

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**PALOMA BENEDITA DA SILVA**

**SANGUE BOVINO EM PÓ: ANÁLISE FÍSICA**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2019**

PALOMA BENEDITA DA SILVA

**SANGUE BOVINO EM PÓ: ANÁLISE FÍSICA**

Trabalho Final de Curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba-UFPB, como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Josilene de Assis Cavalcante.

João Pessoa – PB

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S586s Silva, Paloma Benedita da.  
SANGUE BOVINO EM PÓ: ANÁLISE FÍSICA / Paloma Benedita  
da Silva. - João Pessoa, 2019.  
42f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CCEQ/CT.

1. solubilidade. 2. camada de espuma. 3. adsorção. 4.  
Sigmoidal. I. Cavalcante, Josilene de Assis. II. Título.

UFPB/BC

**PALOMA BENEDITA DA SILVA**

**SANGUE BOVINO EM PÓ: ANÁLISE FÍSICA**

Trabalho Final de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia  
Química como requisito necessário para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Química.

Aprovado em 19/03/2019

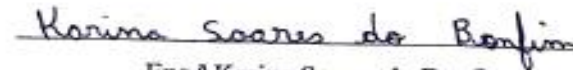
**BANCA EXAMINADORA**



Prof.ª. Dr.ª Josilene de Assis Cavalcante (Orientadora)



Eng.ª Jessica Kelly da Silva negreiros



Eng.ª Karina Soares do Bonfim

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

À minha mãe Ana e meu namorado Jandson, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

A professora Josilene, pela oportunidade, suporte, confiança em mim depositada e carinho que sempre me foi dado. Por ser um exemplo para mim e me ensinar sempre o valor da honestidade e da gratidão, e a sempre buscar e fazer o meu melhor.

À minha amiga Francikelly por ter sido a pessoa com quem aprendi a compartilhar a vida, obrigada pelo carinho, paciência, conversas, por me ensinar que abraço pode ser bom e por me trazer a paz e a alegria na correria de cada semestre. Te Amo amiga.

Aos meus amigos Angeolino, Jéssica, João, Karina e Thalita por estarem comigo desde o início, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

À Clediana, por toda ajuda e por se tornar uma amiga valiosa que quero sempre ter presente na minha vida.

Aos amigos do Laboratório de Termodinâmica obrigada por toda ajuda e paciência que estiveram comigo e saibam que tudo ficou bem com vocês.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“São as nossas escolhas que revelam o que  
realmente somos, muito mais do que as nossas  
qualidades”

(Alvo Dumbledore)

## RESUMO

O sangue bovino é uma solução coloidal, constituída de diversas proteínas, enzimas, sais minerais, lipídeos, células, glicose e vitaminas, ele é muito utilizado em outros países com alimentação humana a fim de enriquecer o alimento. A quantidade de sangue gerada no Brasil é muito elevada e o uso para alimentos insignificante, sendo a maior parte empregada descartada no meio ambiente. Para facilitar o armazenamento e evitar a proliferação de microrganismos pode-se transformar esse sangue líquido em um pó e através da secagem em camada de espuma. O objetivo do trabalho foi fazer análises físicas do pó e obter as isotermas de adsorção do pó do sangue bovino. Foram analisados: a atividade de água, umidade, teor de cinzas, lipídios e solubilidade do pó. A isoterma foi feita nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C com o pó obtido nas condições experimentais do fatorial mínimo, fatorial máximo, ponto central de um planejamento experimental e o pó do sangue obtido por liofilização. Os ajustes foram feitos pelo modelo de Oswin com o auxílio dos softwares Statistica 7.0. Os resultados da caracterização do pó foram satisfatórios tanto para os pós secos em camada de espuma quanto para o pó seco por liofilização; para a atividade de água o maior valor medido foi de 0,199. As curvas das isotermas de adsorção obtidas foram do Tipo II, ou Sigmoidal. Os ajustes foram todos satisfatórios e estatisticamente significativos com valores do  $R^2$  entre 0,8 e 0,9 num intervalo de 95% de confiança. As curvas das isotermas de adsorção apresentaram praticamente o mesmo comportamento.

Palavras-chave: solubilidade; camada de espuma; adsorção; Sigmoidal.

## ABSTRACT

Bovine blood is a colloidal solution, consisting of several proteins, enzymes, minerals, lipids, cells, glucose and vitamins, it is widely used in other countries with human food in order to enrich the food. The amount of blood generated in Brazil is very high and the use for food insignificant, with most of it being disposed of in the environment. To facilitate storage and to prevent the proliferation of microorganisms this liquid blood can be transformed into a powder and through foam-layer drying. The objective of the work was to make physical analyzes of the powder and obtain the adsorption isotherms of the bovine blood powder. The activity of water, moisture, ash content, lipids and solubility of the powder were analyzed. The isotherm was done at temperatures of 15 ° C, 25 ° C and 35 ° C with the powder obtained under the experimental conditions of the minimum factorial, maximum factorial, center point of an experimental design and the powder of the blood obtained by lyophilization. The adjustments were made by the Oswin model with the help of Statistica 7.0 software. The results of the dust characterization were satisfactory for both the *foam-mat drying* powders and the dry powder by lyophilization; for water activity, the highest measured value was 0.199. The adsorption isotherms curves obtained were Type II, or Sigmoidal. The adjustments were all satisfactory and statistically significant with R<sup>2</sup> values between 0.8 and 0.9 in a 95% confidence interval. The curves of the adsorption isotherms presented practically the same behavior.

Keywords: solubility; *foam-mat drying*; adsorption; Sigmoidal.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	18
2.1. OBJETIVO GERAL.....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1. SANGUE BOVINO.....	19
3.2. SECAGEM.....	21
3.3. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	22
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
4.1. MATÉRIA PRIMA.....	26
4.2. OBTENÇÃO DO PÓ.....	26
4.3. ANÁLISES FÍSICAS DO PÓ DO SANGUE BOVINO.....	27
4.3.1. Atividade de Água.....	27
4.3.2. Umidade.....	27
4.3.3. Solubilidade.....	28
4.3.4. Teor de Cinzas.....	28
4.3.5. Teor de Lipídios.....	29
4.4. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	31
5.1. ANÁLISES FÍSICAS DO PÓ DE SANGUE BOVINO.....	31
5.1.1. Atividade de água.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.1.2. Umidade.....	33
5.1.3. Solubilidade.....	34
5.1.4. Teor de Cinzas.....	35
5.1.5. Teor de Lipídios.....	36
5.2. ISOTERMA.....	37
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O sangue bovino é um dos principais resíduos provenientes de abatedouros, pois além de ter um odor muito forte quando em estado de decomposição, ele também possui uma coagulação bastante rápida, e isto pode acarretar problemas para os abatedouros (MARTINS, 1993).

Por ter propriedades muito interessantes, como o seu teor alto de proteínas, o uso do sangue bovino na alimentação humana proporciona um aumento no valor nutricional do alimento, pois além da proteína, ele é muito rico em ferro, isso é muito importante para tratar doenças como a anemia (PADILHA, 2006).

Uma das formas mais tradicionais de recuperação das proteínas do sangue é a secagem, que deve ser desenvolvida em condições estritamente controladas, para evitar a desnaturação da proteína, o que alteraria completamente as propriedades funcionais (ROCHA, 1992). Além do pó facilitar a conservação, transporte e estocagem do material.

A secagem é uma operação de simultânea troca de calor e massa com mudança de fase, em que o ar aquecido transfere energia na forma de calor ao alimento suficiente até atingir o equilíbrio. Os fatores que governam esse mecanismo de transferência determinam a taxa de secagem. Os principais fatores são as condições psicrométricas, a velocidade do ar de secagem, o tempo de residência e a condição do produto e suas características (BOEIRA et. al., 2007).

Entre os tipos de secagem, tem-se a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), que é uma técnica na qual os alimentos líquidos podem ser transformados em pó utilizando agentes emulsificantes, com vantagens de ser mais simples, secagem mais rápida, custo operacional menor, possibilita o uso de temperaturas mais baixas durante a secagem, preservando melhor o sabor e o valor nutricional (MARQUES et al., 2009).

A técnica de secagem em camada de espuma representa uma alternativa para as micro e pequenas empresas comparada a outros métodos de secagem para alimentos líquidos, como a secagem pulverizada (*spray drying*), secagem com tambor rotativo (*drum drying*) e liofilização (*freezing drying*), por ser mais barata e simples.

Quando um material é exposto a certa umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente (TREYBALL, 1968).

Spieß e Wolf (1983) definem a umidade de equilíbrio como sendo o conteúdo de umidade que este material apresenta quando a pressão de vapor da água em sua superfície se iguala a pressão de vapor da água do ar que envolve o alimento.

As atividades de água ou umidade relativa, comumente conhecidas como isotermas de sorção, são as curvas de equilíbrio, compostas pelas umidades de equilíbrio do material correspondentes às umidades relativas para uma dada temperatura. Portanto, uma isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (PARK et al., 2001)

As isotermas de adsorção de umidade são muito utilizadas para determinar através da atividade de água, um tipo de embalagem para que a vida útil do produto seja a maior possível (ALEXANDRE et al., 2007). As curvas são previstas através de modelos matemáticos, que são facilmente encontrados na literatura. Não há uma equação geral para todos os tipos de isotermas, pois a atividade de água varia de acordo com a composição do material analisado (PARK, et al., 2001).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Análise física do pó do sangue bovino obtido pela secagem em camada de espuma e por liofilização.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar análises de atividade de água, umidade, teor de cinzas, teor de lipídios e solubilidade do pó do sangue bovino obtido pela secagem em camada de espuma e por liofilização.
- Obter as isotermas de adsorção, nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C, do pó do sangue bovino obtido nas condições experimentais dos fatoriais 1 mínimo, máximo e central do planejamento experimental
- Obter as isotermas do pó do sangue bovino *in natura* liofilizado nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C.
- Utilizar o modelo matemático para ajuste das isotermas de adsorção.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### 3.1. SANGUE BOVINO

O sangue bovino é uma solução coloidal, constituída de diversas proteínas, enzimas, sais minerais, lipídeos, células, glicose e vitaminas, como pode ser observado na Tabela 1, sendo em maior teor a proteína (SOBRAL, 1987).

Sobral (1987), ainda nos diz que o sangue é constituído por duas frações: a plasmática, de coloração clara e rica em proteínas e a celular, de coloração vermelha devido ao alto teor de hemoglobina.

Tabela 1 – Composição do sangue bovino

<b>Constituinte</b>	<b>Concentração (g/L)</b>
<b>Proteínas</b>	194,0
<b>Lipídios</b>	1,8
<b>Glicídios</b>	1,0
<b>Sais Minerais</b>	9,0

Fonte: Adaptado de SOBRAL (1987)

Por ser uma abundante fonte de proteína, muitos países utilizam o sangue bovino na alimentação humana, como por exemplo na Suécia onde a maior parte do sangue obtido nos abatedouros são destinados para essa finalidade. Porém, no Brasil o uso do sangue para fins alimentícios não é muito comum (DORLY, 1984).

Segundo Padilha (2006), no Brasil há uma deficiência muito grande em alimentos ricos em ferro, pois o número de casos de anemia é grande principalmente a anemia do tipo a ferropriva. Isso poderia ser mudado já que o sangue é uma fonte enorme de ferro, que além de ser baixo custo e fácil aplicação, ainda ajudaria na proteção do meio ambiente.

Cerca de 90 milhões de litros de sangue são disponíveis no Brasil, o que é uma quantidade muito elevada, onde a maior parte é destinada a produção de fertilizantes ou descartado no meio ambiente (RENUNCIO, 1997).

Na Tabela 2 pode-se observar uma diversidade de utilizações de subprodutos e aplicações na indústria do sangue bovino.

Tabela 2 - Usos e aplicações do sangue bovino

<b>Ramo/Atividade</b>	<b>Usos/Aplicações</b>
-----------------------	------------------------

Fertilizantes	Estabilizar o pH do solo, revestimento de sementes, componente minerais
Rações animais	Estabilizador de vitaminas, substituto do leite, suplemento de lisina, componentes nutricionais
Laboratorial	Meios de cultura, carvão ativado, esfingomielinas, catalises, agar-sangue, albuminas, glicerofosfato
Medicinal	Suturas, provas de aglutinação, imunoglobulinas; técnicas de fracionamento, fatores de coagulação, produtos de fibrina, serotonina, aditivos de plasma, entre outros.
Industrial	Indústria cerâmica, adesivos, aditivos para resina; finalizadores de curtição de couros e tecidos, coadjuvantes em inseticidas pulverizantes, substituto da clara de ovo em panificação, espumas para extintores de incêndio, fabricação de cerâmica e plástico, formulações a base de plásticos e cosméticos, etc.
Alimentação humana	Estabilizante, clarificante, emulsificante, composto nutricional, corantes.

Fonte: PADILHA (2006)

A grande resistência ao uso do sangue não estaria no consumidor dos produtos finais, mas em restrições impostas pelas indústrias, como os custos de coleta higiênica, de conservação refrigerada e o de secagem. Para reverter essa situação, é necessário desenvolver uma maneira simples e barata que estimule o aproveitamento do sangue em nível de abatedouros (SOBRAL, 1987).

Os abatedouros são estabelecimentos que tem o maior potencial poluidor, portanto, eles procuram processar o sangue bovino o mais rápido possível após o abate. O mais comum é a utilização para a produção da farinha de sangue, e ainda tem aqueles que infelizmente despejam o sangue diretamente em cursos de águas naturais, poluindo assim o meio ambiente (MARTINSe GUZMAN, 1993).

A presença do sangue em formulações, por sua vez, pode modificar significativamente a cor dos produtos, o que desestimula a utilização dele em alguns casos. Por isso o plasma tem emprego mais amplo nas formulações de produtos cárneos, como salsichas, presuntos, patês e hambúrgueres, além do uso em sopas, panificação e confeitaria, pois possui propriedades funcionais e não altera as características organolépticas do produto final (AURICCHIO et al., 2010).

Existem duas maneiras para a coleta do sangue higienicamente: o sistema aberto, onde o sangue é coletado mediante vasilhas especiais colocadas diretamente contra o corte do

animal, evitando o seu contato com a pele, para reduzir os níveis de contaminação. Porém, ainda assim esse tipo de coleta apresenta altos riscos de contaminação já que o sangue chega a entrar em contato com o ar, e pode até entrar em contato com a pele do animal. E o sistema fechado, onde são utilizadas facas especiais de sangria que são introduzidas diretamente no sistema arterial, e o sangue flui através de um tubo de plástico de grau alimentício, para o recipiente devidamente higienizado, contendo ou não anticoagulante, dependendo da finalidade do sangue (SOBRAL, 1987).

Por sofrer facilmente deterioração química, enzimática e microbiológica o sangue bovino necessita de um tratamento que pode ser baseado na utilização de substâncias químicas, na redução da temperatura ou na remoção de água. Além de sofrer uma rápida coagulação logo após o corte, podendo entupir redes de esgoto de abatedouro, sofre também rápida decomposição ocasionando odores, promovendo o crescimento de bactérias e atraindo insetos e roedores (SOLARTE, 2011).

O anticoagulante mais utilizado para o sangue é o citrato de sódio, que foi utilizado a 0,5% do volume de sangue por Sobral (1987) e a uma concentração de 0,2% no trabalho de Martins (1993). Segundo Martins (1993), o citrato de sódio é o agente sequestrante dos íons cálcio presentes no sangue, evitando assim a sua coagulação, como esses íons são essenciais para a coagulação, a adição desse anticoagulante mantém o sangue em sua fase líquida.

Grande parte do sangue oriundo de abatedouros é coagulada e desidratada em secadores rotativos para a obtenção de farinha de sangue, que pode ser comercializada como ração animal (ALFA LAVAL, 2007). O processo de coagulação e secagem em secadores rotativos prejudica a qualidade do produto final. Por isso, não é possível utilizar farinha de sangue proveniente destes processos para a alimentação humana.

### 3.2. SECAGEM

A secagem envolve a remoção de umidade, numa transferência de massa e calor, de um sólido ou semi-sólido numa temperatura inferior a temperatura de ebulição do líquido na pressão do sistema (PACHECO, 2010).

Como há a diminuição da atividade de água, o produto é preservado, pois, a deterioração diminui, aumenta a estabilidade e reduz o volume, combinando a economia no transporte e armazenamento com a redução da massa, viabilizando assim o processo (MELO et. al., 2013).

Entre as várias técnicas de secagem, destaca-se a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), onde nesse método, um concentrado líquido ou semilíquido, sob a forma de uma espuma estabilizada, por meio da adição de agentes espumantes, sob agitação em equipamento adequados, é submetido à desidratação em fina camada de espuma (FURTADO et al., 2010), em temperaturas relativamente baixas (SANKAT e CASTAIGNE, 2004), até teor de umidade desejado.

Essa técnica apresenta como principais desvantagens, em relação a outros métodos, a necessidade de grande área de superfície de secagem para que consiga atender a elevadas taxas de produção, o que eleva o custo do investimento e a presença de aditivos que podem alterar (SOARES, 2009).

Como conservar o sangue em sua forma líquida por refrigeração é bastante caro, pois, tem um grande consumo de energia, transporte e armazenamento, é utilizado o método da secagem, em condições especificamente controladas, para obtenção do pó o que seria mais viável na conservação (ROCHA, 1992). A secagem também é um meio de evitar o crescimento de microrganismos, permitindo a preservação da qualidade do produto para o consumo (SANTOS et al., 1997).

Essa técnica de secagem tem como vantagens as baixas temperaturas e curtos tempos de secagem. Essas vantagens ocorrem devido à maior área de superfície exposta ao ar quente, provocada pela formação de espuma. Com isso a velocidade com que a água é removida é acelerada e no final obtêm-se um produto poroso e de fácil reidratação (CARNEIRO, 2008).

### 3.3. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

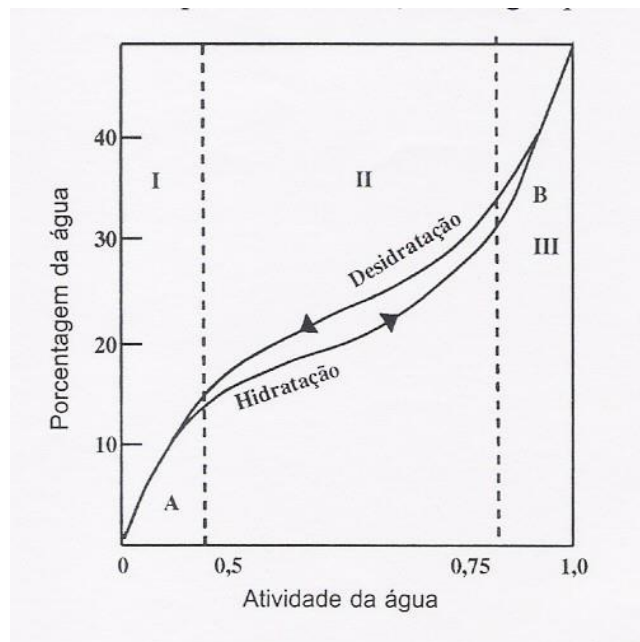
As isotermas de adsorção são curvas que descrevem a relação entre a atividade de água ( $a_w$ ) e a umidade dos alimentos (IGLESIAS e CHIRIFE, 1982). O estudo da isoterma é importante pois, como o pó do sangue bovino obtido pela secagem em camada de espuma pode adsorver umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente a que estiver exposto, pode-se assim fazer a predição do tempo de prateleira e assim poder determinar o tipo de embalagem para ser utilizada para melhor conservação (JOWITT, 1981).

Os resultados são apresentados como curvas de umidade de equilíbrio, também chamadas de isotermas de adsorção de água (CHEN e CLAYTON, 1971). As isotermas podem ser de adsorção, onde um material seco é colocado em um ambiente onde sua umidade relativa é aumentada aos poucos, sendo medido sua umidade adsorvida, ou de dessorção, onde

o material úmido é colocado em um ambiente para que haja a perda dessa umidade para que assim possa ser medido a quantidade de umidade perdida (LABUZA, 1986).

O teor de umidade de equilíbrio de um material higroscópico, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa, depende do caminho que se segue para alcançar a umidade de equilíbrio. Assim, para uma mesma umidade relativa, pode haver duas isotermas, denominadas de isoterma de adsorção e dessorção, Figura 1, obtidas em função das condições experimentais iniciais. Isto porque o material pode apresentar um conteúdo de umidade menor ou maior que a umidade de equilíbrio para as condições do ambiente (LABUZA, 1986).

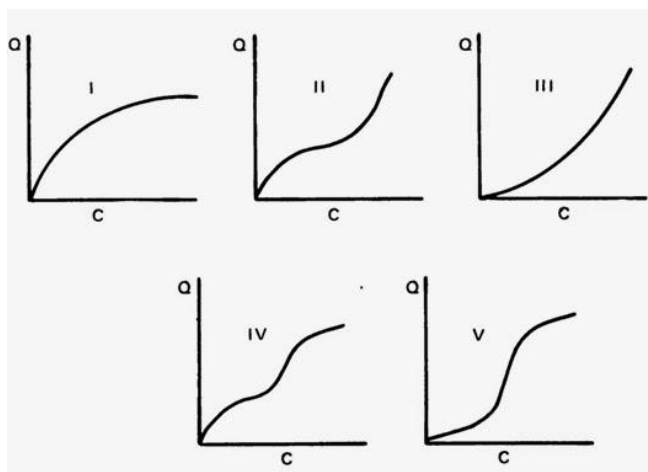
Figura 1- Curvas de equilíbrio na secagem



Fonte: LABUZA (1986)

De acordo com Brunauer et al. (1940), as isotermas de adsorção são classificadas de acordo com a sua forma, que podem ser cinco: a do Tipo I, a do Tipo II, a Tipo III a do Tipo IV e a do tipo V, como se pode ver na Figura 2. O tipo I é conhecido como Isoterma de Langmuir e o tipo II, Isoterma Sigmoidal (ou forma de S). Os outros três tipos não recebem nomes especiais

Figura 2 – Tipos de isotermas de adsorção.



fonte: Brunauer et al. (1940).

Os materiais higroscópicos geralmente apresentam isothermas do Tipo II e uma característica que vale ser destacada é na isoterma de Tipo III que são mais comuns em produtos ricos em componentes solúveis (PEZANTES, 2006; BRUNAUER et al., 1940). As isothermas também podem apresentar três regiões dependendo da condição da água que nela está presente: A região A, onde a água está ligada a sítios ativos e sem disposição para reações e é uma região côncava para o eixo de atividade de água ( $a_w$ ). A região B, onde a água encontra-se com uma ligação mais fraca, aqui há disposição para reações. E a região C, onde a água está em grande quantidade e a umidade condensa nos poros dos materiais (FORTES e OKOS, 1980 apud CAVALCANTE, 2003).

As isothermas de polímeros hidrofílicos, tal como fibras naturais, e de alimentos são do tipo II. Isothermas de borracha hidrofílica, plástico, fibras sintéticas e alimentos ricos em componentes solúveis são do tipo III. Isothermas de certos materiais inorgânicos (tal como óxido de alumínio) são do tipo IV. Porém para muitos materiais, as isothermas não podem ser classificadas dessa forma, podendo enquadrar-se em mais de um tipo (BRUNAUER et al., 1940).

Na literatura são encontrados modelos matemáticos capazes de prever o comportamento das isothermas de adsorção (Tabela 3).

Tabela 3 – Modelos matemáticos para prever o comportamento das isotermas.

MODELO	EQUAÇÃO
<b>BET linear</b>	$X_e = \frac{X_e * C_{BET} * aw}{(1 - aw) * (C_{BET} - 1) * aw}$
<b>GAB</b>	$X_e = \frac{X_m * C_{GAB} * aw}{[(1 - K_{GAB} * aw) * (1 - K_{GAB} * aw + C_{GAB} * K_{GAB} * aw)]}$
<b>HALSEY</b>	$aw = \exp\left[\frac{-A}{X_e^B}\right]$
<b>OSWIN</b>	$X_e = A * \left(\frac{aw}{1-aw}\right)^B$
<b>HENDERSON</b>	$1 - aw = \exp(-kX_e^n)$
<b>HENDERSON modificado</b>	$1 - aw = \exp(-kTX_e^n)$

Fonte: PARK et al (2001)

Onde,

A, B, C<sub>BET</sub>, C<sub>GAB</sub>, K<sub>GAB</sub>, n = constantes das equações

X<sub>e</sub> = umidade de equilíbrio expressa em base seca; (g água/g massa seca)

X<sub>m</sub> = umidade da monocamada molecular; (g água/ g massa seca)

R= constante universal dos gases; (J/ mol K)

T = temperatura; (K)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB).

### **4.1. MATÉRIA PRIMA**

O sangue bovino foi cedido pelo abatedouro HONORATO & ARAÚJO, localizado na zona rural de Santa Rita na Paraíba. O sangue foi coletado diretamente em garrafas Pet transparentes pelo sistema aberto adaptado, onde após o corte na jugular do boi a garrafa PET foi aproximada para coleta do sangue. O citrato de sódio Tribásico Anidro na concentração de 5% foi utilizado como anticoagulante e as garrafas foram conservadas em refrigerador.

### **4.2. OBTENÇÃO DO PÓ**

#### **4.2.1 Liofilização**

Com a finalidade de verificar se a técnica de secagem em camada de espuma utilizada no trabalho interfere nas características do produto final, foi obtido pó por liofilização, sendo analisado igualmente como os pós obtidos por secagem em camada de espuma. Inicialmente o sangue foi acondicionado em recipiente que foi congelado por 48 h, após esse tempo o recipiente foi levado para a liofilização, onde nesse processo consiste na desidratação dos alimentos, que passam por um procedimento de congelamento prévio, onde a quantidade de água é reduzida através do processo de sublimação (transformação de moléculas de água em vapor), para que depois passe para um procedimento de secagem, constituído em duas fases, secagem primária e secagem secundária.

#### **4.2.1 Camada de espuma**

O pó do sangue bovino por secagem em camada de espuma foi obtido pelo estudo de Oliveira (2017), o qual foi feito mediante um planejamento experimental fatorial

experimental,  $2^3 + 3$  pontos centrais, totalizando 11 experimentos, utilizando como variáveis: a concentração do espumante (3, 4,5 e 6%) -; tempo de agitação (5, 7 e 9 minutos) e temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C). O espumante utilizado foi o Emustab®.

Tabela 4 – Matriz do planejamento experimental fatorial e suas variáveis independentes.

<b>Experimentos</b>	<b>C (%)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>t<sub>ag</sub> (min)</b>
<b>1</b>	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)
<b>2</b>	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)
<b>3</b>	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)
<b>4</b>	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)
<b>5</b>	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)
<b>6</b>	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)
<b>7</b>	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)
<b>8</b>	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)
<b>9</b>	4,5 (0)	60 (0)	7,0 (0)
<b>10</b>	4,5 (0)	60 (0)	7,0 (0)
<b>11</b>	4,5 (0)	60 (0)	7,0 (0)

C - concentração ; T –temperatura ; t<sub>ag</sub> – tempo de agitação .

### 4.3 ANÁLISES FÍSICAS DO PÓ DO SANGUE BOVINO

Foram realizadas análises físicas para o pó do sangue bovino obtido por secagem em camada de espuma (seguindo o planejamento fatorial de Oliveira (2017) e por liofilização, sendo essas análises: atividade de água, umidade, solubilidade, teor de cinzas e teor de lipídios. Para essas análises foram utilizados 9 experimentos pois só houve apenas uma repetição do ponto central.

#### 4.3.1 Atividade de água

A atividade de água foi determinada através de leitura direta no medidor de atividade de água NovasinaLabMaster-aw. Foram pesados 0,3 g da amostra em cápsulas adequadas ao equipamento e a leitura foi realizada na temperatura de 30°C. Os dados foram coletados logo após o término da secagem e realizados em triplicata.

#### 4.3.2 Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico (LUTZ, 2008), onde aproximadamente 1 g da amostra foi levado à estufa a 105 °C e deixado por 24 horas. Após o tempo determinado, a umidade foi calculada pela diferença de massa no início e fim da análise. Realizado em triplicata.

#### 4.3.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo procedimento adaptado de Eastman e Moore (1984) realizado por de Cano-Chaucaet al. (2005). Sendo assim, foram adicionados 50 mL de água destilada em aproximadamente 0,5g do pó do sangue bovino, em seguida levada para o Vortex (modelo AP 56 da marca Phoenix Luferco, com motor de 3800 rpm) para sua homogeneização. Após a total homogeneização a solução foi centrifugada, em centrífuga refrigerada de marca Novatecnica, por 5 minutos, a 4500 rpm. Com o auxílio de uma pipeta tirou-se 12,5 mL do sobrenadante e transferindo-se para uma placa de Petri, já tarada e pesada, levando assim para uma estufa a 105 °C para total evaporação da água. As análises foram realizadas em triplicata.

Para o cálculo da solubilidade do pó em água foi utilizada a Equação 1.

$$\% \text{ Solubilidade} = \frac{(m_{\text{residual}} - m_{\text{tara}}) * V_{\text{solução}} * 100}{V_{\text{alíquota}} * m_{\text{amostra}}} \quad (1)$$

Onde:

$m_{\text{residual}}$  = massa residual obtida após evaporação (g);

$m_{\text{tara}}$  = massa da placa de Petri vazia (g);

$V_{\text{solução}}$  = volume total da solução (mL);

$V_{\text{alíquota}}$  = volume da alíquota submetido à secagem (mL);

$m_{\text{amostra}}$  = massa inicial da amostra (g).

#### 4.3.4 Teor de cinzas

O teor de cinzas representa a substância inorgânica presente na amostra e é determinado pela incineração da matéria orgânica contida no material.

Primeiramente foi pesado, aproximadamente, 1 g do pó em cadinhos de porcelanas, previamente tarados e pesados. O material foi levado à mufla e mantido em uma faixa de temperatura de 550 °C, por 4 horas. As análises foram realizadas em triplicata. Esse

procedimento foi seguido de uma adaptação do procedimento padrão descrito por Lutz (2008).

O teor de cinzas foi calculado utilizando a Equação 2:

$$\%cinzas = \frac{(m_f - m_t) * 100\%}{m_i} \quad (2)$$

Onde:

$m_f$ = massa do cadinho + cinzas obtido ao fim do procedimento (g);

$m_t$ = massa da tara do cadinho vazio (g);

$m_i$ = massa inicial da amostra adicionada no cadinho (g).

#### 4.3.5 Teor de lipídios

Essa metodologia foi realizada seguindo o método de Folch, onde 1g da amostra foi submetido à extração lipídica com uma mistura clorofórmio-metanol (2:1) (v/v), em seguida, a solução foi filtrada em proveta e foram adicionados 20% (do volume final filtrado) de sulfato de sódio (solução a 1,5%), ocorrendo à separação de duas fases. A fase superior foi descartada e 5mL da fase inferior foram transferidos (em um béquer) para estufa à 90 °C para a evaporação do solvente. Por fim, o béquer com o resíduo lipídico foi pesado e a porcentagem de lipídios foi calculada com a Equação 3.

$$\%L = \frac{V_{inf} * (M_{final} - M_{tara}) * 100}{5 * M_{amostra}} \quad (3)$$

Onde:

$V_{inf}$ = volume da fase inferior formada (mL);

$M_{final}$ = massa final obtida (béquer+resíduo lipídico) (g);

$M_{tara}$ = massa da tara do béquer (g);

$M_{amostra}$ = massa da amostra pesada inicialmente (g).

#### 4.4 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Para as isotermas de adsorção foram utilizados os pós obtidos nas condições experimentais dos fatoriais máximo, mínimo e central do planejamento experimental

realizado por Oliveira (2017) para a secagem em camada de espuma e o pó seco por liofilização.

Para obter as isotermas de adsorção nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C utilizou-se a NovasinaLabMaster.aw para as medidas de atividade de água (aw). Para isso foi preciso pesar, em balança analítica, as cápsulas da novasina e as massas do pó do sangue para cada cápsula, onde a primeira leitura da atividade de água (aw) foi realizada no tempo zero, ou seja, logo após a pesagem da massa do pó. As outras cápsulas foram colocadas no dessecador contendo aproximadamente 400 mL de água, com um higrômetro para acompanhar umidade relativa do ambiente, como mostrado na Figura 3. As demais leituras da aw ocorreram nos intervalos de tempo de 10 min, 20 min, 30min, 45 min, 1hora, 1 hora e 30min e 2horas.

Figura 3 – Amostras do pó do sangue bovino no dessecador umidificado.



Também foi necessário analisar a massa seca do pó, pois, para a obtenção do teor de umidade de equilíbrio é necessário utilizar a Equação 4.

$$X_{eq} = \frac{m_i - m_f}{m_{ss}}(4)$$

Onde:

$X_{(b.s.)}$ : teor de umidade em base seca (%)

$m_i$ : massa inicial do material; (g)

$m_f$ : massa final do material; (g)

$m_{ss}$ : massa de sólido seco do material em gramas; (g)

Com os dados das atividades de água e umidades de equilíbrio dos pós nas temperaturas mencionadas anteriormente, foi possível obter as isotermas de adsorção.

#### 4.4.1 Ajustes a modelos matemáticos

O ajuste foi realizado com o auxílio do *software* Statistica 7.0 aplicando o modelo de Oswin, foi realizada uma regressão para se obter valores para facilitar a estimativa dos valores das constantes do modelo. O nível de confiança foi de 95%.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISES FÍSICAS DO PÓ DE SANGUE BOVINO

O pó obtido no estudo da secagem em camada de espuma realizado por Oliveira (2017) é mostrado na Figura 4. Esse pó foi armazenado em sacos de polietileno com fechos e armazenados em um pote hermeticamente fechado e com sílica dentro.

Figura 4 – Pó do sangue bovino obtido pela secagem em camada de espuma.



Os resultados das análises do pó obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma são mostrados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Resultado das análises para o pó obtido por liofilização.

	$a_w$	% Umidade	% Solubilidade	% Cinzas	% Lipídios
	0,088	5,16	93,13	6,65	5,53
DP	0,02	0,22	2,42	0,05	0,05

DP – desvio padrão

Para a atividade de água do pó liofilizado foi obtido um valor de  $0,088 \pm 0,02$ , valor esse muito próximo dos valores obtidos por secagem em camada de espuma, na qual foi encontrado o menor valor de  $0,081 \pm 0,02$  no experimento 3 (menor concentração, maior temperatura e menor tempo de agitação) e o maior de  $0,199 \pm 0,08$  do experimento 6 (maior concentração, menor temperatura e maior tempo de agitação). Foi observado ainda que os valores obtidos para a atividade de água apresentaram pequena variação entre si, indicando a viabilidade da secagem em camada de espuma.

Tabela 6 – Resultado da análise da atividade de água do pó do sangue bovino.

Experimento	C (%)	T (°C)	tag(min)	aw	DP
1	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)	0,193	0,07
2	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)	0,176	0,05
3	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)	0,081	0,02
4	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)	0,097	0,02
5	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)	0,132	0,06
6	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)	0,199	0,08
7	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)	0,087	0,02
8	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)	0,107	0,05
PC	4,5 (0)	60(0)	7,0 (0)	0,182	0,07

C - concentração ; T – temperatura ; t<sub>ag</sub> – tempo de agitação; DP – desvio padrão

A atividade de água (aw) é uma medida qualitativa na qual pode ser avaliada a disponibilidade de água livre e essa quantidade de água livre se encontra disponível para as reações físicas, química e biológicas, tornando o principal responsável pela deterioração dos alimentos (WELTI e VEGARA, 1997). E como a umidade de um alimento está diretamente relacionada com seu tempo de conservação, tem-se que para valores de aw menor que 0,3 não há o crescimento microbiano, para valores de 0,3 a 0,6 o crescimento microbiano é muito pequeno e de 0,6 a 1,0 não é recomendado para os alimentos (CELESTINO, 2010).

Logo, os valores de atividade de água dos pós do sangue bovino obtidos por secagem em camada de espuma são satisfatórios, pois ficaram dentro da faixa considerada ótima para armazenamento, onde as reações químicas e o crescimento de microrganismos tende a zero, evitando a deterioração do material.

No estudo de Padilha (2006) sobre as isotermas de adsorção de umidade de suplemento alimentício rico em ferro hemático (sangue bovino em pó) e aceitabilidade de alguns produtos enriquecidos, obteve uma atividade de água de valor 0,312, valor bem acima do analisado na secagem em camada de espuma. Oliveira (2017) também analisou a atividade de água do pó do sangue seco por camada de espuma e obteve valor máximo de 0,281 e menor de 0,152.

### 5.1.2. Umidade

Os resultados das análises do teor de umidade dos pós do sangue bovino obtidos por secagem em camada de espuma são mostrados na Tabela 7, onde percebe-se que o maior teor de umidade foi de  $5,16 \pm 0,22\%$  no experimento 5 (menor concentração do agente espumante, menor temperatura e maior tempo de agitação). O menor valor encontrado foi de  $2,48 \pm 0,37\%$  no experimento 1 (menor concentração do agente espumante, menor tempo de agitação e menor temperatura de secagem).

Tabela 7 – Resultado da análise do teor de umidade do pó do sangue bovino.

Experimento	C (%)	T (°C)	tag(min)	Umidade (%)	DP
1	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)	2,48	0,37
2	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)	5,52	0,05
3	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)	4,99	0,36
4	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)	4,39	0,07
5	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)	5,16	0,22
6	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)	3,74	0,04
7	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)	4,98	0,17
8	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)	3,43	0,37
PC	4,5 (0)	60(0)	7,0 (0)	3,15	0,02

C - concentração ; T – temperatura ; t<sub>ag</sub> – tempo de agitação; DP – desvio padrão

Na secagem em camada de espuma, o maior valor do teor de umidade obtido foi de  $5,53 \pm 0,05$  e o menor valor de  $2,48 \pm 0,37$  para o pó liofilizado foi obtido o valor de  $5,16 \pm 0,22\%$  de teor de umidade.

No estudo de Auricchio et al. (2010) a secagem do sangue bovino em *spray dryer* obteve uma variação de 3,2 a 4,0% nas condições do estudo. Já no estudo de Moreira (2013)

sobre desenvolvimento de um sistema de secagem para sangue bovino proveniente de abatedouros, obteve umidade máxima de 6% e uma mínima de 4%. E, de acordo Martins e Guzman (1993) no estudo do processo de desidratação de sangue animal e farinha de sangue foi obtido um valor entre 8-10% de umidade. Comparando os valores da umidade do pó do sangue bovino pela secagem em camada de espuma e do pó liofilizado com os estudos citados, é possível observar que os valores estão na mesma faixa, entre 2 a 6%, indicando que o processo de secagem em camada de espuma é viável. .

### 5.1.3. Solubilidade

Na Tabela 8 são mostrados os valores obtidos de solubilidade nas condições do planejamento experimental.

Tabela 8 – Resultado da análise da solubilidade do pó do sangue bovino.

Experimento	C (%)	T (°C)	tag(min)	% Solubilidade	DP
1	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)	53,74	3,92
2	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)	53,33	2,54
3	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)	70,55	2,69
4	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)	52,47	3,69
5	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)	90,84	2,19
6	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)	80,23	1,92
7	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)	86,66	3,88
8	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)	71,28	1,74
PC	4,5 (0)	60(0)	7,0 (0)	62,38	5,15

C - concentração ; T – temperatura ; t<sub>ag</sub> – tempo de agitação; DP – desvio padrão

Pode ser observado na Tabela 8 que o maior valor de solubilidade obtido foi de 90,84±4,92% no experimento 5 (menor concentração, menor temperatura e maior tempo de agitação) e a menor solubilidade foi de 52,47±3,69% no experimento 4 (maior concentração, menor tempo de agitação e maior temperatura). Foi possível também observar que os valores de solubilidade do pó do sangue aumentam com o aumento do tempo de agitação.

No pó obtido por liofilização (Tabela 5) foi obtida uma solubilidade de 93,14±2,42%, valor superior ao obtido por secagem em camada de espuma. Esse valor

superior do pó liofilizado em relação ao pó da secagem em camada de espuma pode explicado pela característica do método da liofilização que modifica a matriz estrutural do material.

Não foi possível comparar a solubilidade do pó do sangue obtido por outros métodos. Silva (2015), no estudo da secagem da polpa do maracujá em camada de espuma, obteve uma solubilidade de  $90\pm 1,34\%$  na condição de 5% do agente espumante, temperatura de 70 °C e tempo de agitação de 20 minutos de agitação. Dantas (2010), também usando o a secagem em camada de espuma obteve solubilidades de 98% e 91% para os pós de abacaxi e manga, respectivamente. Isso mostra que o pó do sangue bovino possui uma solubilidade inferior aos pós de outros materiais, provavelmente devido ao alto teor de proteínas.

#### 5.1.4. Teor de Cinzas

Os resultados para a análise do teor de cinzas realizada nos pós de sangue bovino obtido por secagem em camada de espuma são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado da análise do teor de cinzas do pó do sangue bovino

Experimento	C (%)	T (°C)	tag(min)	(%) Cinzas	DP
1	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)	5,61	0,25
2	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)	5,93	0,05
3	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)	5,88	0,08
4	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)	6,12	0,04
5	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)	6,20	0,05
6	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)	6,25	0,07
7	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)	5,74	0,11
8	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)	5,81	0,11
PC	4,5 (0)	60(0)	7,0 (0)	5,85	0,21

C - concentração ; T – temperatura ;  $t_{ag}$  – tempo de agitação; DP – desvio padrão

O maior teor de cinzas obtido foi de  $6,25\pm 0,05\%$  no experimento 5 (menor concentração do agente espumante, menor temperatura e maior tempo de agitação) e o menor valor encontrado foi de  $5,61\pm 0,25\%$  no experimento 1 (menor concentração do agente espumante, menor temperatura e menor tempo de agitação). Pode ser observado pela Tabela 9 que o teor de cinzas do pó diminui com o aumento da concentração do espumante.

O pó liofilizado apresentou um teor de cinzas de  $6,65\pm 0,05\%$  (Tabela 5).

No estudo sobre o sangue animal em pó mediante *spray dryer* (2009) foi obtido um valor de 2 a 3 % de cinzas. Martins e Guzman (1993) obtiveram valores de 3% a 7% de cinzas.

Comparando os valores obtidos do pó com a secagem em camada de espuma com os valores dos estudos citados foi observado que os valores obtidos estão dentro da faixa citada, variando de 5 a 6,3%.

#### 5.1.5. Teor de Lipídios

Os resultados das análises do teor de lipídios dos pós de sangue bovino obtidos por secagem em camada de espuma são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado da análise do teor de lipídios do pó do sangue bovino

Experimento	C (%)	T (°C)	tag(min)	(%) Lipídios	DP
1	3,0 (-1)	50 (-1)	5,0 (-1)	3,54	0,30
2	6,0 (1)	50 (-1)	5,0 (-1)	4,75	0,50
3	3,0 (-1)	70 (1)	5,0 (-1)	2,25	0,23
4	6,0 (1)	70 (1)	5,0 (-1)	3,31	0,18
5	3,0 (-1)	50 (-1)	9,0 (1)	3,80	0,32
6	6,0 (1)	50 (-1)	9,0 (1)	11,19	0,28
7	3,0 (-1)	70 (1)	9,0 (1)	8,38	0,48
8	6,0 (1)	70 (1)	9,0 (1)	9,45	1,83
PC	4,5 (0)	60(0)	7,0 (0)	5,32	0,75

C - concentração ; T – temperatura ; t<sub>ag</sub> – tempo de agitação; DP – desvio padrão

O maior teor lipídico obtido foi de 11,19±0,28% no experimento 6 (maior concentração, menor temperatura e maior tempo de agitação) e o menor foi de 2,25±0,23% para o experimento 3 (menor concentração, maior temperatura e menor tempo de agitação). Para o pó seco por liofilização foi obtido o teor lipídico de 5,53±0,05%. Também foi observado que quanto maior o tempo de agitação maior o teor de lipídios.

Martins e Guzman. (1993) obtiveram um percentual de 1% a 2% de lipídios em suas amostras. No estudo de Prata e Sgarbieri (2005) sobre obtenção e caracterização química e

nutricional das proteínas do soro de sangue bovino liofilizado eles observaram um teor de lipídios de  $5,42 \pm 0,05\%$ , um valor muito próximo do pó liofilizado do sangue *in natura*.

O teor de lipídios do pó do sangue bovino em camada de espuma obtido foi superior aos valores encontrados na literatura. Vários são os fatores que podem ter interferência, como os métodos de secagem, a composição de cada de cada sangue, etc.

## 5.2. ISOTERMA

Para a modelagem matemática da isoterma de adsorção do pó do sangue bovino foi escolhido o modelo de Oswin, pois como foi visto na literatura, é o modelo mais utilizado para prever isotermas de adsorção em alimentos com alto teor de proteínas. Foram testados outros modelos, porém não houve ajuste significativo. O modelo de Oswin foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Nas Tabelas de 11 a 14 são mostrados os parâmetros obtidos pela modelagem para os pós obtidos nas condições dos fatoriais mínimo, máximo e central e para o pó liofilizado nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C, respectivamente. Nas Figuras de 5a 8estão representadas as curvas obtidas já com os ajustes obtidos pelo modelo de Oswin.

Tabela 11 – Parâmetros para as condições do experimento fatorial mínimo nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C.

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,56209	0,04527	34,50476	0,00	1,47009	1,65409
B	0,74859	0,02765	27,07906	0,00	0,69241	0,80477

$R^2 = 0,97$ .

Figura 5- Isoterma de adsorção nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C para as condições de secagem do ponto mínimo do pó do sangue bovino e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN

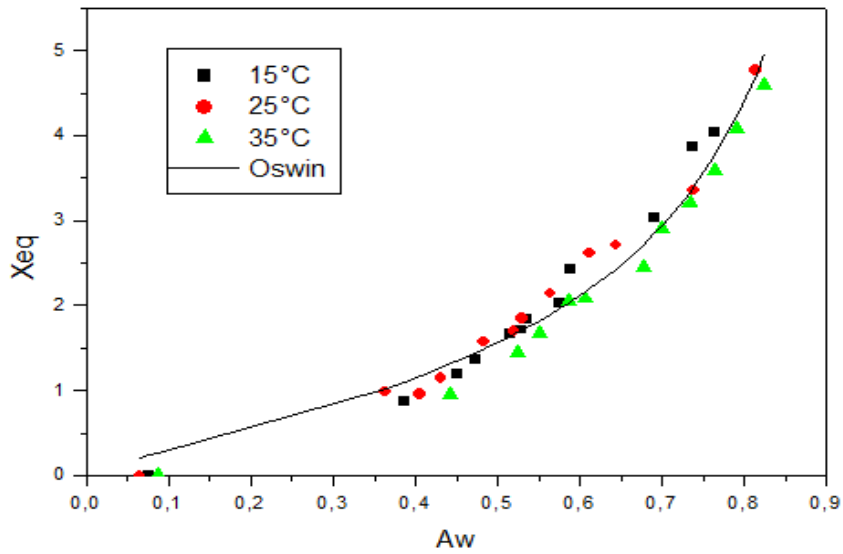


Tabela 12 - Parâmetros para o experimento fatorial máximo nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,13552	0,04435	25,60418	0,00	1,04539	1,22565
B	0,78574	0,03909	20,09911	0,00	0,70630	0,86519

R<sup>2</sup>= 0,94.

Figura 6- Isothermas de adsorção nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C para as condições de secagem do ponto máximo do pó do sangue bovino e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN.

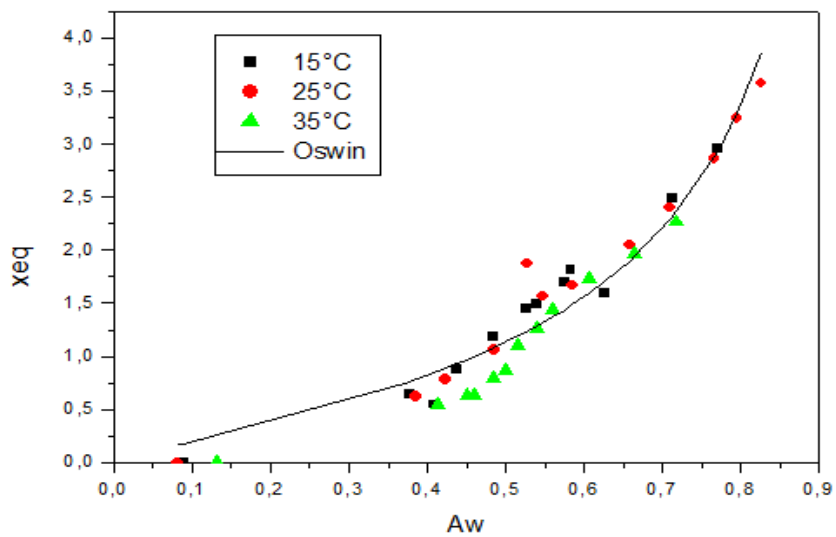


Tabela 13 - Parâmetros para o experimento do Ponto Central nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,00590	0,09450	10,54451	0,00	0,81385	1,19795
B	0,70925	0,09668	7,33616	0,00	0,51277	0,90572

R<sup>2</sup>= 0,89

Figura 7- Isoterma de adsorção nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C para as condições de secagem do ponto central do pó do sangue bovino e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN

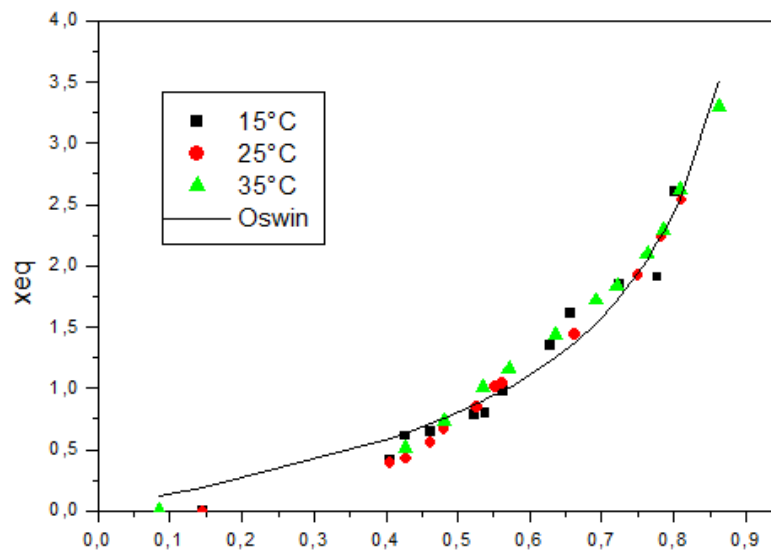
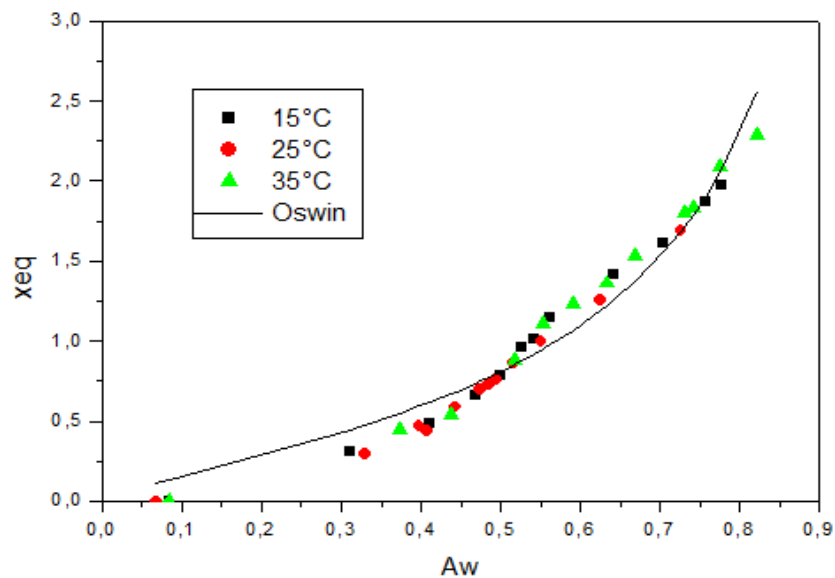


Tabela 14 - Parâmetros para o pó do sangue bovino liofilizado nas temperaturas de 15°C, 25°C e 35°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	0,80957	0,02409	33,60097	0,00	0,76060	0,85853
B	0,75215	0,03023	24,88093	0,00	0,69072	0,81359

R<sup>2</sup>= 0,96.

Figura 8- Isoterma de adsorção nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 35 °C para o pó do sangue bovino liofilizado e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN



Pelas Tabelas de 11 a 14 foi observado que o modelo foi estatisticamente significativo. As curvas obtidas, mostradas nas Figuras de 5 a 8, têm uma aparência mais próxima com as isotermas do Tipo II, que são as chamadas de Sigmoidal; esse resultado está de acordo com Brunauer (1940), que afirma que para materiais mais proteicos ou farináceos as curvas das isotermas de adsorção apresentam geralmente curvas do Tipo II, pois a forma destas curvas indica o tipo de forças que intervêm na ligação da água com a superfície do material higroscópico e permite certas avaliações da estrutura superficial, da sua estabilidade durante o armazenamento. No estudo de Padilha (2006) sobre as isotermas de adsorção de umidade de suplemento alimentício rico em ferro hemático (sangue bovino em pó) também podem ser observadas essas mesmas características de curvas. Fazendo também a comparação com produtos altamente proteicos percebeu-se o mesmo comportamento para as curvas obtidas BERLIN (1970).

Todas as curvas plotadas apresentaram resultados semelhantes entre si, ou seja, a temperatura na qual foi obtida isoterma de adsorção (15°C, 25°C ou 35°C) teve pequena ou quase nenhuma interferência.

Os ajustes obtidos utilizando o modelo de Oswin se apresentaram estatisticamente significativos, além de apresentar valores para o  $R^2$  variando entre 0,89 e 0,97.

Para observar o comportamento das condições experimentais, as isotermas foram plotadas nas temperaturas estudadas: 15 °C, 25 °C e 35 °C (Figuras 9, 10 e 11), E nas Tabelas de 15 a 17 são mostrados os parâmetros obtidos pelo modelo de Oswin fazendo a modelagem matemática para cada temperatura isolada.

Figura 9 - Isoterma de adsorção dos experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 15°C e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN

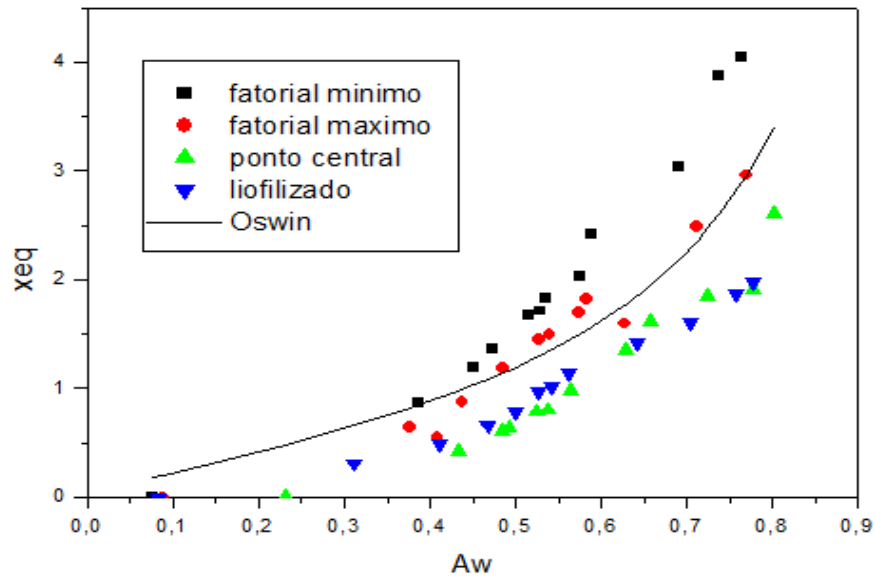


Tabela 15 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Oswin para os experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 15°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,19616	0,10999	10,87520	0,00	0,97263	1,41969
B	0,75232	0,10059	7,47933	0,00	0,54790	0,95673

R<sup>2</sup>= 0,80

Figura 10 - Isotermas de adsorção dos experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 25°C e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN

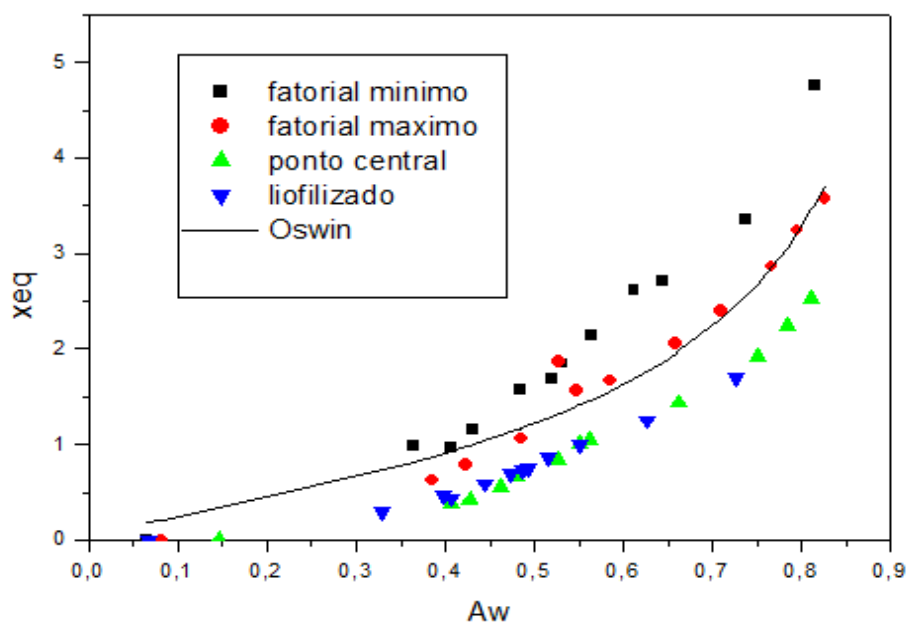


Tabela 16– Parâmetros obtidos pelo modelo de Oswin para os experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 25°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,21894	0,10797	11,28935	0,00	0,99951	1,43837
B	0,71680	0,07941	9,02678	0,00	0,55543	0,87818

R<sup>2</sup>= 0,82.

Figura 11 - Isoterma de adsorção dos experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 35°C e seus respectivos ajustes pelo modelo de OSWIN

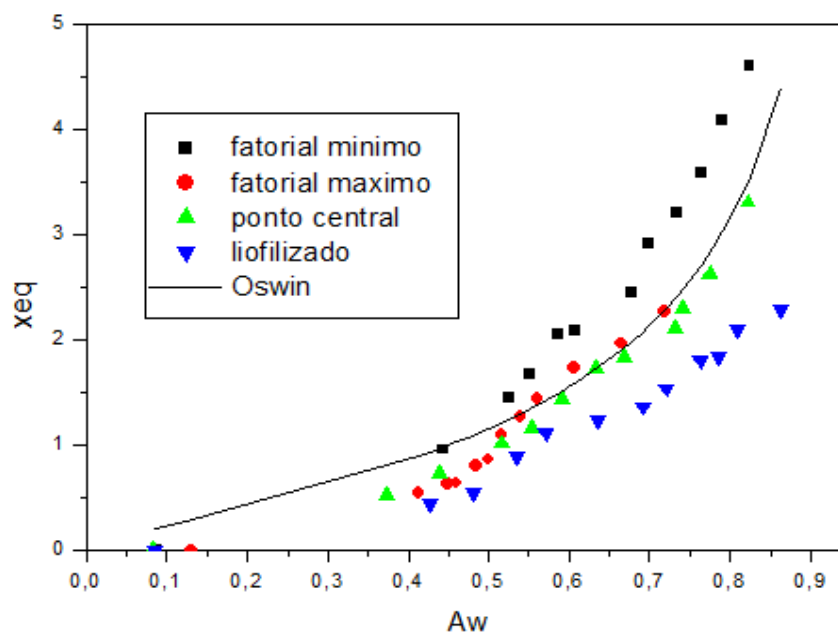


Tabela 17 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Oswin para os experimentos fatorial mínimo, fatorial máximo e ponto Central para a temperatura de 35°C

	Estimativa	Erro Padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores
A	1,15480	0,10519	10,9780	0,00	0,94102	1,36857
B	0,72669	0,07632	9,52136	0,00	0,57158	0,88179

R<sup>2</sup>= 0,83.

Analisando os gráficos agrupando os experimentos em relação a uma temperatura é possível ver que o experimento nas condições do fatorial mínimo (menor concentração do espumante, menor temperatura e menor tempo de agitação) vai adsorver uma umidade muito maior, o fatorial máximo (maior concentração do espumante, maior temperatura, maior tempo de agitação) e o ponto central apresentaram uma absorção bem próximas, porém, em alguns pontos o fatorial máximo ultrapassa, mesmo que sutilmente, o ponto central. Os gráficos apresentaram praticamente o mesmo comportamento.

Os ajustes obtidos pelo modelo de Oswin foram estatisticamente significativos, apresentando R<sup>2</sup> variando entre 0,80 e 0,83.

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho foi possível concluir que os pós do sangue bovino em camada de espuma apresentaram resultados significativos com atividade de água entre 0,1 e 0,2; teor de umidade entre 2 e 6%; solubilidade na faixa de 49 a 95%; teor de cinzas na faixa de 5 a 7%, o teor de lipídios na faixa de 2 e 12%.

Em comparação com os resultados do pó seco em camada de espuma com o pó seco por liofilização foi possível observar que os valores ficaram bem próximo o que indica que essa técnica não interfere negativamente na obtenção do pó do sangue bovino.

As isotermas obtidas são do Tipo II, isoterma Sigmoidal, que são as geralmente apresentadas por materiais proteicos que é o caso do sangue bovino.

O modelo utilizado Oswin apresentou um bom ajuste para os pós do sangue bovino secos em camada de espuma e por liofilização, todos foram estatisticamente significativos e apresentaram um  $R^2$  entre 0,8 e 0,9, com um erro padrão na faixa de 0,002 a 0,01.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.11-20, 2007.

ALFA LAVAL. SANGUE EM PÓ. Suécia, p. 1-7, 2007.

AURICCHIO, A.; COELHO, D. S.; MONTAGNA, F. B.; MARTINS, J. F.; PACHECO, R. C.; PIOVAN, R. J.; NITZ, M. Sangue bovino em pó. Instituto Mauá de Tecnologia, 2010.

BERLIN, E.; ANDERSON, B.A.; PALLANSCH, M.J. Effect of temperature on water vapor sorption by dried milk powders. *Journal of Food Science*, v. 53, n. 2, p. 146-149, 1970.

BOEIRA, J. B.; STRINGARI, G. B.; LAURINDO, J. B. Estudo da desidratação de pêssegos por tratamento osmótico e secagem. *Boletim de CEPPA, Curitiba*, v. 25, p. 77-90, 2007.

BRUNAUER, S.; EMMET, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal American Chemical Society*. v.60, p.309-319, 1938.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carries on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 6, p. 420-428, 2005.

CELESTINO, S. M. Princípios de Secagem de Alimentos. Documentos 217. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina-DF, 2010.

CHEN, C. S.; CLAYTON, J. T. The effect of temperature on sorption isotherms of biological materials. *Transactions of the ASAE*, v. 14, n. 5, p. 927-929, 1971.

DORLY, Y. P. Aproveitamento do sangue de abate para a alimentação humana. *Revista Higiene Alimentar*, vol. 3, n° 1, p. 65-67, 1994.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition. Patente, U. S., 1984.

FURTADO, G.F. et al. Secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande - PB*, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010. Disponível em: < <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev121/Art1212.pdf>. > Acesso em: 11/03/2019.

GERMANO, Livia Maria Lisboa Pessoa. Métodos alternativos de secagem de banana verde. 2016. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <[https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/2189/1/Metodosalternativos\\_Monografia](https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/2189/1/Metodosalternativos_Monografia)>. Acesso em: 04 fev. 2019.

IGLESIAS, H.A; CHIRIFE J. *Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food components*. 1.ed. New York: Academic Press.. 374 p., 1982

IGLESIAS, H.A.; CHIRIFRE, J. Handbook of Food Isotherms. Academia Press, New York. 1982.

IGLESIAS, H.A.; CHIRIFRE, J. Equilibrium moisture contents of air dried beef. Dependence of drying temperature. *Journal Food Technology*, v.11, n.6, p.565-573, 1976.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2010.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food Technology*, v. 22, p. 263-272, 1986.

LUTZ, I. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008.

MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Transport properties in the drying of solids. In: MUJUMDAR, A. S. Handbook of industrial drying. New York: Maree Dekker. v. 1, 1995.

MARQUES, A.T. et al. Uso da farinha de mandioca em panificação. *Colloquium Agrariae*, v.1, n. 1, p. 8-12, 2005.

MARTINS, SILNEI NUNES; GUZMAN, EMILIO S. CONTRERA. Processo de desidratação de sangue animal e farinha de sangue obtida. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 20 p., 1993.

MASSARO, A. F.; PINTO, L. A. A. Enriquecimento proteico de farelo de arroz desengordurado, com sangue bovino, utilizando a técnica de leite de jorro. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 77-84, 2002.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, J. De M.; FERNANDÊS, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 26, p. 10-17, 2013.

MOREIRA, Silvio Alves. Desenvolvimento de um sistema de secagem para sangue bovino proveniente de abatedouros. 2013. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

OLIVEIRA, Rafael Farias. Secagem do sangue bovino em camada de espuma utilizando emulsificante/estabilizando como agente espumante. 2017. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro de Tecnologia, universidade federal da Paraíba, João Pessoa, 2017

PACHECO, CRF. Conceitos básicos de Secagem. São Paulo, Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

PADILHA, Alci Léia Dalmônico. Isotermas de adsorção de umidade de suplemento alimentício rico em ferro hematínico (sangue bovino em pó). Aceitabilidade de alguns produtos enriquecidos. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de

Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem Matemática para a pera bartlett (*Pyrus*ssp.) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21. n.1, p. 73-77, 2001.

PEZANTES, D. V. Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a Vácuo, defumação líquida e secagem em files de bonito (*Sarda sarda*). Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, 2006.

PRATA, Ana Silvia; SGARBIERI, Valdemiro Carlos. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E NUTRICIONAL in vitro DAS PROTEÍNAS DO SORO DE SANGUE BOVINO. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, Campinas, v. 2, n. 25, p.327-332, jun. 2005.

RENUNCIO, A. Avaliação de método de coleta de sangue em pequenos abatedouros do Estado de Santa Catarina visando sua valorização para consumo humano. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

ROCHA, S. C. S. Recobrimento de Comprimidos. In: Freire, Sartori. Tópicos especiais em secagem. São Carlos, SP: São Carlos, p. 34-40, 1992.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. *LWT-Food Science and Technology*, v.37, n. 5, p. 517-525, 2004.

SANTOS, A. C. de S. Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (*foam-matdrying*) de sangue bovino. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVA, Ana Cristina Bezerra da. ESTUDOS DA VIABILIDADE DA SECAGEM DE POLPA DE MARACUJÁ (*PASSIFLORA EDULIS*) PELO MÉTODO FOAM MAT. 2015. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Alimentos, Centro de Tecnologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Currais Novos, 2015.

SOARES, E. C.. Caracterização de aditivos para secagem de arça-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma. Master in Science in Food Engineering Master Degree Dissertation, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.

SOBRAL, P. J. A. Secagem de sangue bovino incorporado à proteína texturizada de soja, em leito fluidizado e em leito fixo. Campinas, 183p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, Campinas, 1987.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W.F. The results of the COST 90 project on water activity. In: JOWITT, R. *Physical Properties of Foods*. London: Applied Science Publishers, p.65- 91, 1983.

SPRAY PROCESS. 2009. disponível em: <http://www.sprayprocess.com.br/secagem-por-atomizacao.asp>, acesso em 11/03/2019.

TREYBALL, R.B. Drying. mass transfer operations. New York: McGraw-Hill, p. 569-575, 1968.