}$, Figura 7d.

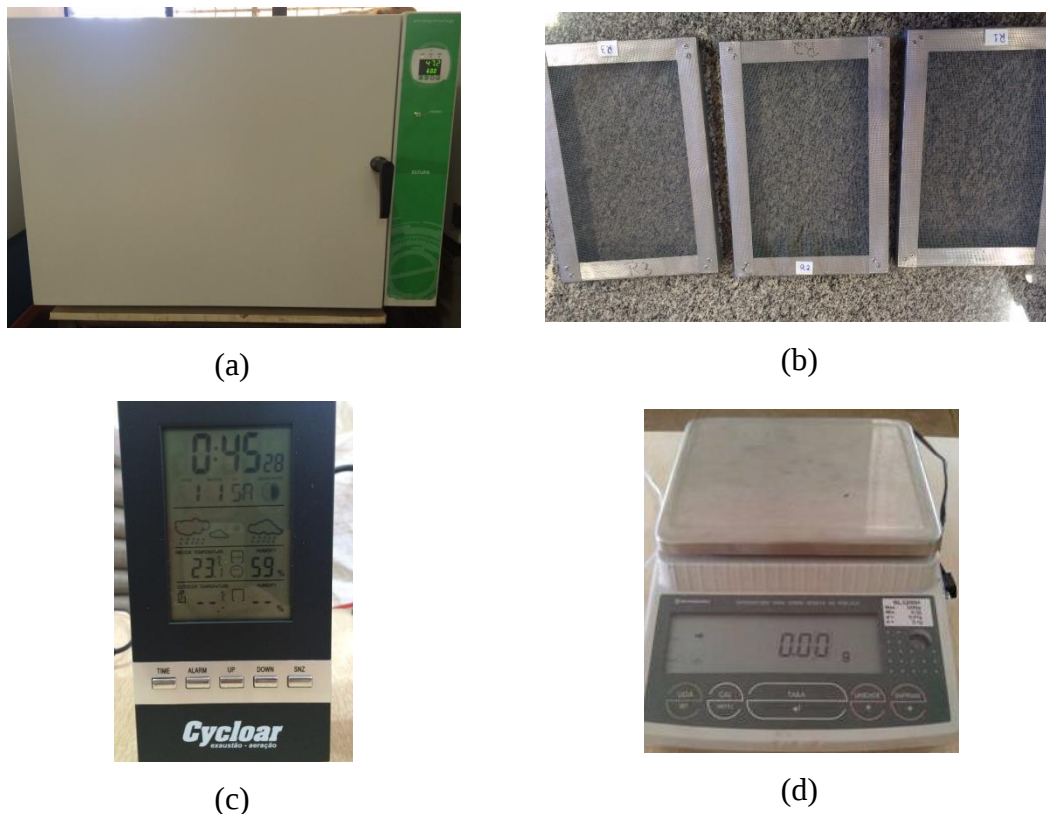


FIGURA 7. (a) Estufa com circulação forçada de ar; (b) Bandejas removíveis de aço com fundo telado feito de lã de vidro; (c) Termo-higrômetro digital Cycloar; (d) Balança semi-analítica com precisão $\pm 0,01\text{g}$.

A Equação 12 foi utilizada para estimativa das razões de umidade da *Spirulina platensis* durante a secagem e nas diferentes temperaturas.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (12)$$

Em que,

RX – razão de teor de água do produto, adimensional;

X – teor de água do produto, decimal b.s.;

X_i – teor de água inicial do produto, decimal b.s.; e

X_e – teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

Os modelos matemáticos, Tabela 1, foram ajustados aos dados experimentais de secagem, utilizando o Software Statistica 12.0.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.

Designação do Modelo	Modelo	
$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$	Aproximação da Difusão	(13)
$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k a t)$	Exponencial de Dois Termos	(14)
$RX = a \exp(-k t)$	Henderson e Pabis	(15)
$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	Henderson e Pabis Modificada	(16)
$RX = a \exp(-k t) + c$	Logarítmico	(17)
$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	Midilli	(18)
$RX = \exp(-k t)$	Newton	(19)
$RX = \exp(-k t^n)$	Page	(20)
$RX = \exp((-a(a^2 + 4 b t)^{0,5}) / 2 b)$	Thompson	(21)
$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Verma	(22)
$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(23)

RX - razão de teor de água do produto, adimensional; t - tempo de secagem, h; k, k_0 , k_1 - constantes de secagem, h^{-1} , e a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

Fonte: KUCUK et al. (2007).

Os estimadores estatísticos dos modelos foram: o coeficiente de determinação ajustado (R^2), o erro relativo (P) e o erro médio estimado (SE). Os valores de P e de SE foram estimados de acordo com as equações 24 e 25.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (24)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (25)$$

Em que,

Y – valor experimental;

Y_0 – valor estimado pelo modelo;

n – número de observações experimentais; e

GLR – número de graus de liberdade do modelo.

O critério de seleção dos estimadores estatísticos foram, R^2 próximo de 100%, $P < 10\%$ e, SE próximo de zero (MADAMBA et al., 1996).

O coeficiente de difusão efetivo foi obtido por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrito pela Equação 26, aos dados experimentais da secagem de *Spirulina*

Platensis. A equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica cilíndrica, desconsiderando a contração volumétrica da mesma (CRANK, 1975).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{R_p^2}\right) \quad (26)$$

Em que,

D_{ef} – coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;

μ_n – raízes da equação de Bessel de ordem zero;

R_p – raio da partícula cilíndrica, m;

t – tempo, h; e

n – número de termos.

Foram utilizados oito termos, a partir do qual se observou que o valor de D_{ef} não variou.

A solução analítica da Equação 26 apresenta-se na forma de uma série infinita e, portanto, o número finito de termos (n) no truncamento poderá determinar a precisão dos resultados. Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo foi utilizada a equação de Arrhenius, Equação 27:

$$D_{ef} = D_0 \left(-\frac{E_a}{R T_a} \right) \quad (27)$$

Em que,

D_0 - fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$;

E_a - energia de ativação, $kJ mol^{-1}$;

R - constante universal dos gases, $8,314 kJ kmol^{-1} K^{-1}$; e

T_a - temperatura absoluta, K.

Os coeficientes da equação de Arrhenius foram linearizados resultando a Equação 28, com a aplicação do logaritmo na seguinte forma:

$$\ln D_{ef} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_a} \quad (28)$$

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de determinação das curvas de secagem da microalga *Spirulina platensis*, o teor de água inicial foi de $83,40 \pm 0,2\%$ b.u. ($498,77 \pm 0,2\%$ b.s), até os teores de água finais de 6,74; 5,00; 4,76 e 3,58 % b.u, para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

Na Figura 8, estão apresentados os valores experimentais da secagem da *Spirulina platensis*, realizada em diversas condições de temperatura em estudo.

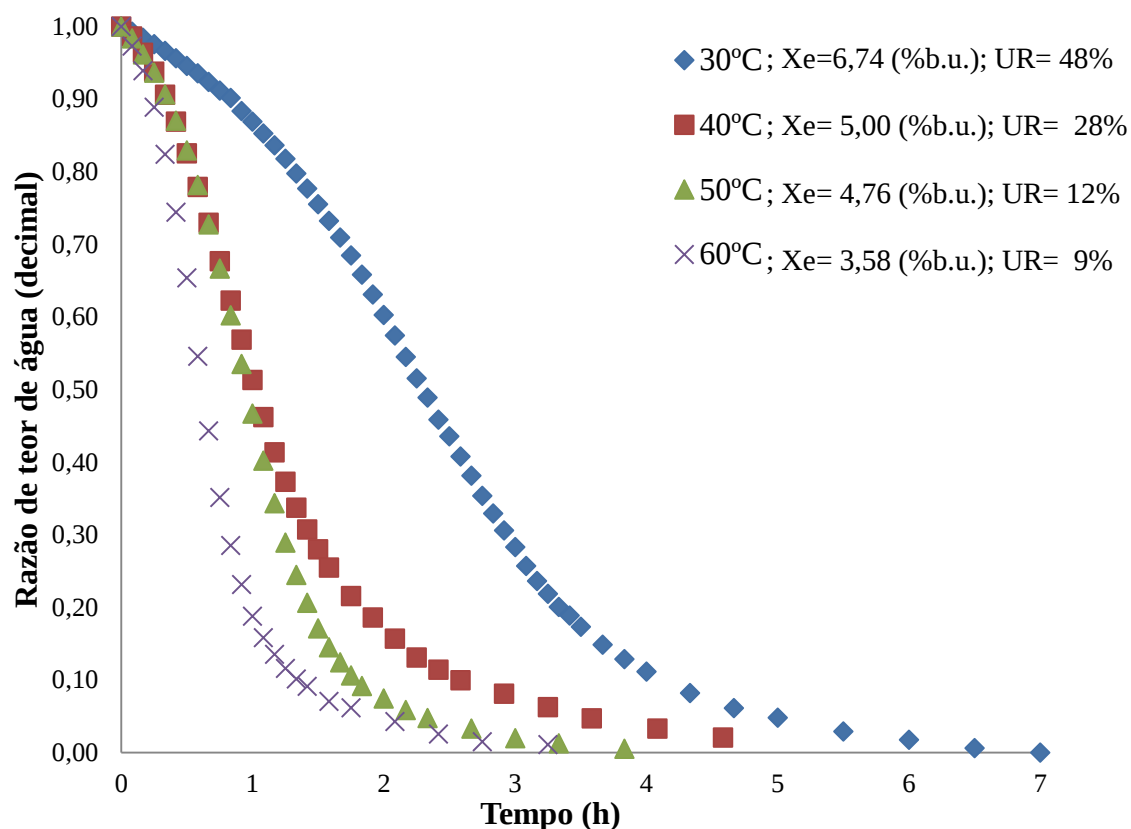


FIGURA 8. Pontos experimentais de secagem da *Spirulina platensis*, para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C.

Verifica-se, na Figura 8, que o tempo necessário para a *Spirulina platensis* atingir a massa constante (equilíbrio higroscópico), foi de 7,00; 4,58; 3,83 e 3,25 horas, (420; 275; 230; 195 minutos), para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente. A redução no teor de água foi acentuada no início do processo de secagem para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Enquanto que para a temperatura de 30 °C a redução do teor de água foi lenta aumentando o tempo de secagem.

Sabartly et al. (2010) obtiveram para a alga *E. spinosum* in natura na temperatura de 60 °C, tempo de secagem de aproximadamente 90 minutos até a amostra atingir o teor de água de 30 % (b.u.). Faria (2012), verificou que o tempo necessário para a alga *Kappaphycus alvarezii* atingirem o teor de água de 30 % (b.u.) foi de 360, 170 e 100 minutos para as temperaturas de 40, 60 e 90 °C, respectivamente. Tendo em vista, que o tempo de secagem pode ser influenciado pela temperatura ambiente, umidade relativa do ar e exclusivamente pelo tipo de produto e espécie.

Conforme esperado, verificou-se que a taxa de secagem aumentou com aumento da temperatura, havendo diferença expressiva entre todas as temperaturas estudadas. Este comportamento é explicado pela diferença do gradiente de temperatura que se estabelece entre a

temperatura externa e a temperatura no interior da amostra. Este gradiente é que rege a velocidade da secagem no 1º período de taxa de secagem decrescente.

Nas Tabelas 2 e 3, encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados para a comparação entre os onze modelos de secagem analisados, nas diversas condições de secagem utilizadas para a *Spirulina platensis*.

TABELA 2. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros relativo (P,%), erros médio estimado (SE, decimal) para modelos analisados, para a secagem da *Spirulina platensis* nas temperaturas 30 e 40 °C.

Modelo	30 °C			40 °C		
	R^2	P	SE	R^2	P	SE
Aproximação da Difusão	99,35%	22,071	0,039	98,46%	20,559	0,064
Exponencial de Dois Termos	99,14%	29,339	0,045	99,89%	9,672	0,017
Henderson e Pabis	96,38%	66,368	0,091	98,91%	13,494	0,053
Henderson e Pabis Modificada	99,48%	19,222	0,036	99,93%	4,961	0,013
Logarítmico	98,00%	54,815	0,066	99,08%	15,737	0,050
Midilli	99,96%	6,331	0,009	99,85%	8,327	0,019
Newton	94,07%	89,794	0,114	97,88%	23,745	0,073
Page	99,92%	7,260	0,013	99,76%	15,407	0,025
Thompson	94,07%	89,786	0,115	97,88%	23,739	0,074
Verma	99,35%	22,071	0,039	99,89%	8,965	0,017
Wang e Singh	97,20%	52,786	0,079	98,79%	24,522	0,054

TABELA 3. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros relativo (P, %), erros médio estimado (SE, decimal) para modelos analisados, para a secagem da *Spirulina platensis* nas temperaturas 50 e 60 °C.

Modelo	50 °C			60 °C		
	R^2	P	SE	R^2	P	SE
Aproximação da Difusão	99,64%	12,307	0,033	99,78%	9,109	0,026
Exponencial de Dois Termos	99,50%	14,573	0,038	99,74%	8,520	0,028
Henderson e Pabis	97,31%	51,138	0,087	98,06%	26,079	0,080
Henderson e Pabis Modificada	99,69%	11,775	0,032	98,46%	18,569	0,071
Logarítmico	97,88%	42,773	0,076	98,24%	20,906	0,076
Midilli	99,94%	9,743	0,013	99,81%	12,112	0,024
Newton	95,64%	71,737	0,109	96,85%	35,707	0,098
Page	99,91%	17,126	0,016	99,74%	14,824	0,027
Thompson	95,64%	71,739	0,111	96,85%	35,710	0,101
Verma	99,64%	12,307	0,033	97,52%	24,744	0,089
Wang e Singh	97,58%	73,434	0,079	97,05%	29,602	0,077

Nas quatro temperaturas utilizadas de secagem da *Spirulina platensis*, nota-se que em todos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de

determinação (R^2) próximos a 1,0 (Tabelas 2 e 3). Segundo Madamba et al. (1996), este coeficiente sozinho, não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares, por isso os valores para o erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P) foram considerados. Diversos pesquisadores utilizam estes parâmetros estatísticos, para a escolha do melhor modelo matemático para determinado tipo de produto (FARIA et al., 2012; COSTA et al., 2015; CORRÊA FILHO et al., 2015; MARTINS et al., 2015).

Os modelos que apresentaram valores para os parâmetros estatísticos segundo o critério de seleção utilizado foram: na temperatura de 30°C, os modelos matemáticos de Midilli ($R^2 = 99,96\%$; $P = 6,331$ e $SE = 0,009$) e Page ($R^2 = 99,92\%$; $P = 7,260\%$ e $SE = 0,013$), na temperatura de 40 °C, os modelos Exponencial de Dois Termos ($R^2 = 99,89\%$; $P = 9,672\%$ e $SE = 0,017$), Henderson e Pabis modificada ($R^2 = 99,93\%$; $P = 4,961\%$ e $SE = 0,013$), Midilli ($R^2 = 99,85\%$; $P = 8,327$ e $SE = 0,019$) e Verma ($R^2 = 99,89\%$; $P = 8,965\%$ e $SE = 0,017$), na temperatura de 50 °C o modelo de Midilli ($R^2 = 99,94\%$; $P = 9,743$ e $SE = 0,013$) foi o único que atendeu o critério de seleção, e na temperatura de 60 °C, o modelo matemático Aproximação da Difusão ($R^2 = 99,78\%$; $P = 9,109\%$ e $SE = 0,026$) e Exponencial de Dois Termos ($R^2 = 99,74\%$; $P = 8,520\%$ e $SE = 0,028$).

O modelo matemático Midilli é um dos mais práticos, apresentando menor número de coeficientes, tornando simples sua aplicação e uso, em simulações de secagem (KASHANINEJAD et al. 2007). Porém, o modelo matemático Aproximação da Difusão também é muito utilizado, pois possui apenas três coeficientes tornando, também, simples a sua aplicação. Devido a simplicidade destes modelos, além de atender os critérios de seleção, foram selecionados o modelo Midilli para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C e Aproximação da Difusão para a temperatura de 60 °C.

Em trabalhos com outros produtos, como a carqueja (RADÜNZ et al. 2011), folhas de fruta-de-lobo (PRATES et al. 2012), folhas de manjerição (REIS et al. 2012), e folhas de aroeira (GONELI et al., 2014b), erva baleeira (GONELI et al., 2014a), o modelo de Midilli também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem. E em outros tipos de produtos o modelo da Aproximação da Difusão também foi selecionado para representar a cinética de secagem: como café (RESENDE et al., 2009) e (RESENDE et al., 2010b), crambe (FARIA et al., 2012).

Na Tabela 4, são mostrados os coeficientes dos modelos matemáticos escolhidos pelo critério de seleção dos estimadores estatísticos na modelagem das curvas de secagem da *Spirulina platensis* nas temperaturas 30, 40, 50 e 60 °C.

TABELA 4. Coeficientes dos modelos matemáticos escolhidos pelo critério de seleção dos estimadores estatísticos ajustados da curva de secagem da *Spirulina platensis*, para as temperaturas estudadas.

Modelo	Coeficientes						
	a	b	c	n	k	k ₀	k ₁
Temperatura de 30 °C							
Midilli	1,015	0,007	-	1,542	0,681	-	-
Page	-	-	-	2,083	0,125	-	-
Temperatura de 40 °C							
Exponencial de Dois Termos	2,066	-	-	-	1,244	-	-
Henderson e Pabis Modificada	24,392	0,143	0,433	-	1,868	-23,555	1,951
Midilli	1,015	0,007	-	1,542	0,681	-	-
Verma	1,866	-	-	-	1,196	-	2,814
Temperatura de 50 °C							
Midilli	0,988	0,005	-	2,061	0,757	-	-
Temperatura de 60 °C							
Aproximação da Difusão	59,615	1,021	-	-	3,072	-	-
Exponencial de Dois Termos	2,181	-	-	-	2,259	-	-

h; k, k₀, k₁ - constantes de secagem, h⁻¹, e a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

Analisando os resultados, nota-se que no modelo matemático Midilli e no modelo Aproximação da Difusão a constante de secagem “k” teve um aumento do seu valor com a elevação da temperatura de secagem. Mostrando assim a influência do coeficiente k em relação a temperatura de secagem. Segundo Madamba et al. (1996), a constante de secagem “k” pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo. Na equação 29, mostra-se o ajuste da constante de secagem “k” em relação as temperaturas de secagem de 30, 40 e 50 °C.

$$K = -0,7838 + 0,0325T \quad (29)$$

$$R^2 = 83,67\%$$

Em que,

K - Constante de secagem;

T - temperatura de secagem, °C.

Na Figura 9 são mostradas as curvas de secagem da *Spirulina platensis* com dados experimentais e estimados pelo modelo matemático escolhido: Midilli para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, e o modelo Aproximação da Difusão para a temperatura de 60°C em função do tempo (horas) para as temperaturas em estudo.

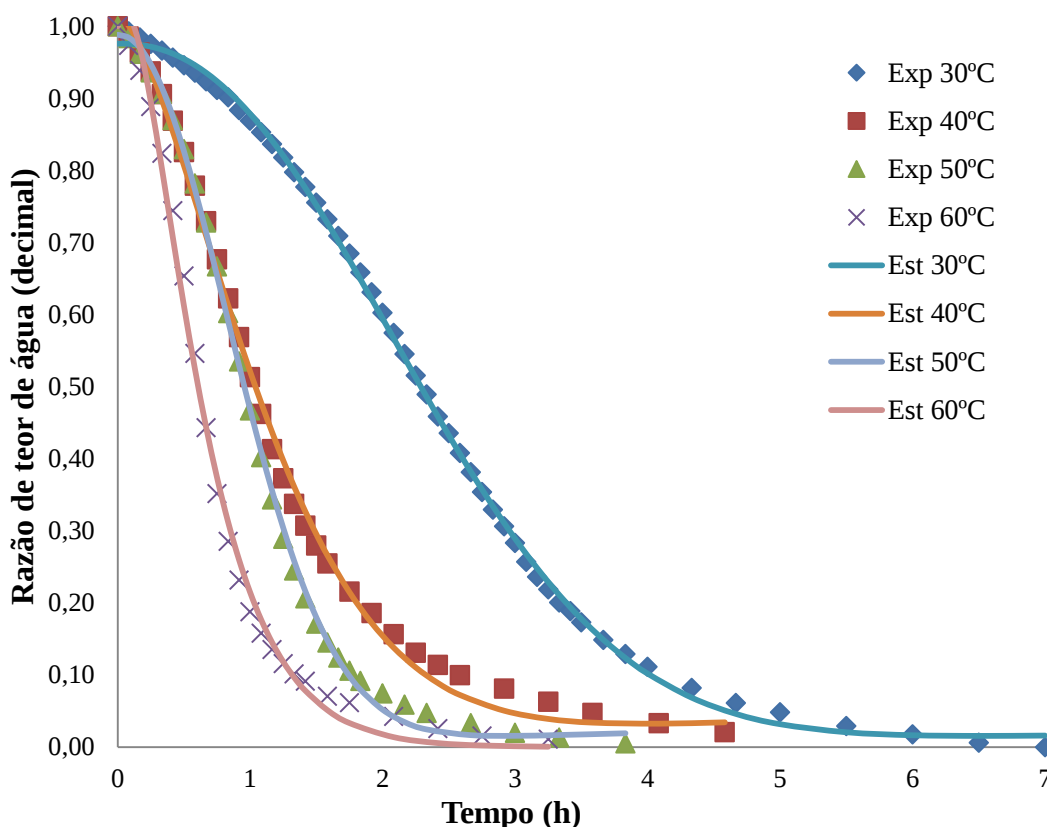


FIGURA 9. Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) da *Spirulina platensis*, nas temperaturas 30, 40, 50 e 60 °C.

Conforme a Figura 9, nota-se o bom ajuste do modelo Midilli para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, e o modelo Aproximação da Difusão para a temperatura de 60 °C, uma vez que estes se adequaram satisfatoriamente os dados experimentais, reforçando a aplicabilidade dos modelos na predição dos dados de secagem da *Spirulina platensis*.

Na Tabela 5, são apresentados os valores do coeficiente de difusão efetivo obtidos durante a secagem de *Spirulina platensis* nas diferentes condições de temperatura, utilizando o raio da partícula cilíndrica de 0,001m.

TABELA 5. Coeficiente de difusão efetivo da *Spirulina platensis* nas temperaturas estudadas.

Temperatura	$D_{ef} (x10^{-8}) m^2s^{-1}$
30°C	3,343
40°C	7,838
50°C	9,608
60°C	14,881

Nota-se que com a elevação da temperatura, os valores do coeficiente de difusão aumentaram sensivelmente, assim como mostram os resultados relatados durante a secagem da

Spirulina platensis, os coeficientes de difusão apresentaram magnitudes entre $3,343 \times 10^{-8}$ a $14,881 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 30 até 60°C.

Goneli (2008), explica que, ocorrendo um aumento da temperatura aumenta-se também o nível de vibração das moléculas de água e se diminui sua viscosidade a qual é uma medida da resistência do fluido ao escoamento. As variações desta propriedade implicam em alterações na difusão da água nos capilares dos produtos agrícolas que, juntamente com a vibração mais intensa das moléculas de água, contribuem para uma difusão mais rápida. Portanto, pode-se dizer que houve maior difusão na temperatura 60°C.

De acordo com Rizvi (1995), o coeficiente de difusão efetivo é dependente da temperatura do ar de secagem, além da variedade e composição dos materiais, dentre outros, o que justifica o seu aumento, com incrementos da temperatura do ar de secagem.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados de coeficientes de difusão efetivo para a secagem de diversos produtos agrícolas.

TABELA 6. Coeficientes de difusão efetivo para a secagem de diversos produtos agrícolas.

Referências	$D_{\text{ef}} (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$	Produto
Silva et al. (2016)	$4,07 \times 10^{-9}$ a $21,42 \times 10^{-9}$	pimenta cabacinha
Martins et al. (2015)	$0,66 \times 10^{-11}$ a $12,07 \times 10^{-11}$	folhas de timbó
Rodvalho et al. (2015)	$2,67 \times 10^{-12}$ a $3,33 \times 10^{-12}$	grãos de pimenta bode
Reis et al. (2015)	$1,65 \times 10^{-10}$ a $5,01 \times 10^{-10}$	pimenta bico
Goneli et al. (2014a)	$1,13 \times 10^{-11}$ a $9,49 \times 10^{-11}$	folhas de erva baleeira
Goneli et al. (2014b)	$0,15 \times 10^{-11}$ a $1,58 \times 10^{-11}$	folhas de aroeira

Comparando as Tabelas 5 e 6, nota-se que os coeficientes de difusão efetivo da *Spirulina platensis* obtidos nas temperaturas estudadas foram valores superiores do que dos produtos: pimenta cabacinha, folhas de timbó, grãos de pimenta bode, pimenta bico, folhas de erva baleeira e folhas de aroeira. Isto pode ser explicado pela constituição química da *Spirulina platensis*, que apresenta ligação fraca de água com os nutrientes, possibilitando maior o nível de vibração das moléculas de água ocasionando a redução da viscosidade do produto.

Na equação 30, mostra-se o ajuste linear dos coeficientes de difusão efetivo da *Spirulina platensis* em relação as temperaturas de secagem de 30, 40, 50 e 60 °C.

$$D_{\text{ef}} = - 7,4546 \times 10^{-8} + 3,638 \times 10^{-9}T \quad (30)$$

$$R^2 = 96,94\%$$

Em que,

D_{ef} = coeficiente de difusão efetivo, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$;

T = temperatura de secagem, °C.

Na Figura 10, são plotados os valores calculados de D_{ef} também, na forma de “ $\ln D_{ef}$ ”, descritas em função do recíproco da temperatura absoluta ($1/T_a$). A inclinação da curva da representação de Arrhenius fornece a relação E_a/R , enquanto a sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 .

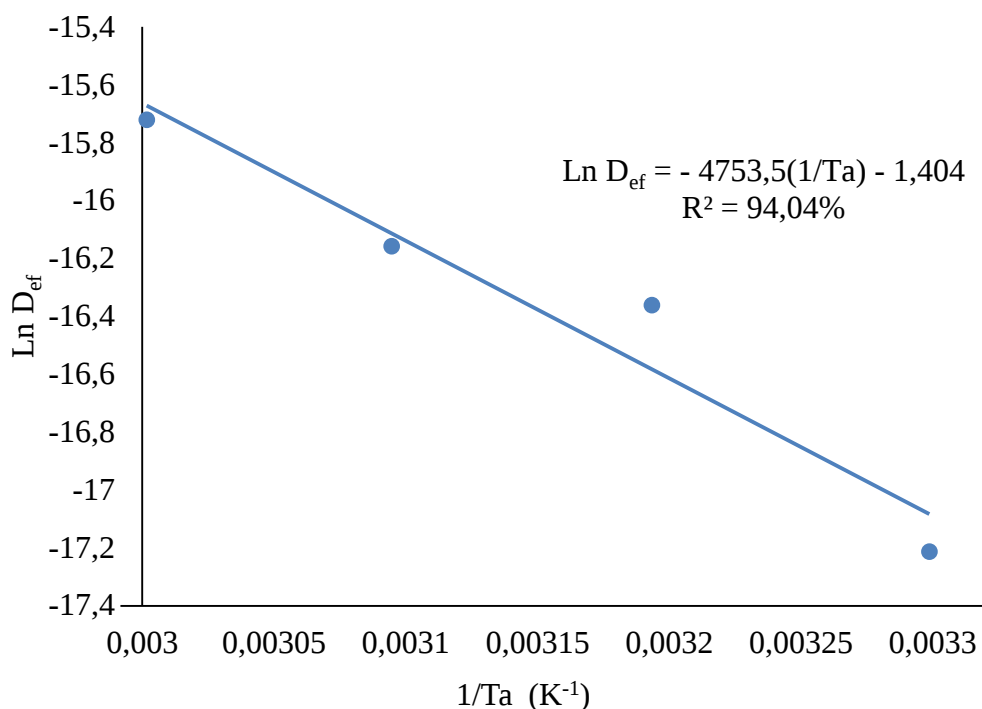


FIGURA 10. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo, em função da temperatura do ar, durante a secagem de *Spirulina platensis*.

Na Figura 10, pode-se constatar que a linearidade decrescente evidencia a uniformidade de variação da taxa de secagem na faixa de temperatura estudada.

A Equação 31 apresenta o coeficiente da equação de Arrhenius ajustadas para os coeficientes de difusão efetivo da *Spirulina platensis*, calculado de acordo com a Equação 27.

$$D_{ef} = 0,339325 \cdot \exp\left(\frac{39.520,6}{R \cdot T_a}\right) \quad (31)$$

A energia de ativação (E_a) para a difusão líquida da *Spirulina platensis*, calculada como a inclinação da reta obtida, foi de 39,52 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Para Zogzas et al. (1996), a energia de ativação para os produtos agrícolas varia entre 12,7 a 110 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, estando a energia de ativação encontrada no presente trabalho dentro da faixa dos valores propostos por estes autores.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados de energia de ativação para a secagem de diversos produtos agrícolas.

TABELA 7. Energia de ativação para a secagem de diversos produtos agrícolas.

Referências	E_a (kJ mol ⁻¹)	Produto
Baptestini et al. (2015)	33,1	espuma de graviola
Goneli et al. (2014a)	62,89	folhas de erva baleeira
Silva et al. (2014)	34,51	grãos de guandu
Ferreira et al. (2012)	24,512	bagaço de uva fermentado
Costa et al. (2011),	37,07	crambe
Sousa et al. (2011)	24,78	nabo forrageiro
Resende et al. (2010a)	38,94	feijão adzuki
Martinazzo et al. (2007)	63,47	folhas de capim-limão

Observando os valores de energia de ativação de diversos produtos e comparando com o valor obtido de 39,52 kJ mol⁻¹ da *Spirulina platensis* nota-se, uma energia de ativação próxima as dos grãos de feijão adzuki e crambe, podendo-se comparar a constituição química, os grãos possuem nutrientes existentes na *Spirulina platensis*, obtendo-se assim valores próximos de energia de ativação.

Destaca-se que nos processos de secagem quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto (GONELI et al., 2014a; JANGAM et al., 2010). Em outras palavras, menor será a energia necessária para que, na transformação física ocorra, neste caso, a transformação da água livre líquida em vapor (CORRÊA et al., 2010b). A energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (KASHANINEJAD et al., 2007).

2.4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no estudo da secagem de *Spirulina platensis*, e nas condições em que foi desenvolvido este trabalho pode-se concluir que:

- O tempo necessário para a *Spirulina platensis* atingir a massa constante (equilíbrio higroscópico), foi de 7,00; 4,58; 3,83 e 3,25 horas, para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente;
- O modelo matemático Midilli para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, e o modelo Aproximação da Difusão para a temperatura de 60 °C são recomendados para predizer o fenômeno de secagem da *Spirulina platensis* nas temperaturas estudadas;
- O coeficiente de difusão aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores entre $3,343 \times 10^{-8}$ a $14,881 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 30 a 60 °C;

- A relação do coeficiente de difusão com a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida da *Spirulina platensis* de 39,52 kJ.mol⁻¹.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIBA, B. D.; SALEM, B.; NABIL, S.; ABDELHAKIM, M. Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina* sp.) powders. **Powder Technology**, Columbus, v. 208, n. 3, p. 725-730, 2011.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis of A.O.A.C.** International. 16 th ed. Arlington: A.O.A.C., 1995. 949 p.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015.

BENAMOUN, L.; AFZAL, M. T.; LÉONARD, A. Drying of alga as a source of bioenergy feedstock and food supplement—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 50, p. 1203-1212, 2015.

BEZERRA, R. P. **Cultivo descontínuo alimentado de *Arthrospira (Spirulina) platensis* em reator tubular utilizando uréia como fonte de nitrogênio e CO₂ puro ou proveniente de fermentação alcoólica**. 237f. Tese. Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CELMA, A.R.; LÓPEZ-RODRIGUÉZ, F.; BLÁZQUEZ, C. Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by-products. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v.87, n.4, p.247-253, 2009.

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 02, 2010a.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, n. 5, p.595-601, 2010b.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1089-1097, 2011.

COSTA, S.; CAPISTRANO, D.; MORAES FILHO, F. C. Cinética da secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp) em micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 4587-4594, 2015.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2nd ed. Clarendon Press Oxford, New York, 1975.

DOMENICO, C. N. B.; CONRAD, T. M. Simulação de processos de secagem através dos modelos matemáticos exponencial e de page. **Vivências**, Erechim, v. 11, n.20, p.134-146, 2015.

FARIA, G. S. M. **Influência do processo de secagem convectiva na qualidade da carragenana extraída de *Kappaphycus alvarezii***. 76p. Dissertação. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.

FERREIRA, L. F. D.; PIROZI, M. R.; RAMOS, A. M.; PEREIRA, J. A. M. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.

CORRÊA FILHO, L. C.; ANDRADE, E. T.; MARTINAZZO, A. P.; ANDREA, E. M.; SOUSA, F. A.; FIGUEIRA, V. G. Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 797-802, 2015.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 186p. Tese. Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n.2 p. 434-443, 2014a.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 56-64, 2014b.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, London, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KUCUK, H.; MIDILLI, A.; KILIC, A.; DINCER, I. A review on thin-layer drying-curve equations. **Drying Technology**, New York, v. 32, n. 7, p. 757-773, 2014.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, London, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. D. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MARTINS, E. A.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L.; FILHO, C. P. H.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

MENDONÇA, T. A.; DRUZIAN, J. I.; NUNES, I. L. Prospecção Tecnológica da Utilização da *Spirulina platensis*. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 5, n. 1, p. 44, 2014.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. D.; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. D.; MOSSI, A. J.; MELO, E. D. C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p.19-27, 2011.

REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P.; SERVULO, A. C.; SOUZA, A. B. Cinética de secagem de folhas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.

REIS, D. R.; SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G. Influência das características do ar na cinética de secagem de pimenta variedade bico. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 146-154, 2015.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v.31, n.2, p.189-196, 2009.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vignaangularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010a.

RESENDE, O.; RODRIGUES, S.; SIQUEIRA, V. C.; ARCANJO, R. V. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazônica**, Manaus, v.40, n.2, p.247-256, 2010b.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. *Engineering properties of foods*. New York: Academic Press, 1995. p. 223-309.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p.128-142, 2015.

SARBATLY, R.; WONG, T.; BONO, A.; KRISHNAIAH, D. Kinetic and thermodynamic characteristics of seaweed dried in the convective air drier. **International Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 5, p. 1-16, 2010.

SILVA, L. D.; SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; FARIAS, V. S. O. Descrição da secagem de placas cerâmicas por meio de um modelo de difusão. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 351, p. 409-416, 2013.

SILVA, L. M. D. M.; SOUSA, F. C. D.; SOUSA, E. P. D.; MATA, C.; MOREIRA, M. E. R.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. Cinética e propriedades termodinâmicas relacionadas à secagem dos frutos de pimenta Cabacinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (L.). *Raphanus sativus*. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM NO ARMAZENAMENTO DA *Spirulina platensis*

3.1 INTRODUÇÃO

Com a crise mundial em relação a produção de alimentos e com o aumento da população, principalmente em países em desenvolvimento, se torna necessário achar alternativas economicamente viáveis para suprir a necessidade de proteínas da população.

As microalgas são consideradas fontes economicamente viáveis de proteína para uso na alimentação, sendo uma boa alternativa, com destaque para a cianobactéria *Spirulina*, que contém cerca de 60 a 70% de proteínas (COLLA et al., 2008).

A coloração dos alimentos está diretamente relacionada à aceitabilidade dos produtos alimentícios pelos consumidores, sendo um dos principais atributos de qualidade. Todavia, o que muitos consumidores não sabem, é que os pigmentos naturais dos alimentos são benéficos a saúde (ROCHA e REED, 2014). Dentre os pigmentos fotossintéticos que se encontram na *Spirulina platensis* se tem a clorofilas, que possui cor verde intensa. A clorofila é de ocorrência generalizada em todas as células fotossintetizadoras, e desempenha um papel fundamental no processo de bioconversão de energia (SILVA et al., 2013). De acordo com Barros (2010), a clorofila dos alimentos verdes possui propriedades anticancerígenas, efeito desintoxicante das células e poder de inibição dos radicais livres.

A *Spirulina platensis* vem sendo produzida e estudada por suas propriedades nutricionais e por seus benefícios à saúde (CHIATTONI et al., 2015). Vários autores têm estudado alimentos enriquecidos com *Spirulina platensis* para o enriquecimento nutricional: Perez et al. (2008), iogurte adicionado de biomassa da microalga *Spirulina platensis*, Moraes et al. (2009), biscoitos de chocolate enriquecidos com *Spirulina platensis*, Figueira et al. (2011), pão sem glúten enriquecido com a microalga *Spirulina platensis*, Rabelo et al. (2013), 'sonho de mandioca' enriquecido com biomassa de *Spirulina platensis*, dentre outros.

No entanto, as algas contém quantidade significativa de água, que deve ser removida utilizando métodos adequados de secagem. Este procedimento minimiza o comprometimento da qualidade nutricional do produto.

Os métodos mais estudados para secagem de algas são: secagem convectiva, spray-dryer e liofilização. A liofilização é relatada como sendo o melhor método para a secagem de algas em

termos de qualidade nutricional do produto final. Mas, em termos de investimento inicial e de consumo de energia, o método é considerado caro. Porém, na secagem convectiva as quantidades recuperadas de proteína são maiores, além de ser um método barato (WONG e CHEUNG, 2001; BENNAMOUN et al., 2015).

Contudo, sabe-se da grande importância de estudos em alimentos com alto valor nutricional para o combate da desnutrição na população mundial. Assim, neste trabalho foi estudado a secagem da microalga *Spirulina platensis*, nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, e o seu armazenamento, durante 6 (seis) meses, analisando a porcentagem de proteínas, cinzas, cor, clorofila e o teor de água.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais e de Enzimologia do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis - Goiás. As amostras de *Spirulina platensis* fornecidas pela empresa Brasil Vital, localizada em Anápolis – Goiás, foram prensadas em forma de pellets cilíndricos longos de aproximadamente 0,002 m de espessura, para a secagem.

3.2.1. Experimento 1

As amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar em quatro temperaturas diferentes (30, 40, 50 e 60 °C) até atingirem o teor de água de $\pm 8\%$ b.u., para o armazenamento.

As análises físico-químicas desenvolvidas durante o experimento foram as seguintes: teor de água, porcentagem de proteína bruta, porcentagem de cinzas, cor e clorofila A, em três repetições. Foram feitas análises da testemunha (produto in natura), e o tempo 0 (depois da secagem em diferentes temperaturas), afim de avaliar qual a melhor temperatura de secagem referentes as análises realizadas.

O teor de água foi calculado segundo recomendações da AOAC (1995), a 105 °C até massa constante. Já para a determinação do teor de proteína das amostras foi utilizado o método de Kjeldahl, foi pesado inicialmente 0,1 g de produto e colocado em um tubo de digestão de 300 mL (25 x 250 mm). Adicionado uma medida padronizada de mistura catalizadora (composta de 100 g de sulfato de potássio, 10 g de sulfato de cobre), 3 mL de ácido sulfúrico concentrado e 1 mL de peróxido de hidrogênio. Em seguida, as amostras foram levadas a um bloco digestor,

inicialmente ajustado a uma temperatura de 200 °C, que foi elevada gradativamente até atingir 400 °C. O extrato ficou pronto quando adquiriu a coloração verde. As amostras foram, então, retiradas do digestor. Após o resfriamento do extrato, foi adicionado 20 mL de água destilada no tubo de destilação. O tubo foi inserido em um destilador manual, cuja extremidade de saída ficou mergulhada em 25 mL ácido bórico, mais indicador. Quando o volume de destilado atingiu 100 mL, o aquecimento foi desligado e o erlenmeyer e os tubos de digestão foram retirados. O erlenmeyer contendo a solução foi titulado com ácido clorídrico (0,01 M). A titulação ocorreu até que foi verificado visualmente a mudança de cor, então foi anotado o volume de ácido utilizado. As equações 30 e 31 foram utilizadas na quantificação da proteína bruta:

$$N (\%) = \left(\frac{14 \times 0,01 \times 100}{100} \right) \times (\text{Vol HCl} - \text{Vol Branco}) \quad (31)$$

$$P (\%) = N (\%) \times 6,25 \quad (32)$$

Em que,

N (%) - Porcentagem de nitrogênio;

14 - Equivalente do nitrogênio;

0,01 - Molaridade do ácido clorídrico;

Vol. HCl - Volume de ácido consumido até o ponto de viragem;

Vol. branco - Volume de ácido consumido até o ponto de viragem do branco; e

P (%) - Porcentagem de proteína.

O teor de cinzas foi determinado pesando 10 g da amostra em um recipiente de porcelana. A amostra foi incinerada utilizando um Bico de Bunsen, um tripé de ferro e um triângulo de porcelana. Depois foi colocada em mufla a 900 °C, durante 4 horas, até eliminação completa do carvão, quando as cinzas se tornaram brancas. O teor de cinzas foi estimado de acordo com a equação 32:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{100 \times N}{P} \quad (33)$$

Em que,

N - mg de cinzas;

P - mg da amostra.

Na análise de cor foram verificados os valores L, a*, b*, medidos por refletância, utilizando-se colorímetro ColorQuest XE, conforme a Figura 11 (a). A coordenada L indica quão escuro e quão claro é o produto (valor zero cor preta e valor 100 cor branca), a coordenada a* está relacionada à intensidade de verde (-60) a vermelho (+60) e a coordenada b* está relacionada à intensidade de azul (-60) e amarelo (+60), conforme descrito na Figura 11 (b).

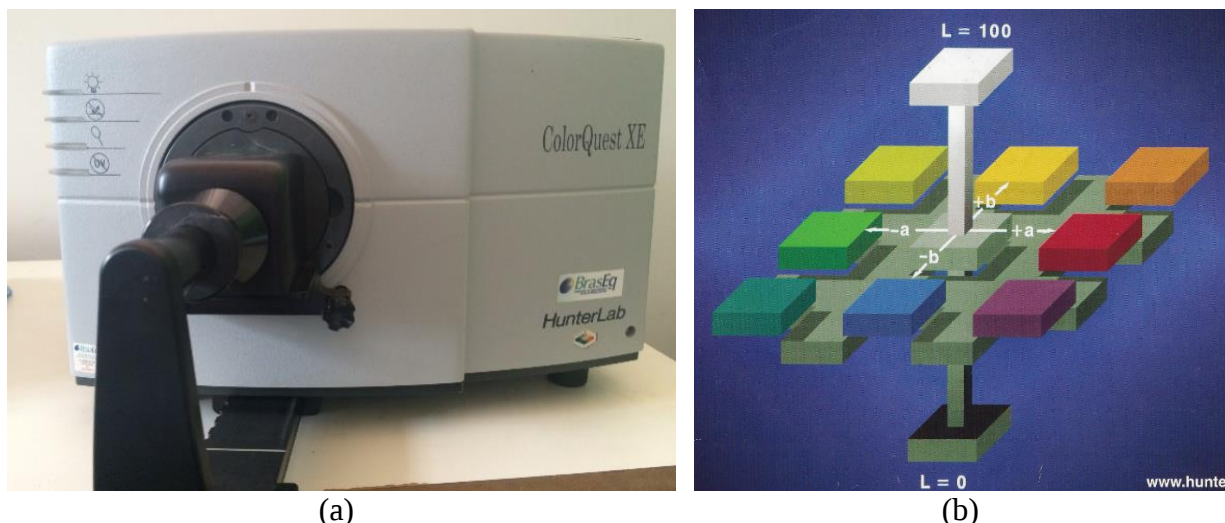


FIGURA 11. (a) Colorímetro ColorQuest XE. (b) Ilustração do sistema CIELAB.

As análises de Clorofila a, foram realizadas por meio da metodologia de Linchtenthaler (1987) e Arnon (1949), com adaptações. Foram pesadas 50 mg da amostra em balança de 0,001 g de resolução, e imediatamente colocadas em *ependorfs* juntamente com 1,5 mL de acetona 80% e armazenadas em refrigerador, biplex CRD36 Consul, a temperatura de 2 °C por 1 hora para extração dos pigmentos, em três repetições. Após esse período, os frascos de *ependorfs* foram centrifugados em microcentrífuga, MiniSpin® plus eppendorf AG Hamburg – Germany (Figura 12a), por 15 minutos a 13400 rpm, sendo o sobrenadante colocado em tubos de ensaio envoltos em papel alumínio, e refrigerado novamente até que o procedimento fosse repetido com a mesma amostra que foi retirado o sobrenadante. Cerca de 3 mL foram colocados em cubetas e procedidas às leituras de absorbâncias em espectrofotômetro UV- 2000^a, Figura 12b, com comprimentos de onda de 648 e 664 nm. Os cálculos efetuados para determinação de clorofila a, foram:

$$C_a = \frac{(13,36 \cdot A_{664} - 5,19 \cdot A_{648}) \cdot 8,1}{D_w} \quad (34)$$

Em que,

C_a - Clorofila a (mg g^{-1});

A_{648} - absorbância em 648 nm;

A_{664} - absorbância em 664 nm;

D_w - Massa seca de tecido vegetal extraído.



(a)



(b)

FIGURA 12. (a) Microcentrífuga, MiniSpin. (b) Espectrofotômetro UV- 2000A.

A análise microscópica da *Spirulina platensis* foi realizada utilizando-se o microscópio Leica ICC50, comparando a testemunha e o tempo 0. As imagens foram registradas imediatamente após a reidratação da amostra com água destilada.

O teste de Dunnet foi aplicado, utilizando como testemunha o produto in natura, e os tratamentos foram considerados a avaliação no tempo 0 de cada temperatura de secagem. Assim selecionou-se a melhor temperatura de secagem. O software Assistat 7.7. foi utilizado nas análises estatísticas.

3.2.2. Experimento 2

O experimento foi conduzido de 01 de agosto de 2015 a 30 de janeiro de 2016, totalizando 6 meses de armazenamento.

O delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (4 x 7), sendo quatro temperaturas de secagem (30, 40, 50 e 60 °C), e 7 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias) foi utilizado para análise dos resultados obtidos.

As amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar em quatro temperaturas diferentes (30, 40, 50 e 60 °C) até atingirem o teor de água ideal de $\pm 8\%$ b.u., para o armazenamento. Em seguida foram trituradas com a utilização de um liquidificador. Posteriormente, 100 gramas do produto em forma de pó foi acondicionado em embalagens de polietileno, de cor branca com tampa rosqueável, em 3 repetições, totalizando 72 embalagens. As embalagens foram armazenadas em temperatura ambiente, durante 6 meses.

As análises físico-químicas desenvolvidas durante o experimento foram as mesmas do experimento 1: teor de água, porcentagem de proteína bruta, porcentagem de cinzas, cor e clorofila

a, em três repetições. Foram feitas análises nos períodos (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias de armazenamento) afim de avaliar os compostos ao longo do armazenamento.

Durante o período experimental as temperaturas, nas condições de armazenamento, foram registradas por meio de um sistema de aquisição de dados via Wireless. O sistema de aquisição de dados foi composto por duas placas “Xbee”, versão 1.0. Em uma das placas “Xbee” foram conectados quatro sensores de temperatura do tipo diodo capacitivo. A outra placa foi utilizada para receber os dados coletados e armazená-los em um microcomputador. Em cada par de sensores, um media a temperatura de bulbo seco e o outro a de bulbo molhado. Para obter-se o sensor registrando bulbo molhado, este foi envolvido em um tecido de algodão em contato com um recipiente com água destilada. O intervalo de registro dos dados foi de 1 segundo, durante 180 dias de armazenamento.

Os dados experimentais do armazenamento foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de significância, com o auxílio do Software SISVAR 5.3.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Experimento 1

A Tabela 8 são apresentados os valores médios e os desvios das variáveis estudadas nas diferentes temperaturas e após a secagem.

TABELA 8. Valores médios e desvios das variáveis analisadas depois da secagem, e em diferentes temperaturas (30, 40, 50, e 60 °C) da *Spirulina platensis*.

FV T (°C)	Teor de água (%b.u.)	Teor de Cinzas (%)	Proteína Bruta (%)	Clorofila ⁺ (mg g ⁻¹)	L	-a*	b*
30	9,58*±0,36	5,47*±0,0	70,78±3,26	1,52±0,28	30,18±0,57	8,36*±0,07	8,21*±0,32
40	8,56*±0,31	5,57*±0,0	74,89±1,47	1,86±0,53	31,45±2,15	10,28*±0,2	11,51*±0,66
50	9,28*±0,19	5,2±0,0	75,65±4,9	1,36±0,75	30,44±0,74	8,58*0,02	9,72*±0,09
60	8,29*±1,14	9,29*±0,0	63,57*±2,8	3,00±4,73	32,83*±0,09	4,18*±0,14	12,85±0,24
Testemunha	82,4± 0,66	5±0,26	77,74±8,04	2,17±1,28	29,01±0	11,78±0,22	13,63±0,38
DMS (Dunnett)	1,49	0,28	11,03	0,94	2,47	0,35	0,91
CV (%)	2,68	1,92	6,45	20,02	3,40	1,73	3,45
Desvio Padrão	30,43	1,66	6,52	3,38	1,60	2,64	2,09

* A média difere estatisticamente da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$); ⁺ = dados transformados em $\sqrt{x}$; L, a* e b* são parâmetros de cor.

Conforme a Tabela 8, nota-se que a melhor temperatura de secagem para *Spirulina platensis* foi a temperatura de 50 °C, pois apresentou a menor diferença da testemunha (produto in natura) de acordo com as análises avaliadas. Obtiveram os valores de cinzas de 5,196%, proteínas de 75,648%, clorofila de 1,362 e o parâmetro de luminosidade L= 30,442, sendo o da testemunha valores próximos e que não diferenciou estatisticamente, de cinzas de 5,001%, proteínas de 77,740%, clorofila de 2,172 e L= 29,010.

Oliveira et al. (2010), analisaram que os parâmetros ideais para secagem de camada fina da microalga *Spirulina platensis* em relação a perda de ficocianina e oxidação lipídica, nas temperaturas de secagem de 50 a 70 °C e espessuras do produto de 3 a 7 mm. Encontraram melhores resultados na temperatura de 55 °C com uma espessura de 3,7 mm. Também foi constatado que a composição de ácidos graxos permanece constante comparando com a microalga in natura e a microalga seca.

Zepka et al. (2008), analisaram a microalga *Aphanothece* em relação as proteínas e lipídios, utilizando diferentes temperaturas de secagem e diferentes espessuras do produto e obtiveram melhores condições de secagem em 7 mm de espessura e temperatura secagem de 60 °C. Nota-se que a temperatura de secagem e a espessura do produto tem influência as análises realizadas.

O teor de água diferenciou da testemunha por ter perdido água durante a secagem. Sendo que a redução do teor de água contribui significativamente para manter a qualidade do produto armazenado.

Outros parâmetros que diferenciaram da testemunha foram o a* e b* (parâmetros de cor). O parâmetro de cor a* representa as cores vermelha (+) ou verde (-), a *Spirulina platensis* se encontra na localização -a*, comprovando a sua coloração esverdeada. O parâmetro de cor b* representa as cores amarela (+) ou azul (-), sabendo-se que a *Spirulina platensis* se encontra graficamente na posição +b*, amarelada. Quanto menor os valores de a* e b*, menor é a tonalidade do produto em relação a cada cor estudada, o produto se torna mais claro.

Em relação ao parâmetro -a*, nota-se na Tabela 10 que todas as temperaturas diferem da testemunha (produto in natura), comprovando que a secagem alterou a tonalidade de cor do produto em estudo. Sendo assim, a temperatura de secagem de 60 °C foi a mais afetada em termos de coloração verde, tornando o produto com uma tonalidade mais clara.

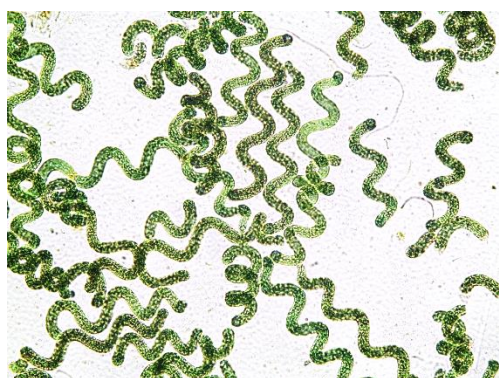
No parâmetro +b*, nota-se que a única temperatura que não diferenciou da testemunha foi a de 60 °C, com uma tonalidade de cor amarelada maior que as demais temperaturas.

Borel et al. (2015), relataram que a mudança dos parâmetros colorimétricos durante a secagem, frequentemente indica a ocorrência de reações de escurecimento, enzimático ou não enzimático, no material.

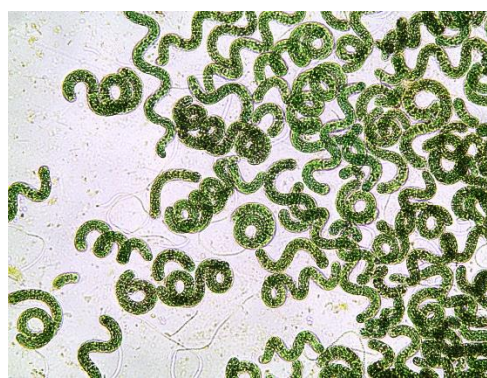
As Figuras 13 e 14, mostram a estrutura da *Spirulina platensis* testemunha (in natura) e depois da secagem em diferentes temperaturas.



FIGURA 13. Análise microscópica da *Spirulina platensis* testemunha (in natura).



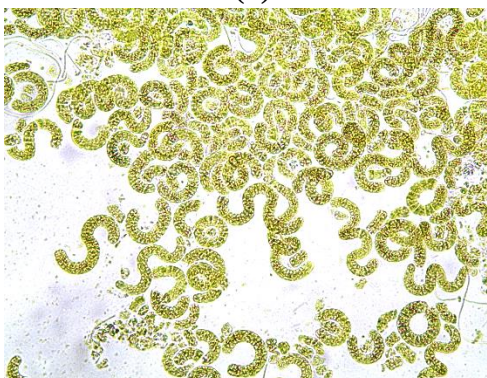
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 14. Análise microscópica da *Spirulina platensis* após a secagem em diferentes temperaturas: (a) Temperatura de 30 °C; (b) Temperatura de 40 °C; (c) Temperatura de 50 °C; (d) Temperatura de 60 °C.

Nota-se, na Figura 13, que a *Spirulina platensis* é caracterizada por cadeias de células em forma de espirais (tricomias). Durante a secagem ocorreram pequenas quebras dos tricomas nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, devido ao produto ter sido triturado após a secagem (Figura 14).

Nota-se ainda que a tonalidade do filamento da *Spirulina platensis*, diminuiu em função da temperatura do ar de secagem. Não foi observado nenhum dano nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, confirmando os bons resultados para a perda de proteínas, conforme Tabela 8. Porém, em todas as temperaturas verificou-se que as bordas do produto ficaram mais claras após a secagem. Também notou-se que a temperatura de 50 °C manteve os tricomas semelhantes ao produto in natura (Figura 13 e Figura 14 (c)).

Observa-se visualmente, nas Figuras 13 e 14, uma diferença em relação a quantidade de quebra e cor da temperatura de 60 °C, mostrando os danos causados pela temperatura de secagem na *Spirulina platensis*. Esse resultado é confirmado pela perda de proteínas durante a secagem e, o aumento da porcentagem de cinzas do produto, Tabela 8. Comparando a Figura 14 (d) com os resultados presentes na Tabela 8, verifica-se a imagem da *Spirulina platensis* com uma cor mais clara, corroborando com os resultados: o produto se ficou com uma tonalidade verde clara, uma tonalidade maior de amarelo, e a iluminância se aproximou mais do branco.

Desmorieux e Hernandez (2004), analisaram a microfotografia da spirulina in natura e seca nas temperaturas de 40, 60 e 120 °C, na secagem por convecção e infravermelho, e observaram, que na temperatura de 40 °C não houve nenhum dano pelos dois métodos de secagem. Contudo, houveram danos no filamento para as temperaturas superiores ou iguais a 60 °C, modificações na fronteira do filamento e diminuição do brilho do filamento.

3.3.2. Experimento 2

A temperatura média e a umidade relativa no ambiente de armazenamento, no período avaliado são apresentadas na Figura 15.

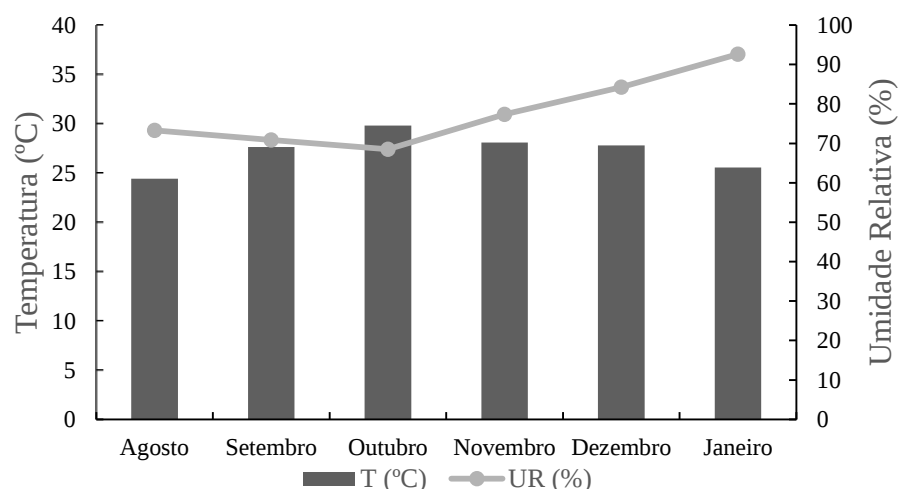


FIGURA 15. Temperatura média e umidade relativa média em condições de ambiente de armazenamento, em Anápolis-Goiás, durante o armazenamento de *Spirulina platensis*.

Na Figura 15, verifica-se que a temperatura média durante o armazenamento de *Spirulina platensis* nas condições ambiente de laboratório em Anápolis - Goiás foi de, $27,21 \pm 2$ °C, variando de $24,40 \pm 2$ °C que foi a média mais baixa registrada no mês de agosto e $29,79 \pm 2$ °C média mais alta registrada no mês de outubro. Nota-se ainda que a umidade relativa média variou de 68,52 até 92,65 %, sendo o mês de outubro a média mais baixa e o mês de janeiro a mais alta, tendo como umidade relativa média geral de 77,81%.

As condições climáticas do ambiente são dependentes da localização geográfica, os quais são os fatores mais importantes que afetam o produto armazenado (FARONI, 1998). A umidade relativa e a temperatura do ambiente, e também o tipo de embalagem são os fatores que afetam diretamente o teor de água do produto. O conhecimento destas variáveis é essencial para a determinação das condições adequadas ao armazenamento (WARHM, 1996).

Na Tabela 9 é mostrado o resumo da análise de variância das variáveis estudadas na secagem da *Spirulina platensis* em diferentes temperaturas (30, 40, 50 e 60 °C) e durante o armazenamento por 6 meses.

TABELA 9. Resumo da análise de variância das variáveis estudadas, expressa pelo quadrado médio, da *Spirulina platensis* em diferentes temperaturas de secagem e tempos de armazenamento.

FV	GL	Teor de água (%b.u.)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Clorofila ⁺ (mg g ⁻¹)	L	a*	b*
T	3	4,885**	80,420**	476,093**	4,322**	44,206**	89,651**	28,054**
A	6	5,445**	1,246**	28,604*	0,810*	13,546**	12,622**	2,127**
T x A	18	0,477*	0,244**	18,041**	0,196*	2,212*	6,19**	2,344**
Resíduo	56	0,237	0,020	7,491	0,105	0,992	0,068	0,227
CV(%)		5,87	2,19	3,95	15,52	3,29	2,92	4,82
Média Geral		8,301	6,538	69,273	2,090	30,311	8,939	9,883

**= significativo a 1% de significância pelo teste F; *= significativo a 5% de significância pelo teste F; + = Dados transformados em $\sqrt{x}$; L, a* e b* são parâmetros de cor.

Conforme a Tabela 9, nota-se que houve diferença para os fatores isolados e para as interações temperatura x armazenamento em todas as variáveis estudadas.

Na Figura 16, foram avaliados os valores do teor de água em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

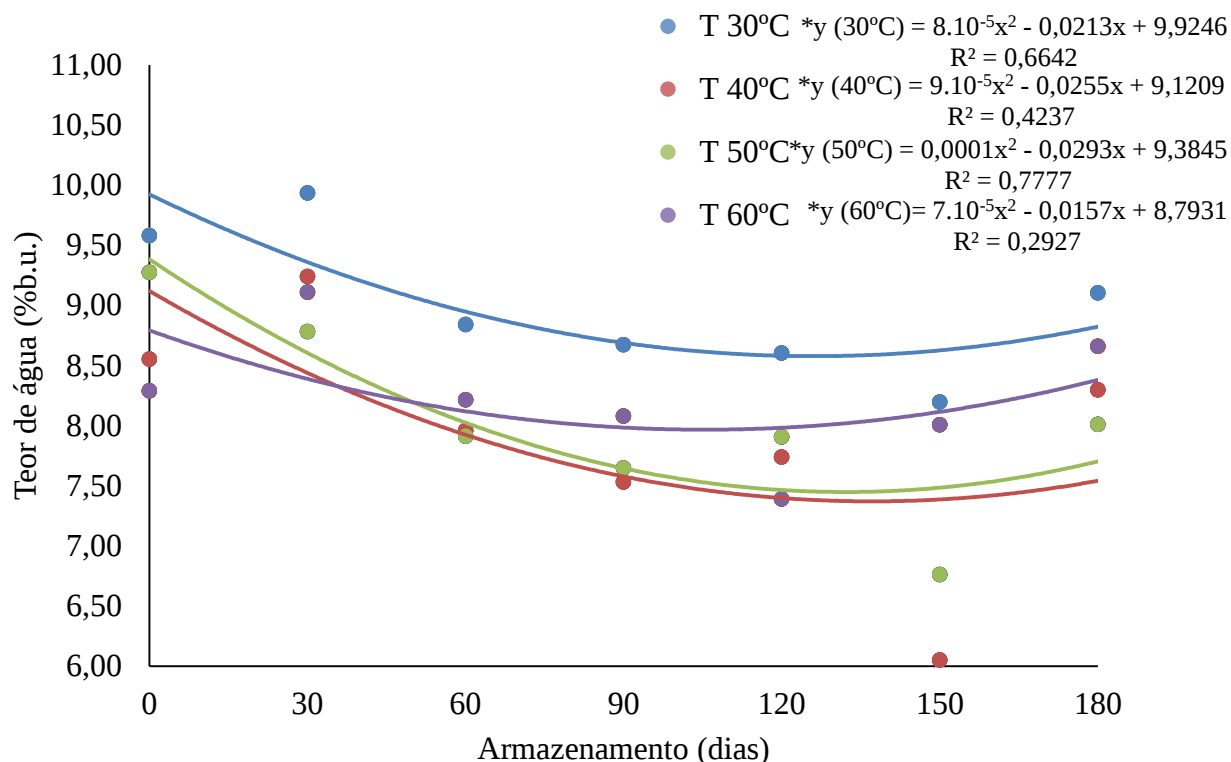


FIGURA 16. Teor de água da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

O teor de água da *Spirulina platensis*, que inicialmente encontrava-se, aproximadamente 8% (b.u.), sofreu alterações ao longo do armazenamento. Nota-se na Figura 16, que conforme decorrem os dias de armazenamento do produto o teor de água diminui, sendo o menor valor (%b.u.) aos 120 dias de armazenamento. Esta redução do teor de água observada na *Spirulina platensis* armazenada é resultado do equilíbrio higroscópico dos produtos agrícolas com as condições do ambiente de armazenamento. Este fato é explicado por meio do fenômeno de dessorção que ocorre quando a pressão de vapor do produto é maior que a do ar circundante, realizando assim uma transferência de vapor de água para o ar. Mas nos últimos dois meses (dezembro e janeiro) houve uma diminuição da temperatura ambiente e um aumento da umidade relativa pela ocorrência de períodos chuvosos, fazendo com que ocorresse um aumento do teor de água do produto. Este fato pode ser explicado pelo fenômeno da adsorção (sendo o contrário da dessorção), a pressão de vapor do produto é menor que a do ar do ambiente inserido, realizando uma transferência de vapor de água para o produto, consequentemente, aumentando o teor de água do produto.

Os fenômenos descritos mostram que as embalagens de polietileno utilizadas em condições de ambiente de armazenamento não foram eficientes pois, possibilitaram trocas de água do produto com o ambiente, mostrando que houve permeabilidade da embalagem. As embalagens

que não permitam esta troca, são mais eficientes e impedem as flutuações no teor de água do produto.

Silva et al. (2014a), utilizando também embalagem de polietileno para armazenar sementes de feijão-comum em câmara fria a 10 °C e 65% de umidade relativa do ar demonstrou que a embalagem foi eficiente em impedir trocas de água da semente com o ambiente, assegurando menor deterioração da semente em função da elevação do teor de água. Com isso pode-se concluir que pela embalagem de polietileno por ser considerada uma embalagem impermeável, uma possível relação com a vedação das tampas, que possibilitou trocas de umidade com o meio inserido.

Vários autores citam a ocorrência de redução ou aumento do teor de água do produto relacionando com a permeabilidade da embalagem: Smaniotto et al. (2014) utilizando sacos plásticos de polipropileno para sementes de soja, Zonta et al. (2014) utilizando embalagens de plástico em sala refrigerada (18 a 20 °C e 55 a 60% de U.R.) para sementes de pinhão manso, Brito et al. (2015) utilizando embalagens flexíveis laminadas para grãos residuais de urucum, Coradi et al. (2015), com grãos de soja armazenados na temperatura de 10 °C em sacos de papel permeável,

Diversos trabalhos relatam o mesmo comportamento ocorrido mostrando oscilações do teor de água do produto armazenado em vários tipos de embalagens: Juvino et al. (2014), estudando a soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento utilizaram embalagens individuais de papelão mantidas em câmara climatizada (18 ± 2 °C) e em ambiente natural (25 ± 2 °C), Lima et al. (2014) para sementes de girassol utilizaram embalagens de saco papel, papel multifoliado, polietileno preto e garrafa pet e armazenadas nos ambientes: câmara fria e seca (10 °C e 55% UR), em condições ambientais de Fortaleza-CE (30-32 °C e 75% UR), geladeira (4 °C e 38 a 43% UR) e freezer (-20 °C), Paraginski et al. (2015), estudando grãos de milho armazenados em nas temperaturas de 5, 15, 25 e 35 °C em sacos de polietileno, Zucareli et al. (2015), com sementes de feijão utilizando sacos de papel multifoliado e armazenadas em dois ambientes: ambiente natural de Londrina-PR e câmara seca.

Na Figura 17, foram avaliados os valores de teor de cinzas em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

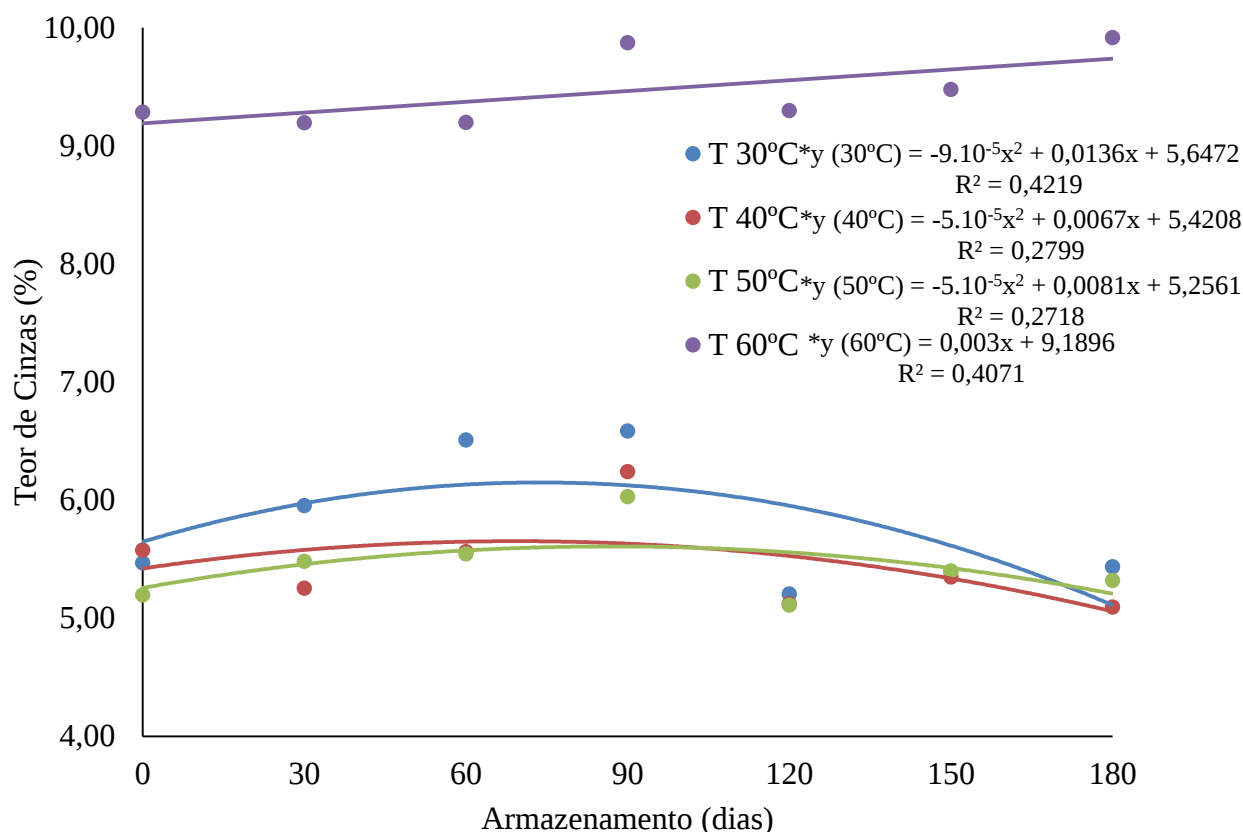


FIGURA 17. Teor cinzas da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

Na Figura 17, nota-se que a temperatura de secagem de 60°C teve maior porcentagem de cinzas em relação as demais, em todo o período do armazenamento, mostrando uma deteriorização mineral da *Spirulina platensis*. Ainda, pode-se notar que em torno da temperatura de secagem de 40 °C e 50 °C são os menores valores de porcentagem de cinzas no produto.

Vários trabalhos relatam um aumento do teor de cinzas em consequência da elevação da temperatura de secagem. Borges et al. (2006), estudando a farinhas de semente de abóbora observaram que com a elevação da temperatura também ocorre aumento a quantidade de teor cinzas, de 4,553 a 60 °C passou para 4,715 a 70 °C. Grassi e Ponsano (2015), com gemas de ovos desidratadas por atomização o teor de cinzas aumentou de 4,24% em uma temperatura de 90 °C para, 4,88% a 150 °C. Severo et al. (2015), com farinhas de palma observou um aumento de 12,30% na temperatura de secagem de 70 °C para 12,76% na temperatura de 90 °C.

Na Figura 17, verifica-se que houve um pequeno aumento da porcentagem do teor cinzas ao longo dos dias de armazenamento. Estes resultados podem ser explicados por meio da atividade metabólica dos produtos agrícolas e dos microrganismos associados que consomem a matéria orgânica, metabolizando até CO₂, água e outros produtos, com liberação de calor. Assim podem transformar estruturalmente a composição mineral sem alterar o seu conteúdo total. Desta forma,

a determinação do teor de cinzas assume valores proporcionalmente maiores à medida que a matéria orgânica é consumida (MUIR et al., 2000; TIECKER JUNIOR et al., 2014).

Na Figura 18, foram avaliados os valores de proteína bruta em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

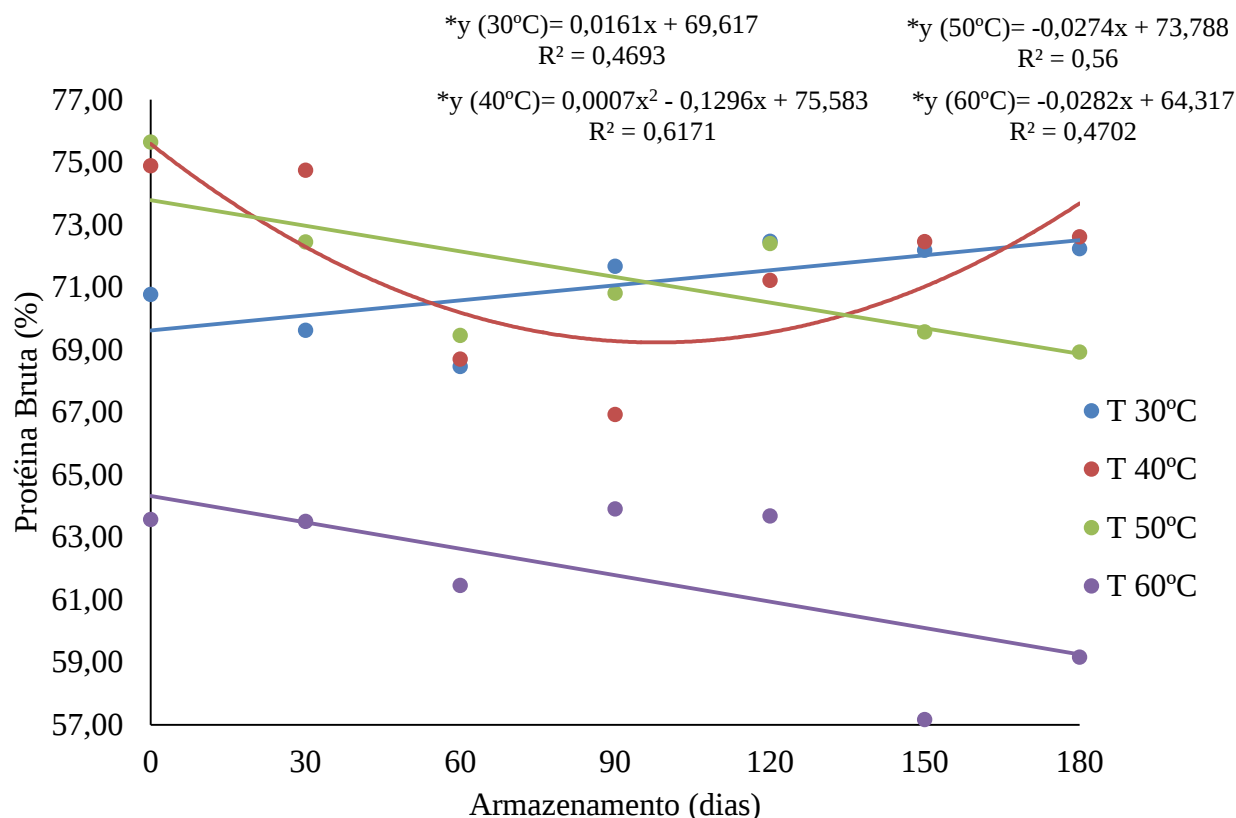


FIGURA 18. Proteína bruta da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

De acordo com a Figura 18, nota-se que a temperatura de secagem mais baixa (30 °C) contém um menor teor de proteína bruta em comparação as temperaturas superiores de 40 e 50 °C. Sendo, a faixa com maior teor de proteína bruta entre 40 a 50 °C. As temperaturas superiores a 50 °C tiveram uma grande degradação de proteína bruta, ocasionando a perda da qualidade nutricional do produto. Este fato ocorrido mostra que a *Spirulina platensis* deve ser seca dentro da faixa de menor perda do teor de proteína, ou seja, 40 até 50 °C.

Carvalho et al. (2009) observaram que a temperatura de secagem mais baixa, 27 °C, para secagem de amostras de milho para alimentação animal obteve 10,22% de teor de proteína bruta, enquanto na utilização da temperatura de 100 °C obteve uma maior quantidade de proteína 10,39% de matéria seca. Com isso infere-se que nem sempre a temperatura de secagem mais baixa é a mais eficiente, podendo degradar o teor de proteína bruta.

Santos et al. (2013), observaram a degradação de proteína bruta com altas temperatura de secagem em grãos de soja, utilizando as temperaturas de 60, 80 e 100°C, e concluíram que a temperatura de 60 °C apresentou o maior teor de proteína e a temperatura de 100 °C o menor.

Em relação ao armazenamento os teores de proteína bruta mostraram um suave aumento na temperatura de 30 °C. Enquanto em temperatura mais elevadas houve uma redução dos valores ao longo do armazenamento.

Eichelberger et al. (2002) verificaram que durante o armazenamento de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) houve a degradação das proteínas por meio da solubilização. Esses autores ainda observaram correlação positiva entre os teores de proteína solúvel e a germinação, durante o armazenamento. Donadon et al. (2015) também relataram uma queda gradativa nos valores de proteína bruta durante o armazenamento de crambe. Brito et al. (2015) utilizaram grãos residuais de urucum armazenados durante 90 dias e relataram essa diminuição da proteína bruta durante o armazenamento.

Os valores de proteína bruta da *Spirulina platensis* encontrados são semelhantes aos obtidos na literatura por: Silva et al. (2014b); CORÁ et al. (2015); LARROSA et al. (2015) e; LEAL (2015).

A Figura 19, foram avaliados os valores de clorofila em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

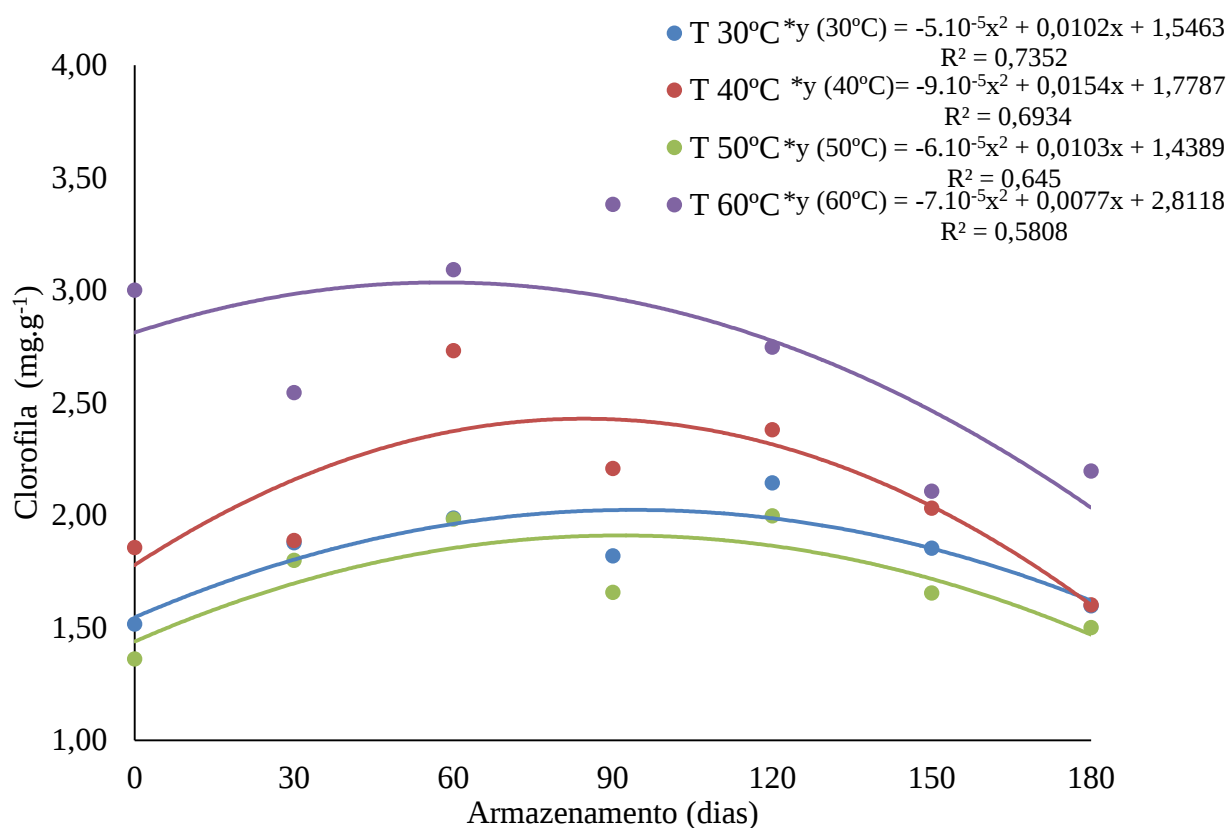


FIGURA 19. Clorofila da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

Conforme a Figura 19, ocorre um aumento da quantidade de clorofila devido a elevação da temperatura de secagem. As temperaturas entre a faixa de 30 a 40 °C mostraram os menores valores em relação a quantidade de clorofila no produto. Durante o armazenamento houveram oscilações da quantidade de clorofila, mostrando uma diminuição da quantidade.

Trail et al. (1992) também verificaram essa oscilação da quantidade de clorofila em vagens verdes armazenadas a 10 °C. As vagens apresentaram aumento no conteúdo de clorofila após quatro dias de armazenamento, seguido de degradação até o 16º dia de armazenamento. Palharini et al. (2015), também estudando vagem minimamente processada, observaram a mesma alteração, no quarto dia houve elevação do teor de clorofila e no sétimo dia uma degradação no teor de clorofila, finalizando o armazenamento.

Paoletti et al. (1980), citam que a composição da clorofila presente na *Spirulina platensis* varia de 0,8 a 1,5% de matéria seca. Os resultados obtidos nesse trabalho são valores próximos aos obtidos por Huarachi-Olivera et al. (2015), que também estudaram a *Spirulina platensis*.

Vários autores vêm estudando a quantidade de clorofila presente em diversos produtos agrícolas, e conseguindo resultados próximos aos deste trabalho. Gama et al. (2014) utilizaram diferentes métodos para analisar do teor de clorofila em folhas de Cajuí (*Anacardium* sp. L.) verificaram que folhas jovens apresentaram 2,7 mg.g⁻¹ de clorofila. Arruda et al. (2014) determinaram dos teores de clorofila em *Solanum paniculatum* e obtiveram o valor de 1,58 mg.g⁻¹ de clorofila no produto.

A clorofila é o pigmento utilizado para realizar a fase fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, (STREIT et al., 2005). A clorofila tem um papel fundamental no processo de bioconversão de energia, sendo mais uma de suas utilizações (MORO et al., 2015). Contudo pode notar que o teor de clorofila da *Spirulina platensis* depende da sua forma de cultivo, sendo influenciável pela quantidade de intensidade de luz na hora de sua produção, fazendo que o teor de clorofila por célula diminui quando a intensidade da luz aumenta (HUARACHI-OLIVERA et al., 2015).

Na Figura 20, foram avaliados os valores do parâmetro de luminosidade (L) em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

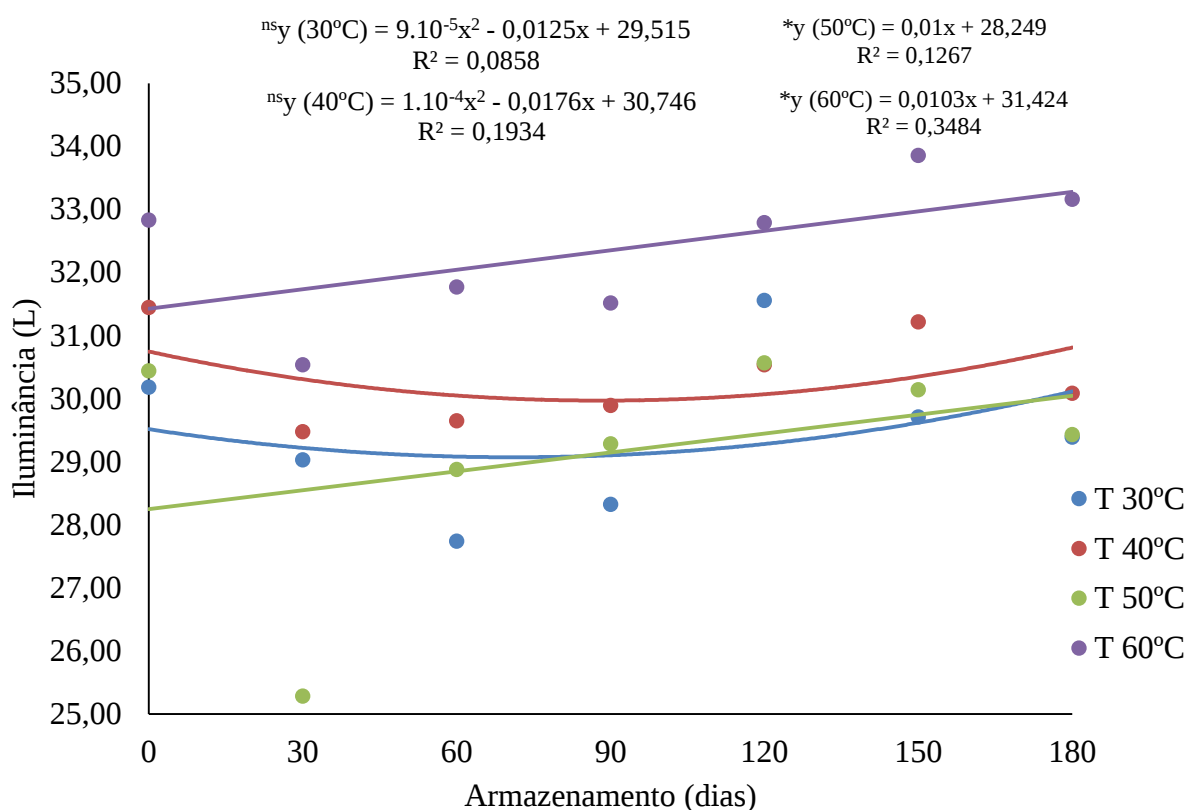


FIGURA 20. Parâmetro de luminosidade L da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

De acordo com a Figura 20, nota-se que não houve diferença da luminosidade de cor para a faixa de temperatura na faixa de 30 a 50 °C. Na temperatura de 60 °C os valores de luminosidade apresentaram aumento, demonstrando um clareamento do produto com o aumento da temperatura. Os valores das coordenadas em relação à Luminosidade (L^*) variam de 0 a 100, sendo escura a próxima de 0 e branca a próxima de 100. Esse aumento dos valores de Luminosidade (L), pode ser explicado pela quebra de pigmentos da *Spirulina platensis* em elevadas temperaturas de secagem. Sabendo-se que a *Spirulina platensis* contém três tipos de pigmentos: ficobilinas, carotenoides, e clorofilas. Não sendo a perda de clorofila pois, como foi observado anteriormente nas temperaturas de secagem mais elevadas teve um aumento deste pigmento.

A *Spirulina platensis* apresentou valores médios do índice L^* sempre acima de 50, correspondente a tonalidades claras.

Grassi e Ponsano et al. (2015), estudando a desidratação de gemas de ovos na secagem por atomização em diferentes temperaturas, notaram que na temperatura de 90 °C o valor do parâmetro L^* foi de 91,64, enquanto na secagem a 120 °C o L^* encontrado foi de 92,37, evidenciando o clareamento do produto com o aumento da temperatura. Mussi e Pereira (2015), também relataram que no jambolão, de coloração característica roxo escuro, o parâmetro L^* de

luminosidade aumentou, ficou mais claro a partir dos 50 min na temperatura de secagem de 60 °C. Mesmo fato que pode ser observado neste trabalho.

Em relação ao armazenamento observou-se um incremento da variável “L” o último dia de análise de armazenamento. Tal fato pode ser notado em vários trabalhos com diversos produtos agrícolas, como: Freitas et al. (2011), estudando ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento, Pereira et al. (2015) observando a influência das condições de armazenamento nas características físicas e químicas de goiaba (*psidium guajava*), Oliveira et al. (2015) estudando a cinética de degradação de cores de frutas frescas refrigeradas.

Na Figura 21, foram avaliados os valores do parâmetro de cor a* em relação a temperatura de secagem e ao tempo de armazenamento.

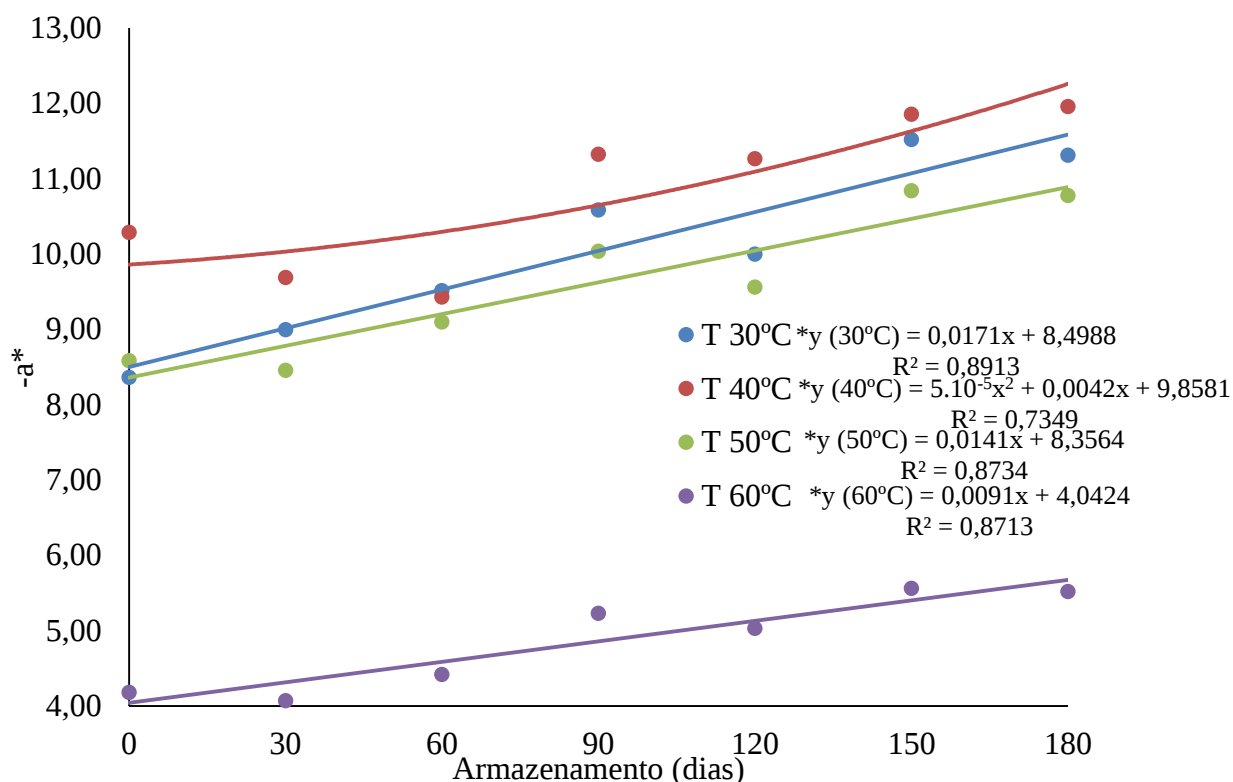


FIGURA 21. Parâmetro de cor $-a^*$ da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

Segundo Silva (2007), valores positivos de a^* indicam cores vermelhas, enquanto valores negativos representam cores verdes.

De acordo com a Figura 21, conforme há um aumento das temperaturas de secagem os valores do parâmetro $-a^*$ (cores esverdeadas) sofre um aumento, diminuindo a tonalidade de verde no produto. Quanto mais altos são os valores do parâmetro, maior é a tonalidade da cor. Verificou-se também as cores mais intensas de verde na temperatura de secagem de 40 °C. Porém, durante o armazenamento este parâmetro não sofreu alterações.

Alguns autores relatam este comportamento do parâmetro $-a^*$ em outros produtos agrícolas: Ferreira et al. (2014), caracterizando a polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro, observaram uma coloração menos intensa em relação a polpa no parâmetro $-a^*$. Mews et al. (2015), estudaram a polpa de goiaba microencapsulada obtida por spray-dryer e observaram um decréscimo significativo na tonalidade vermelha, coordenada a^* , após o processo de secagem, tendendo a uma tonalidade rósea.

Na Figura 22, foram avaliados os valores do parâmetro de cor b^* em relação as temperaturas de secagem e ao tempo de armazenamento.

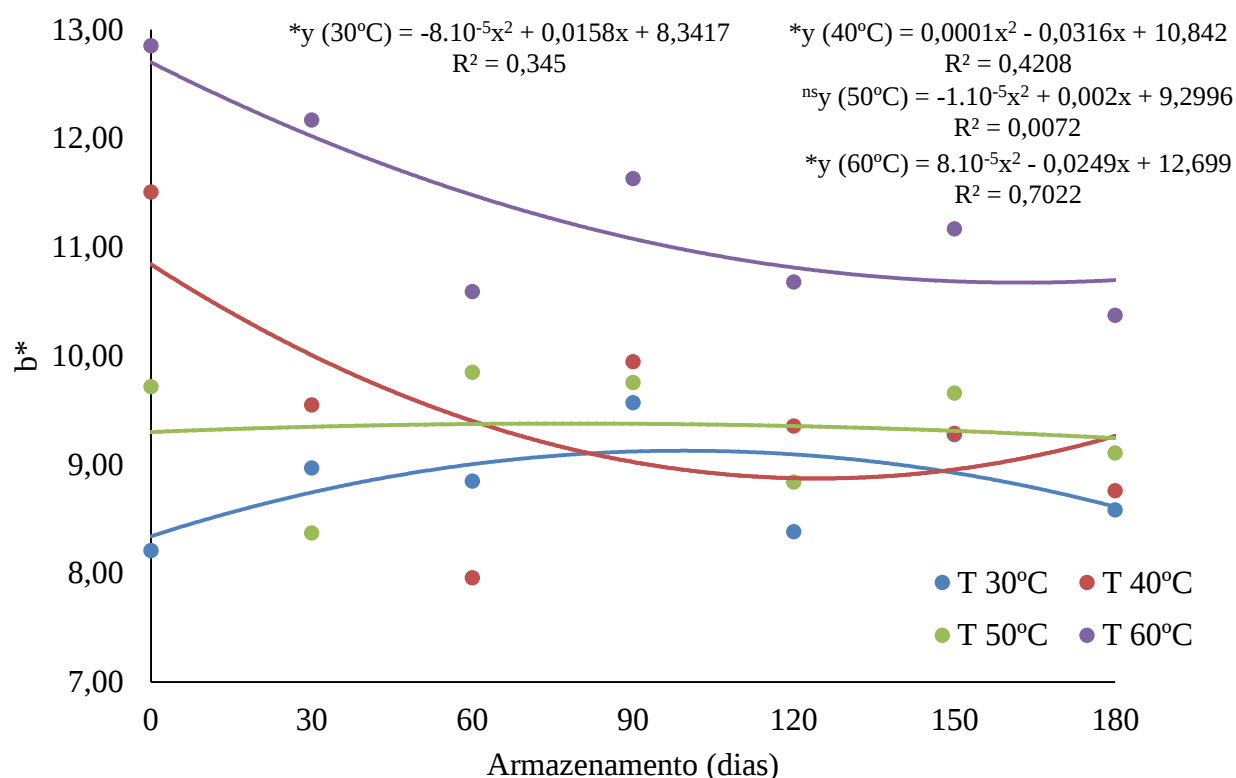


FIGURA 22. Parâmetro de cor b^* da *Spirulina platensis*, em função das temperaturas de secagem e tempo de armazenamento.

De acordo com a Figura 22, é possível avaliar que ao longo do armazenamento o valor do parâmetro b^* aumenta gradativamente nas temperaturas de 30 e 50°C. E as temperaturas de 40 e 60°C há um decaimento destes valores. O aumento do parâmetro mostra uma diminuição na tonalidade de amarelo do produto, enquanto o decaimento dos valores deste parâmetro mostra um aumento na tonalidade de amarelo (produto amarelado).

Faria et al. (2012) também relataram este mesmo comportamento do parâmetro b^* , obtendo um produto com uma tonalidade maior de amarelo, avaliando o efeito da adição de extratos de algas (alga *Porphyra umbilicalis* e alga *Laminaria japonica*) na estabilidade de azeite aromatizado.

Nota-se que é comum ter modificações deste parâmetro em relação as temperaturas de secagem e ao tempo armazenamento.

3.4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- A melhor temperatura de secagem foi a de 50 °C;
- A temperatura e a umidade relativa do ar do ambiente de armazenamento influenciaram diretamente no teor de água do produto, devido a permeabilidade ao vapor d'água da embalagem de polietileno;
- Na faixa de temperatura de 40 a 50 °C ocorreram as menores porcentagens de cinzas e maiores valores de teores proteicos.
- Houve aumento da quantidade de clorofila com a elevação da temperatura de secagem. E durante o armazenamento, houveram oscilações da quantidade de clorofila, mostrando uma diminuição da quantidade de clorofila no produto.
- Na temperatura de 60 °C os valores de luminosidade (L) apresentaram aumento, demonstrando o clareamento do produto com o aumento da temperatura;
- O parâmetro $-a^*$ nas temperaturas mais altas sofreram um decréscimo perdendo a tonalidade do verde;
- A elevação da temperatura de secagem e também o aumento dos dias de armazenamento, afetou o parâmetro b^* , tornando o produto com uma tonalidade amarelada.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis of A.O.A.C.** International. 16 th ed. Arlington: A.O.A.C., 1995. 949 p.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v.24, n.1, p. 1-15, 1949.

ARRUDA, C. T. B. S.; BARBOSA, A.; ESPINHEIRA, I. H. L.; LOPES, S. S. M.; SILVA, A. B.; MAPELI, A. M. Uso de diferentes métodos na determinação dos teores de clorofila em *Solanum paniculatum* no Cerrado do Oeste da Bahia. **Orbital-The Electronic Journal of Chemistry**, Barreiras, v. 6, n. 0, supl. 1, p. 01-02, 2014.

BARROS, N. **Cores na alimentação**. 2010. Disponível em: < <http://nutricao-nob.blogspot.com.br/search/label/prato%20colorido>>. Acesso em: 27 Out. 2015.

BENAMOUN, L.; AFZAL, M. T.; LÉONARD, A. Drying of alga as a source of bioenergy feedstock and food supplement—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 50, p. 1203-1212, 2015.

BORGES, S. V.; BONILHA, C. C.; MANCINI, M. C. Sementes de jaca (*artocarpus integrifolia*) e de abóbora (*curcubita moschata*) desidratadas em diferentes temperaturas e utilizadas como ingredientes em biscoitos tipo cookie. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 3, p. 317-321, 2006.

BOREL, L.; LINHARES, M. C.; PRADO, M.; MARCELO, D. Cinética de degradação da cor de pólen apícola durante a secagem infravermelho. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1581-1590, 2015.

BRITO, J. G.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M.; OLIVEIRA, A. D. S. Armazenamento de grãos residuais de urucum sob atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1185-1191, 2015.

CARVALHO, D. C. O.; ALBINO, L. F. T.; VARGAS JUNIOR, J. G.; TOLEDO, R. S.; OLIVEIRA, J. E.; SOUZA, R. M. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 850-856, 2009.

CHIATTONI, L. M.; MACHADO, M. R. G.; RODRIGUES, R. S.; SOARES, L. A. S. Influência do consumo de diferentes níveis de *Spirulina* no desenvolvimento e perfil lipídico de ratos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 2, p. 142-148, 2015.

COLLA, L. M.; MUCCILLO-BAISCH, A. L.; COSTA, J. A. V. *Spirulina platensis* effects on the levels of total cholesterol, HDL and triacylglycerols in rabbits fed with a hypercholesterolemic diet. **Brazilian archives of biology and technology**, Curitiba, v. 51, n. 2, p. 405-411, 2008.

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; CAMILO, L. J.; PRADO, R. L. F.; FERNANDES, T. C. Qualidade de grãos de soja armazenados em baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 9, n. 3, p. 197-208, 2015.

CORÁ, J.; MOREIRA, J.; TERRA, A.; COSTA, J.; MORAIS, M. G. A potencialidade da biomassa de *spirulina* sp. Leb 18 como matéria prima na concepção de uma biorrefinaria. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 633-639, 2015.

DESMORIEUX, H.; HERNANDEZ, F. Biochemical and physical criteria of *Spirulina* after different drying processes. In: **Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS)**, B. 2004. p. 900-907.

DONADON, J. R.; BESSA, J. F.; RESENDE, O.; CASTRO, C. F. D. S.; ALVES, R. M.; SILVEIRA, E. V. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte II- Qualidade química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 231-237, 2015.

EICHELBERGER, L.; MAIA, M. S.; PESKE, S. T.; MORAES, D. M. Composição química de sementes de azevém em resposta ao retardamento da secagem e ao armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.693-701, 2002.

FARIA, A. S. **Avaliação do efeito da adição de extratos de algas (alga *Porphyra umbilicalis* e alga *Laminaria japônica*) na estabilidade de azeite aromatizado**. 74f. Tese. Doutorado em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar, Instituto Politécnico de Leiria, Peniche, 2012.

FARONI, L.R.D.A. Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados, 1998 p.1-15.

FIGUEIRA, F. D. S.; CRIZEL, T. M.; SILVA, C. R.; SALLAS-MELADO, M. M. Pão sem glúten enriquecido com a microalga *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 4, p. 308-316, 2011.

FERREIRA, A.; SOUSA, S.; LIMA, D.; COSTA, J. Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 3997-4004, 2015.

FREITAS, L. W.; PAZ, I. C. L. A.; GARCIA, R. G.; CALDARA, F. R.; SENO, L. O.; FELIX, G. A.; LIMA, N. D. S.; FERREIRA, V. M. O. S.; CAVICHIOLO, F. Aspectos qualitativos de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 11, p. 66-72, 2011.

GAMA, A. D. S.; CAVALCANTE, P. D. H.; SOARES, E. K. S.; BARROS, F. N.; OLIVEIRA, I. S. T.; SANTANA, J. D. O.; MAPELI, A. M. Utilização de diferentes métodos para análise do teor de clorofila em folhas de Cajuí (*Anacardium* sp. L.). **Orbital-The Electronic Journal of Chemistry**, Barreiras, v. 6, n.0, supl. 1, p. 1, 2014.

GRASSI, T. L. M.; PONSANO, E. H. G. Desidratação de gemas de ovos por secagem por atomização em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1186-1191, 2015.

HUARACHI-OLIVERA, R.; YAPO-PARI, Ú.; DUEÑAS-GONZA, Á.; GONZÁLEZ-JUÁREZ, R.; CONDORI-HUAMANGA, J.; PACHECO-SALAZAR, D. G.; SOTO-FLORES, J. Adaptabilidad de *Spirulina (Arthrospira) platensis (Cyanophyta)* en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. **Idesia (Arica)**, Chile, v. 33, n. 1, p. 103-112, 2015.

JUVINO, A. N. K.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; SALES, J. F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.8, p.844-850, 2014.

LARROSA, A.; SILVA, K. T.; LAMAS, G.; SOARES, V.; PINTO, L. Secagem de *spirulina* sp. em leito de jorro: efeito da temperatura nas características do produto desidratado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 3955-3961, 2015.

LEAL, B. E. S. **Obtenção de oligossacarídeos prebióticos a partir da hidrólise fosfórica da biomassa de microalgas utilizadas na biomitigação de CO₂ de efluente gasoso de churrascaria**. 120f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

LIMA, D. C.; DUTRA, A. S.; PONTES, F. M.; BEZERRA, F. T. C. Armazenamento de sementes de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, n.2, p.361- 369, 2014.

LINCHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, New York, v.148, p. 350-382, 1987.

MEWS, L.; CARMINATTI, R.; PORCU, O.; OVIEDO, M. Coordenadas de cor e carotenóides totais em polpa de goiaba microencapsulada obtida por spray dryer. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 3480-3488, 2015.

MORAIS, M. G.; MIRANDA, M. Z.; COSTA, J. A. V. Biscoitos de chocolate enriquecidos com *Spirulina platensis*: características físico-químicas, sensoriais e digestibilidade. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 3, p. 323-328, 2009.

MORO, A. L.; BROETTO, F.; MORO, E. Relação hídrica e teor de clorofila em dois cultivares de arroz submetido à deficiência hídrica e adubação silicatada. **IRRIGA**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 570, 2015.

MUIR, W. E.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Controlled atmosphere storage. In: MUIR, W. E. (Ed.) Grain Preservation Biosystems. Manitoba: University of Monitoba, 2000. cap. 19, 20 p.

MUSSI, L. P.; PEREIRA, N. R. Estudo fluidodinâmico e avaliação da secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1489-1496, 2015.

OLIVEIRA, E.G.; DUARTE, J.H.; MORAES, K.; CREXI, V.T.; PINTO, L.A. Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. **International journal of food science and technology**, London, v. 45, n. 8, p. 1572-1578, 2010.

OLIVEIRA, E. B.; GURJÃO, F. F.; GOUVEIA, D. S.; ROCHA, A. P. T.; NUNES, E. N. Cinética de degradação de cores de frutas frescas refrigeradas. **Agropecuária Técnica**, Paraíba, v. 36, n. 1, p. 183-189, 2015.

PALHARINI, M. C.; SANTOS, C. A.; SIMIONATO, E. M.; KODAWARA, R. K.; KLUGE, R. A. Dióxido de cloro no controle da microbiota e do escurecimento enzimático de vagem minimamente processada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 181-188, 2015.

PAOLETTI, C.; LE PECQ, J. B.; DAT-XUONG, N.; JURET, P.; GARNIER, H.; AMIEL, J. L.; ROUESSE, J. Antitumor activity, pharmacology, and toxicity of ellipticines, ellipticinium, and 9-hydroxy derivatives: preliminary clinical trials of 2-methyl-9-hydroxy ellipticinium (NSC 264-137). In: **Cancer Chemo-and Immunopharmacology**. Springer Berlin Heidelberg, 1980. p. 107-123.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 358-363, 2015.

PEREIRA, T.; CARLOS, L. D. A.; OLIVEIRA, J. G.; MONTEIRO, A. R. Influência das condições de armazenamento nas características físicas e químicas de goiaba (*psidium guajava*), cv. Cortibel de polpa branca. **Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, 2015.

PEREZ, K. J.; GUARIENTI, C.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M. Viabilidade de bactérias lácticas em iogurte adicionado de biomassa da microalga *Spirulina platensis* durante o armazenamento refrigerado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 77-82, 2008.

RABELO, S. F.; LEMES, A. C.; TAKEUCHI, K. P.; FRATA, M. T.; CARVALHO, J. C. M. D.; DANESI, E. D. G. Development of cassava doughnuts enriched with *Spirulina platensis* biomass. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 42-51, 2013.

ROCHA, D. S.; REED, E. Pigmentos Naturais em Alimentos e sua Importância para a Saúde. **Estudos**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014.

SANTOS, C. D. **Avaliação das melhores condições de secagem de grãos de soja visando à manutenção do teor de proteínas**. 65f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SEVERO, D. S.; ARAÚJO, A. D. S.; DEODATO, J. N.; SILVA, C. C. M.; ALVES, G. S. Elaboração e caracterização físico-química e microbiológica da farinha da palma (*Opuntia ficusindica* Mill) em diferentes temperaturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 4, p. 30-33, 2015.

SILVA, A. R. D.; MEIRA, R. R.; OLIVEIRA, J. M. D.; SILVA, A. R. D.; RIBEIRO, N. R.; SILVA, L. M. D. Extração de pigmentos fotossintéticos em folhas das espécies de café (*Coffea arabica*), acálifa (*Acalypha hispida*) e urucum (*Bixa orellana*) por meio de cromatografia em papel. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2013, 3 p.

SILVA, R. A.; PETTER, C. O.; SCHNEIDER, I. A.H. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.60, n.3, p.477-482, 2007.

SILVA, M. M.; SOUZA, H. R. T.; SOUZA DAVID, A. M. S.; SANTOS, L. M.; SILVA, R. F.; AMARO, H. T. R. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão-comum produzidas no norte de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, Barreiras, v. 8, n. 1, p. 97-103, 2014a.

SILVA, T. S.; SILVA, K. T.; SANTOS, D. D.; LARROSA, A.; PINTO, L. Análise das propriedades funcionais protéicas da *Spirulina* sp. seca em leito de jorro. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 754-759, 2014b.

SMANIOTTO, T. D. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014.

STREIT, N.M., CANTERLE, L.P., CANTO, M.W., HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p. 748-755, 2005.

TIECKER JUNIOR, A.; GUIMARÃES, L. E.; CASTRO, B.; DEL PONTE, E. M. E. R. S. O. N.; DIONELLO, R. Qualidade físico-química de grãos de milho armazenados com diferentes umidades em ambiente hermético e não hermético. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 174-186, 2014.

TRAIL, M. A.; WAHEM, I. A.; BIZRI, J. N. Snap bean quality changed minimally when stored in low density polyolefin film package. **Journal of food science**, v. 57, n. 4, p. 977-979, 1992.

WARHM, E. J. A. Comparison of packing materials for seed with particular reference to humid environments. **Seed Science and Technology**, v.14, n.1, p.191-211, 1996.

WONG, K.; CHEUNG, P. C. Influence of drying treatment on three *Sargassum* species 2. Protein extractability, in vitro protein digestibility and amino acid profile of protein concentrates. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 51-58, 2001.

ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E.; GOLDBECK, R.; QUEIROZ, M. I. Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothece microscopica* Nägeli submitted to different drying conditions. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 47, n. 8, p. 1305-1310, 2008.

ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F.; ZONTA, J. H.; DIAS, L. A. S.; RIBEIRO, P. H. Armazenamento de sementes de pinhão manso em diferentes embalagens e ambientes. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 30, n. 5, suppl. 2, p. 599-608, 2014.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; WERNER, F.; JÚNIOR, E. U. R.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 803-809, 2015.