

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

## PROCESSO ALTERNATIVO PARA A INDUSTRIALIZAÇÃO DA PELAGEM DE SUÍNOS VISANDO A EXTRAÇÃO DE QUERATINA

Gabriela Helbing<sup>1</sup> (gabrielahelbing@hotmail.com), Eduardo Borges Lied<sup>2</sup> (lied.eduardo@gmail.com), Ana Paula Trevisan<sup>3</sup> (anapaulatrevisan@gmail.com), Camilo Freddy Mendoza Morejon<sup>3</sup> (camilo.morejon@unioeste.br)

- 1 Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE
- 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR
- 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR
- 4 Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE

### RESUMO

As atividades industriais de abate de suínos são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos sólidos. No presente trabalho explicita-se o potencial de aproveitamento que apresenta a pelagem de suínos. Neste contexto, o objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de métodos e processos alternativos para o aproveitamento não convencional da pelagem de suínos como matéria prima para a obtenção de produtos de valor agregado numa escala industrial. Os resultados mais relevantes foram os processos não convencionais (numa escala industrial) para a obtenção de queratina líquida e sólida. O desenvolvimento do processo alternativo teve como base os testes na escala laboratorial e respectivas análises que permitiram a validação dos resultados. De modo geral, foram explicitados os processos e suas respectivas condições operacionais complementadas com o balanço de massa total e parcial dos processos de transformação numa escala industrial. Os resultados do desenvolvimento do processo para extração de queratina mostraram ser eficazes na hidrólise alcalina utilizando hidróxido de sódio 1,25 mol.L<sup>-1</sup> em temperatura de 45 °C, por um período de 270 minutos. Estes resultados evidenciaram a possibilidade de utilização do pelo suíno na forma de pó, para obtenção de queratina líquida, além de poder ser utilizado o produto líquido para gerar a queratina sólida. Desta forma, contribui-se com processos não convencionais para a industrialização dos resíduos de abatedouros.

**Palavras-chave:** Pelagem suína; hidrólise alcalina; resíduos de abate.

## ALTERNATIVE PROCESS FOR THE INDUSTRIALIZATION OF SWINE COAT FOR THE EXTRACTION OF KERATIN

### ABSTRACT

The industrial activities of swine slaughter are responsible for generating large amounts of solid waste. The present work identified the potential for use of the swine coat. In this context, the work's general objective was to develop alternative methods and processes for the unconventional use of swine hair as a raw material to obtain value-added products on an industrial scale. The most relevant results were the unconventional processes, on an industrial scale, to get liquid and solid keratin. The development of the alternative process was based on laboratory-scale tests and respective analyzes that allowed the validation of the results. The processes and their respective operational conditions were explained, complemented with the total and partial mass balance of the transformation processes on an industrial scale. The method for keratin extraction was effective in alkaline hydrolysis using 1.25 mol.L<sup>-1</sup> sodium hydroxide at a temperature of 45 °C for 270 minutes. These results showed the possibility of using swine hair in powder form to obtain liquid keratin and using the liquid product to generate solid keratin. In this way, unconventional processes are contributed to the industrialization of slaughterhouse waste.

**Keywords:** Pig coat; alkaline hydrolysis; slaughter waste.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em seu relatório anual de 2021, o Brasil é o quarto país que mais produz proteína de origem animal e, o quarto país que mais exporta carne suína. Dentre as regiões brasileiras, são os estados da região sul do país, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, os principais produtores de suínos.

A intensidade produtiva de proteína animal para abastecimento do mercado nacional e internacional, aumenta a quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos que são lançados como consequência para o ambiente.

Neste contexto, no início do século XXI surgiram os estabelecimentos hoje conhecidos como graxarias, com o objetivo de promover o aproveitamento dos resíduos gerados nos abates de suínos, bovinos e aves. Com isto, subprodutos como vísceras, sangue, ossos, cabeças e restos de carcaças, são aproveitados como matéria prima na geração de alimentos com alto teor de proteína para animais, deixando assim, de serem simplesmente dispostos sem tratamento no meio ambiente (FERROLI et al., 2000). Entretanto, os demais resíduos como cascos, fezes, conteúdo estomacal e a pelagem, representam na atualidade um desafio para seu melhor aproveitamento, visto que a legislação vigente não especifica sua destinação

Estima-se que um suíno, com peso médio de 90 kg, gera aproximadamente: 57,6% de carne desossada; 18% de materiais não comestíveis para as graxarias, 9% de vísceras comestíveis; 2,7% de sangue; e 2,7% de outros subprodutos, dentre eles os conteúdos estomacais e intestinais, perda em sangue, perda em carne, pelos suínos, dentre outros.

Uma estimativa do percentual dos resíduos obtidos no abate de um suíno foi realizada por Helbing (2017), a partir das considerações iniciais de Pacheco (2006), apontando que um suíno de aproximadamente 90 kg gera em torno 400 gramas de pelo, o que corresponde a 0,45% do peso total do animal e a 14,81% do total de resíduos gerados no abate que não são aproveitados pelos estabelecimentos de processamento e beneficiamento do suíno.

Para ilustrar este potencial, considerou-se um dos frigoríficos da região Oeste do Paraná, o qual, em média, abate 6200 cabeças de suínos por dia e, considerando que cada cabeça, em média, produz 400 gramas de pelo, bem como para um tempo médio de operação de 23 dias por mês, pode-se estimar uma produção de 57 toneladas de pelagem suína por mês. Na atualidade esse volume de resíduo é descartado por meio da queima, com impacto negativo no meio ambiente, na saúde e na qualidade de vida da população.

Os pelos animais, incluindo os pelos suínos, são formados a partir de um processo de diferenciação de células epiteliais especializadas, denominadas de queratinócitos, encontradas nas epidermes dos vertebrados. Nesse processo o tecido epitelial é convertido em um material inerte, fibroso e insolúvel em água, rico em queratina em sua estrutura, gerando um excelente revestimento para proteção externa (MOORE et al., 2006; WODDIN, 1954).

Portanto, a partir dos dados que demonstram a possibilidade do reaproveitamento desse resíduo, somado a conscientização dos efeitos nocivos provocados pela liberação de resíduos no meio ambiente torna o gerenciamento desses aspectos ambientais uma questão fundamental para frigoríficos, curtumes e outras indústrias.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo geral do trabalho contemplou o desenvolvimento de métodos e processos alternativos para o aproveitamento não convencional da pelagem de suínos como matéria-prima para a obtenção de queratina numa escala industrial.

## **3. METODOLOGIA**

No caso do desenvolvimento do processo para produção de queratina sólida, foi considerado o pré-tratamento da pelagem para extração de queratina; a hidrólise do pelo suíno para extração de queratina; a determinação da concentração de reagente e temperatura de processo; a

determinação da razão de alimentação do pelo suíno para extração de queratina; o desenvolvimento da etapa principal do processo de transformação (hidrólise para extração de queratina); a otimização do processo de hidrólise (testando a diminuição do tamanho das partículas e sua influência na hidrólise do pelo suíno em pó); na sequência foram apresentadas as considerações dos resultados obtidos na etapa do processo principal (hidrólise para extração de queratina); a sistematização do processo de extração de queratina na escala laboratorial e; no final o seu escalonamento para a condição industrial.

## Material

Para a determinação de um processo para aproveitamento da pelagem de suínos, buscou-se um procedimento de bancada o mais próximo possível a ser executado em escala industrial, com o intuito de sempre operar no menor custo. Desta forma, os pelos suínos utilizados passaram por um pré-tratamento.

**Figura 1.** Características qualitativas do pelo suíno após a sua limpeza



Os reagentes utilizados para o pré-tratamento da pelagem de suínos foram o hidróxido de sódio, nas concentrações de  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$  e  $0,07 \text{ mol.L}^{-1}$ , uréia na concentração de  $3,0 \text{ mol.L}^{-1}$ , e água potável para lavem da pelagem de suínos.

O reagente testado para o processo de extração foi o hidróxido de sódio, nas concentrações de  $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $1,25 \text{ mol.L}^{-1}$  e  $1,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $2,0 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Após a verificação da concentração de reagente capaz de iniciar a hidrólise da pelagem de suínos, foi avaliado a quantidade de pelagem a ser inserida no sistema de hidrólise, considerando uma capacidade de 250 mL de solução reagente. Para isto, foi verificada a distribuição de 2, 5 e 8 gramas de pelagem dentro de um Erlenmeyer com 250 mL de solução reagente, com o objetivo de obter boa movimentação da pelagem quando submetido a agitação.

## Determinação da concentração de proteína

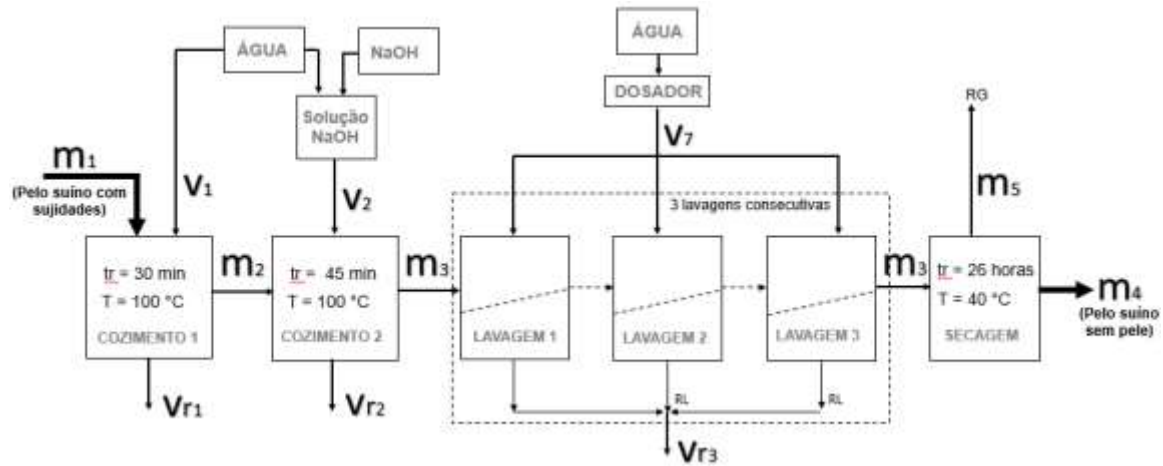
A caracterização do produto líquido foi realizada por meio da determinação da concentração de proteína na solução resultante da hidrólise, sendo determinada pelo método de determinação de proteína solúvel de Lowry et al. (1951).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Pré-tratamento da pelagem suína

A Figura 2, apresenta o resultado das etapas de processo em escala laboratorial para a preparação da pelagem de suíno.

Figura 2. Esquemática do processo de pré-tratamento da matéria prima pelo suíno

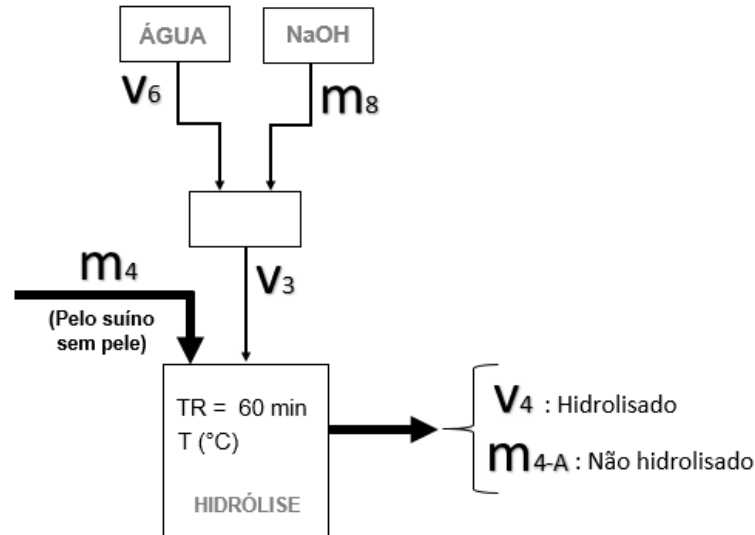


Na Figura 2,  $m_1$  representa a massa de pelagem de suínos que entra no Cozimento 1,  $V_1$  representa o volume de água que entra para o Cozimento 1,  $V_{r1}$  representa o volume do resíduo líquido do Cozimento 1,  $m_2$  representa a massa de pelo suíno que sai do Cozimento 1 e que é separada por uma peneira,  $V_2$  representa o volume de solução de hidróxido de sódio  $0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$  que entra no Cozimento 2,  $V_{r2}$  representa o resíduo líquido do Cozimento 2,  $m_3$  representa a massa de pelo separada por uma peneira após o Cozimento 2,  $V_7$  representa o volume de água utilizada para a lavagem do pelo  $m_3$ ,  $V_{r3}$  representa o resíduo líquido da lavagem do pelo suíno,  $m_5$  representa o resíduo líquido da secagem do pelo suíno e,  $m_4$  representa a pelagem de suínos limpa e seca.

### Processo de extração de queratina

Na Figura 3, é apresentado o resultado da etapa do processo principal de transformação (hidrólise do pelo suíno). Nesta figura,  $m_4$  representa a massa de pelo suíno que é alimentado no reator,  $V_3$  representa o volume da solução de hidróxido de sódio que alimentada no reator,  $V_6$  representa o volume de água para preparar a solução,  $m_8$  representa a massa de hidróxido de sódio,  $V_4$  representa a quantidade em mL do pelo suíno hidrolisado e  $m_{4-A}$  representa a quantidade em gramas do pelo suíno não hidrolisado.

Figura 3. Esquemática do processo principal de transformação (hidrólise) do pelo suíno



A Tabela 1, apresenta os resultados quantitativos, correspondentes a  $m_4$ ,  $m_{4-A}$ ,  $V_3$ ,  $V_4$  da Figura 3 e a concentração de proteína obtida. A primeira coluna apresenta a identificação dos testes realizados, a segunda coluna apresenta a temperatura de operação empregada em cada teste, a terceira coluna apresenta a concentração de reagente empregada em cada teste, a quarta coluna apresenta a massa de pelo suíno alimentada, a quinta coluna apresenta a massa de pelo não hidrolisada, a sexta coluna apresenta o volume da solução reagente adicionada, a sétima coluna apresenta o volume do produto resultante, a oitava coluna apresenta a concentração de proteína obtida e, a nona coluna apresenta o desvio padrão obtido das replicatas.

Tabela 1. Resultados quantitativos da hidrólise do pelo suíno.

| Nº | Temperatura (°C) | Concentração (mol.L <sup>-1</sup> ) | $m_4$ (g) | $m_{4-A}$ (g) | $V_3$ (mL) | $V_4$ (mL) | Proteína mg/mL | Desvio padrão |
|----|------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|------------|------------|----------------|---------------|
| 1  | 60               | 2,0                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 11,42          | 0,46          |
| 2  | 60               | 1,5                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 9,60           | 0,00          |
| 3  | 60               | 1,0                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 5,77           | 2,51          |
| 4  | 50               | 2,0                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 11,78          | 0,43          |
| 5  | 50               | 1,5                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 9,08           | 1,53          |
| 6  | 50               | 1,0                                 | 8,000     | 0,000         | 250        | 250        | 8,58           | 0,53          |
| 7  | 40               | 2,0                                 | 8,000     | -             | 250        | 250        | 3,84           | 0,75          |
| 8  | 40               | 1,5                                 | 8,000     | -             | 250        | 250        | 2,28           | 1,26          |
| 9  | 40               | 1,0                                 | 8,000     | -             | 250        | 250        | 0,76           | 2,99          |

Por meio da Tabela 1, pode-se verificar que o volume de entrada e de saída são iguais após o período de 60 min de operação, isto se deve ao fato de trabalharmos em temperaturas consideradas baixas, sem que houvesse a evaporação da solução. Em relação a massa de pelo suíno alimentada, é possível verificar que foi mantida a alimentação padrão de 2,000 gramas de pelo em todas as amostras e, que para as amostras de número 1 a 6  $m_2$  recebe o valor de zero gramas, pois estas amostras correspondem aos resultados qualitativos apresentados

anteriormente, em que foi observada a hidrólise completa do pelo suíno sob temperaturas de 50 e 60 °C. Enquanto que as amostras que recebem o símbolo “-”, correspondem as hidrólises parciais do pelo suíno e que não foram possíveis pesar, visto que sua característica não era a de um sólido que fosse facilmente removido quando retido em uma peneira.

Em relação a quantidade de proteína obtida, é possível verificar que as amostras 1 e 3 apresentaram melhor performance de extração, obtendo respectivamente as quantidades de 11,42 e 11,78 mg de proteína, nas temperaturas de 60 e 50 °C, ambas na concentração de 2,0 mol.L<sup>-1</sup>. A partir destes resultados, já pode-se inferir que os dois parâmetros de processo testados são significativos no processo de extração de queratina.

A partir destes resultados, foram definidas as condições de operação para o processo de hidrólise da pelagem de suínas com objetivo de obter um hidrolisado completamente líquido.

A Tabela 2, apresenta os resultados das condições de operação obtidas na escala laboratorial.

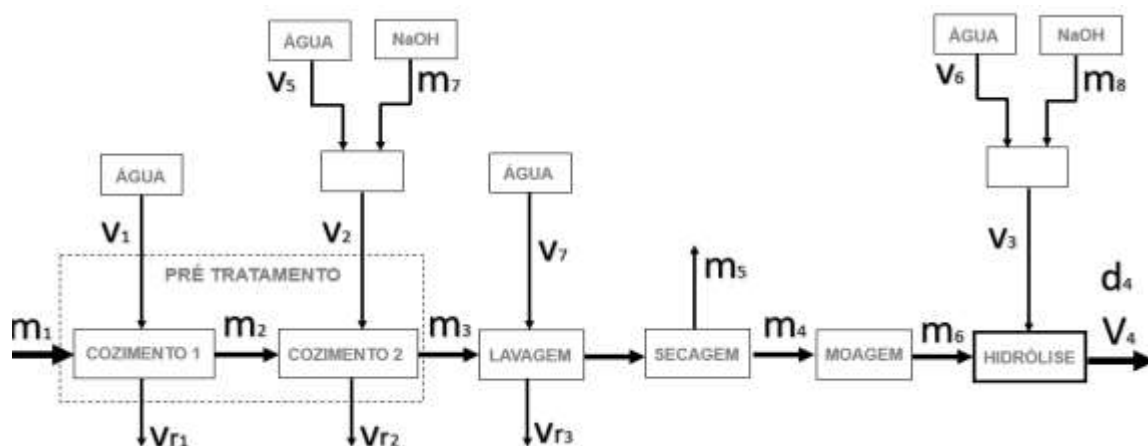
**Tabela 2. Resultados das condições de operação/ parâmetro de processo obtido em escala laboratorial.**

| Parâmetro de operação                   | Especificação            |
|---|--------------------------|
| Reagente                                | Hidróxido de sódio       |
| Concentração do reagente                | 1,25 mol.L <sup>-1</sup> |
| Volume de reagente                      | 100 mL                   |
| Quantidade de pelo suíno na alimentação | 1 grama                  |
| Temperatura                             | 45 °C                    |
| Agitação                                | Contínua                 |
| Tempo de processo                       | 4 horas                  |

### Processo de extração de queratina na escala laboratorial e o seu escalonamento a condição industrial

A Figura 4 apresenta as etapas e fluxos de processo obtidos como resultado, a partir das considerações realizadas nos itens anteriores.

**Figura 4.** Resultado qualitativo do pelo suíno inteiro e em pó, após hidrólise sob nova condição de operação



A Tabela 3 apresenta os resultados na escala laboratorial, conforme proporções de alimentação e de saída desenvolvidos na escala laboratorial e, a projeção dos resultados para a escala industrial na alimentação de 57 toneladas ( $m_1$ ) de pelagem de suínos na etapa de preparação da pelagem.

**Tabela 3.** Resultados das condições de operação da preparação da pelagem em escala laboratorial e projeção em escala industrial

| Etapa de Preparação da pelagem |                       |             |                       |            |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|------------|
| Operação                       | Escala laboratorial   |             | Escala Industrial     |            |
|                                | Parâmetro de operação | Resultado   | Parâmetro de operação | Resultado  |
| Cozimento 1                    | $m_1$ (g)             | 8           | $m_1$ (ton)           | 57         |
|                                | $V_1$ (mL)            | 250         | $V_1$ (L)             | 1780804,80 |
|                                | $m_2$ (g)             | 10,52       | $m_2$ (ton)           | 80,90      |
|                                | Temperatura (°C)      | 100         | Temperatura (°C)      | 100        |
|                                | Tempo (min)           | 30          | Tempo (min)           | 30         |
|                                | Agitação              | Contínua    | Agitação              | Contínua   |
| Cozimento 2                    | $m_2$ (g)             | 10,52       | $m_2$ (ton)           | 80,90      |
|                                | $V_5$ (mL)            | 250         | $V_5$ (L)             | 2497084,06 |
|                                | $m_7$ (NaOH) (g)      | 0,128865979 | $m_7$ NaOH (ton)      | 1,29       |
|                                | $V_2$ (mL)            | 250         | $V_2$ (L)             | 2497084,06 |
|                                | $m_3$ (g)             | 11,358      | $m_3$ (ton)           | 113,45     |
|                                | Temperatura (° C)     | 100         | Temperatura (° C)     | 100        |
|                                | Tempo (min)           | 45          | Tempo (min)           | 45         |
|                                | Agitação              | Contínua    | Agitação              | Contínua   |

A Tabela 4 apresenta os resultados na escala laboratorial, conforme desenvolvido neste trabalho e, a projeção de resultados na escala industrial para o processamento de 57 toneladas de pelagem de suínos na etapa de secagem após o Cozimento 2.

**Tabela 4.** Resultados das condições de operação para a secagem em escala laboratorial e para projeção em escala industrial

| Etapa de Secagem      |           |                       |           |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Escala laboratorial   |           | Escala Industrial     |           |
| Parâmetro de operação | Resultado | Parâmetro de operação | Resultado |
| Temperatura (°C)      | 45        | Temperatura (°C)      | 45        |
| Tempo (min)           | 24        | Tempo (min)           | 24        |
| $m_3$ (g)             | 11,358    | $m_3$ (ton)           | 113,448   |
| $m_4$ (g)             | 3,887     | $m_4$ (ton)           | 38,825    |
| $m_5$ (g)             | 7,471     | $m_5$ (ton)           | 74,623    |

Finalizada a secagem do pelo suíno, foi realizada a etapa de moagem, que promove a redução do tamanho de partícula. Nesta etapa foi considerado rendimento de 100% ( $m_4 = m_6$ ), pois não foram observadas perdas significativas nesta etapa. Após a moagem do pelo, o mesmo seguiu para a pesagem e hidrólise alcalina. Desta forma, a Tabela 5 apresenta os resultados na escala laboratorial, conforme desenvolvido neste trabalho e, a projeção de resultados na escala industrial para o processamento de 57 toneladas de pelo suíno na etapa de hidrólise alcalina.

**Tabela 5.** Resultados das condições de operação de secagem em escala laboratorial e para a projeção em escala industrial

| Etapa de Hidrólise               |               |                                  |               |
|----------------------------------|---------------|----------------------------------|---------------|
| Escala Laboratorial              |               | Escala Industrial                |               |
| Parâmetro de operação            | Especificação | Parâmetro de operação            | Especificação |
| Temperatura (°C)                 | 45            | Temperatura (°C)                 | 45            |
| Tempo (min)                      | 270           | Tempo (min)                      | 270           |
| Agitação                         | Contínua      | Agitação                         | Contínua      |
| m <sub>6</sub> (g)               | 1             | m <sub>6</sub> (ton)             | 38,825        |
| V <sub>6</sub> (Água) (mL)       | 100           | V <sub>6</sub> (Água) (L)        | 3882466,300   |
| m <sub>8</sub> (NaOH) (g)        | 5,155         | m <sub>8</sub> (NaOH) (ton)      | 200,141       |
| V <sub>3</sub> (mL)              | 100           | V <sub>3</sub> (L)               | 3882466,300   |
| V <sub>4</sub> (mL)              | 100           | V <sub>4</sub> (L)               | 3882466,300   |
| d <sub>4</sub> (g/mL)            | 1,051         | d <sub>4</sub> (g/mL)            | 1,051         |
| Concentração de proteína (mg/mL) | 12,14         | Concentração de proteína (mg/mL) | 12,14         |
| Quantidade de proteína em mg     | 121,4         | Quantidade de proteína em ton    | 47,13         |

O resultado de concentração de proteína de 12,14 mg/mL indica que no volume final de 100 mL de solução é possível obter 121,4 mg de proteína. Fazendo esta relação em escala industrial. Isso indica que de uma alimentação de 57 toneladas de pelo suíno é possível obter 47,13 ton. A partir dos resultados apresentados anteriormente e, das considerações realizadas acerca do fluxo produtivo, para projeção em escala industrial foram identificadas necessidades de processo em relação às etapas apresentadas na Figura 4. Por meio deste racional, foi elaborado um fluxo de processo para escala industrial, conforme apresentado na Figura 4. Neste fluxograma, além da denominação das etapas produtivas para obtenção da queratina líquida, foram adicionadas as etapas de obtenção de queratina líquida, para a qual é necessário apenas a concentração da queratina e secagem do material.

A considerar medidas de minimização das etapas de preparação da matéria prima (pelo suíno), sugere-se uma mudança no processo de depilação dos suínos nos abatedouros, de forma que a matéria prima recebida pelos estabelecimentos de beneficiamento contenha menos impurezas.

Em relação ao consumo de reagente que poderia ser economizado na etapa de preparação da matéria prima - Cozimento 2, estima-se que para o processamento de 57 toneladas de resíduo, pelo suíno, gerado por um único frigorífico, iria requerer aproximadamente 1287 kg de hidróxido de sódio para hidrolisar apenas a pele. Desta forma, a grande quantidade de reagente necessária para o pré-tratamento da matéria prima corrobora para incentivar o estudo de novas práticas de depilação dos suínos, a fim de se obter um pelo suíno mais limpo.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados do desenvolvimento do processo para extração de queratina mostraram ser eficazes na hidrólise alcalina utilizando hidróxido de sódio 1,25 mol.L<sup>-1</sup> em temperatura de 45 °C, por um período de 270 minutos, gerando um produto líquido com densidade 1,05 g/mL, e concentração de 12,72 mg/mL de proteína. Estes resultados evidenciaram a possibilidade de utilização do pelo suíno na forma de pó, para obtenção de queratina líquida, além de poder ser utilizado o produto líquido, para gerar a queratina sólida.

## REFERÊNCIAS

ABPA (Associação Brasileira de proteína animal), Relatório Anual 2015. P. 104 a 111, dez. 2015.

FERROLI, P. C. M.; FIOD NETO, M.; CASAROTTO FILHO, N. and CASTRO, J. E. E. Fábricas de subprodutos de origem animal: a importância do balanceamento das cargas dos digestores de vísceras. *Prod.* v. 10, nº 2. p. 05-20. 2000.

LOWRY OH, ROSEBROUGH NJ, FARR AL, RANDALL RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 1951 Nov;193(1):265-75. PMID: 14907713.

MOORE, G. R. P; MARTELLI S. M; GANDOLFO C.A; PIRES A. T.N; LAURINDO, J.B. Queratina de penas de frango: extração, caracterização e obtenção de filmes. *Ciência e Tecnologia de Alimentos [online].* vol. 26, n. 2, p. 421-427. 2006.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno) – série P+L. CETESB. São Paulo, 2006.

WODDIN, A. M.; Molecular size, shape and aggregation of soluble feather keratin. *Biochem. J.*, v. 57, p. 99, 1954.