

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARAIZA APARECIDA NUNES

MONITORAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO LEITE
CONDENSADO

PATOS DE MINAS
2017

MARAIZA APARECIDA NUNES

MONITORAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO LEITE
CONDENSADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia - *Campus* Patos de Minas como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientadora: Prof Dr^a Milla Gabriela dos Santos
Co-orientador: Amado Jesus

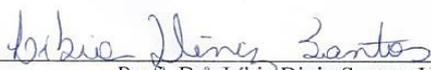
PATOS DE MINAS
2017

MONITORAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO LEITE
CONDENSADO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para obtenção do Título de Engenheira de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Patos de Minas, pela a banca examinadora, formada por:

Patos de Minas, 21 de dezembro de 2017.


Prof.^a Dr.^a Milla Gabriela Santos, UFU/MG


Prof.^a Dr.^a Líbia Diniz Santos, UFU/MG


Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana, UFU/MG

Dedico este trabalho a meus pais, José Humberto e Maria de Fátima e aos tios, José Vieira e Terezinha.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela proteção e força para que eu pudesse superar todos os momentos de minha vida. Agradeço de forma especial aos meus pais, José Humberto, Maria de Fátima, por me incentivarem e apoiarem meu sonho, por todos os ensinamentos, amor, carinho e companheirismo.

A minha irmã, Mariana por seus conselhos, pelo companheirismo e por todos os momentos.

Aos meus tios José Vieira e Terezinha por terem me ajudado quando tudo começou.

Ao meu namorado, Carlos Augusto pelos incentivos, companheirismo e por compartilhar todos os momentos durante a realização deste trabalho.

Ao meu cunhado, Marcos César pelo apoio durante todos esses anos.

A todos os meus familiares que participaram da minha caminhada sempre com palavras de incentivo.

Aos meus colegas e amigos que tive a oportunidade de conhecer e conviver ao longo da graduação.

A minha orientadora de TCC, professora Dra. Milla Gabriela por toda orientação desse trabalho.

Ao professor Jader pela contribuição nesse trabalho.

A minha orientadora de IC, professora Djenaine de Souza por todas oportunidades oferecidas, pelos ensinamentos, puxões de orelha e pelo apoio, com certeza nunca me esquecerei o que a senhora fez por mim.

Ao meu grupo de pesquisa, LEABE por todos momentos, pela convivência e pelos aprendizados.

Ao Amado e a Juliana pela oportunidade de estágio.

A empresa, CEMIL por proporcionar a realização desse trabalho.

Aos meus demais professores, que durante os cinco anos de graduação me passaram conhecimentos e ensinamentos.

À banca examinadora, por terem aceitado o convite e por ajudarem a engrandecer o meu trabalho.

A todos, meu muito obrigado.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1: Números do setor leiteiro no Brasil.....	13
Tabela 1: Análises físico-químicas nas etapas de produção do leite condensado.	21
Tabela 2: Análises estatísticas da atividade de água durante as etapas de produção.	25
Tabela 3: Análises estatísticas para o extrato seco.	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma industrial do processo de produção do leite condensado.	16
Figura 2: Relação das variáveis de extrato seco e A_w com as etapas do processo.....	26
Figura 3: Correlação de extrato seco e A_w	27
Figura 4: Diagrama P&I	30
Figura 5: Representação de um diagrama de blocos.....	30
Figura 6: Esquema de um funcionamento de um controlador	31

RESUMO

O leite condensado é um produto muito apreciado pelos consumidores, e em seu processamento a etapa mais crítica é a evaporação, na qual acontece a concentração do produto. Para estabelecer limites para essa variável as indústrias criam seus próprios limites e padrões. Uma variável importante é o teor de extrato seco e o objetivo inicial do trabalho foi quantificar este parâmetro através do acompanhamento da atividade de água durante as etapas do processo de fabricação. As análises estatísticas apresentaram diferenças significativas para atividade de água nas etapas de leite cru e dissolução para as demais, além disso, a variável extrato seco também foi analisada significativamente, e os resultados apontaram diferenças para a etapa de leite cru para as demais. Posteriormente, foi avaliada a correlação dessas variáveis e a análise possibilitou obter uma boa correlação, indicando que uma variável interfere na outra. Portanto, foi concluído que é necessário estudo de outras variáveis de processo que interferem na concentração do extrato seco, e uma alternativa para tal estudo, é utilizar o controle de processos, o qual é uma ferramenta que possibilita identificar outras variáveis que afetam o processo e também permite padronizar o processo. Então, neste trabalho foi elaborada uma pequena revisão mostrar o conceito do controle de processos e sua aplicabilidade através de estudos que foram realizados em outras plantas industriais. Como perspectivas futuras para este trabalho será necessário realizar balanços de massa e energia para desenvolver uma modelagem e comparar os dados experimentais com os de planta.

Palavras chaves: Leite condensado. Atividade de água. Extrato seco. Controle de processos

ABSTRACT

Condensed milk is a product highly appreciated by consumers, and in its processing the most critical stage is evaporation, in which the concentration of the product occurs. To establish limits for this variable, industries create their own limits and standards. An important variable is the content of dry extract and the initial objective of the work was to quantify this parameter by monitoring the water activity during the stages of the manufacturing process. Statistical analyzes showed significant differences for water activity in the stages of raw milk and dissolution for the others, in addition, the dry extract variable was also analyzed significantly, and the results pointed out differences for the raw milk stage for the others. Subsequently, the correlation of these variables was evaluated and the analysis made it possible to obtain a good correlation, indicating that one variable interferes in the other. Therefore, it was concluded that it is necessary to study other process variables that interfere in the concentration of dry extract, and an alternative for such a study is to use process control, which is a tool that allows to identify other variables that affect the process and also allows standardization of the process. So, in this work a small review was elaborated to show the concept of process control and its applicability through studies that were carried out in other industrial plants. As future perspectives for this work will be necessary to carry out mass and energy balances to develop a modeling and compare the experimental data with the plant data.

Key words: Condensad milk. Water activity. Dry extract. Process control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO.....	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Leite	12
3.1.1	<i>Lactose.....</i>	<i>13</i>
3.1.2	<i>Lipídeos.....</i>	<i>14</i>
3.1.3	<i>Proteínas.....</i>	<i>14</i>
3.1.4	<i>Sais.....</i>	<i>14</i>
3.2	Leite Condensado	15
3.2.1	<i>Processo de produção do leite condensado.....</i>	<i>16</i>
3.2.1.1	<i>Recepção da matéria-prima</i>	<i>16</i>
3.2.1.2	<i>Padronização dos teores de gordura.....</i>	<i>17</i>
3.2.1.3	<i>Adição de Sacarose.....</i>	<i>17</i>
3.2.1.4	<i>Pasteurização</i>	<i>18</i>
3.2.1.5	<i>Evaporação.....</i>	<i>18</i>
3.2.1.6	<i>Resfriamento.....</i>	<i>19</i>
3.2.1.7	<i>Adição de Lactose.....</i>	<i>19</i>
3.2.1.8	<i>Cristalização.....</i>	<i>19</i>
3.2.1.9	<i>Envase.....</i>	<i>20</i>
4	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1	Determinação de gordura.....	22
4.2	Determinação de atividade de água	22
4.4	Determinação da viscosidade	22
4.5	Determinação do Brix.....	22
4.6	Determinação de proteína, lactose e extrato seco	23
4.7	Determinação do pH	23
4.8	Determinação da densidade	23

4.8.1	<i>Leite e dissolução</i>	23
4.8.2	<i>Leite condensado</i>	23
4.8.3	<i>Análises estatísticas</i>	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1	Controle de Processo	28
5.1.1	<i>Malhas de controle</i>	29
5.1.2	<i>Estimativas de modelos</i>	31
5.1.3	<i>Controladores</i>	31
5.1.3.1	<i>Controlador Proporcional</i>	32
5.1.3.2	<i>Controlador Integral</i>	32
5.1.3.3	<i>Controlador Derivativo</i>	33
5.1.3.4	<i>Controlador Proporcional Integral</i>	33
5.1.3.5	<i>Controlador Proporcional Derivativo</i>	34
5.1.3.6	<i>Controlador Proporcional Integral Derivativo</i>	34
5.2	<i>Estudo de caso</i>	35
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o leite condensado é definido pelo Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - (RIISPOA) no artigo 657, o qual estabelece leite condensado como produto resultante da desidratação em condições próprias, do leite adicionado açúcar. Além disso, o RIISPOA também define as etapas de fabricação do leite condensado, as quais são: seleção do leite, padronização dos teores de gordura e de sólidos totais, pré-aquecimento, adição de xarope (solução de glicose ou sacarose), condensação, refrigeração, cristalização e envase (BRASIL, 2017). Assim, algumas indústrias criam seus próprios limites físico-químicos, através de testes experimentais e avaliação de variáveis importantes no processo produtivo, visando a padronização do produto.

Na produção do leite condensado, a etapa de condensação é a responsável pela obtenção da concentração final do produto e isso a torna uma etapa crítica deste processo, a qual pode ser influenciada por diversos fatores, tais como o tipo de equipamento utilizado, a temperatura de evaporação, pressão do vapor entre outros fatores. Atualmente, os laticínios fazem o uso de evaporadores que são dotados de um sistema de múltiplo efeito, pois tal sistema reduz custos com energia e ainda há economia de vapor de um efeito para outro (FOUST; 1982).

O parâmetro de extrato seco total é amplamente utilizado pelas empresas para controle de qualidade e o índice mínimo de sólidos totais (extrato seco) é definido pelo RIISPOA como sendo 28% (BRASIL, 2017). Assim, as indústrias brasileiras buscam estabelecer uma faixa mínima e máxima para o extrato seco, com a finalidade de monitorar esse parâmetro. Depois de definidos os índices, as variáveis do processo são ajustadas de modo a operar dentro da faixa estabelecida. Porém durante o processo pode haver inconvenientes que alteram os limites de extrato seco, sendo que o excesso pode causar prejuízo para a empresa, e um valor abaixo do limite estabelecido, significa que o consumidor está adquirindo um produto fora do padrão.

Portanto, é importante controlar o processo de produção de leite condensado para corrigir as variáveis que são afetadas, com a finalidade de diminuir problemas relacionados com esses limites, os quais são utilizados como controle do processo.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em monitorar a atividade de água (A_w) durante todo processamento do leite condensado, afim de determinar um método para a quantificação do extrato seco a partir dessa análise. Além disso, também foram avaliados alguns parâmetros físico-químicos durante o processamento do mesmo para avaliar qual variável afeta a concentração do extrato seco total.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Leite

Segundo a Instrução Normativa de nº 62/2011 (BRASIL, 2011), o leite é definido como produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. O leite é uma mistura homogênea composta por substâncias como lactose, glicérides, proteínas, sais, vitaminas e enzimas. Algumas substâncias podem estar em emulsão tais como gordura e algumas substâncias associadas, mas também podem estar dispostas em suspensão como a caseína ligada a sais minerais. Entretanto, a lactose, vitaminas hidrossolúveis e as proteínas do soro se apresentam na forma de uma solução (ORDOÑEZ, 2005).

A composição do leite é bastante variável devido a fatores como: espécie, raça, fatores genéticos, fase de lactação, estados fisiológicos (fatores de sanidade), alimentação, clima e o sistema de ordenha (fatores ambientais e manejo) (RENHE; PERRONE; SILVA; 2011).

Segundo Zoccal (2017), a produção de leite estimada no Brasil no ano de 2015 foi de aproximadamente 34 bilhões de litros, colocando o Brasil em quarto lugar no ranking mundial dos países produtores. Por outro lado, apesar do país estar entre os que mais produzem leite, ainda faz importação de produtos lácteos para abastecer o mercado interno. Em 2016, o Brasil importou cerca 130,2 mil toneladas de produtos, o que equivale a 1,1 bilhão de litros de leite. Por outro lado, as exportações de leite ficaram abaixo do esperado com 25,9 mil toneladas (ZOCCAL; 2017).

O Quadro 1 apresenta os números do setor leiteiro no Brasil no ano de 2015 (ZOCCAL, 2017).

Quadro 1: Números do setor leiteiro no Brasil

Produção de leite em 2015	34 bilhões de litros
Brasil e o ranking mundial dos países produtores	4º lugar
Importação de leite de jan-jun/2016	1,1 bilhão de litros
Número de produtores de leite	1,3 milhão
Rebanho de vacas ordenhadas	23 milhões
Trabalhadores envolvidos com a atividade leiteira	4 milhões
Laticínios registrados pelo SIF	2 mil
Captação anual dos laticínios registrados	24 bilhões de litros
Valor Bruto da produção de leite em 2015	R\$ 28,9 milhões
Consumo per capita de lácteos	170 litros/hab/ano
Consumo per capita de leite	60 litros/hab/ano
Crescimento de mercado de lácteos 2011-2015	78%
Setor leiteiro e os negócios em 2015	R\$ 60 bilhões

Fonte: Zoocal, (2017).

3.1.1 Lactose

A lactose é o principal açúcar do leite, e é formada através de uma ligação glicosídica β 1-4 entre os monossacarídeos galactose e glicose, formando um dissacarídeo. A lactose é um açúcar redutor que possui o grupo aldeído livre, assim é possível reagir com outras substâncias nitrogenadas, formando reações químicas como a reação de Maillard. Essas reações provocam no alimento consequências como a diminuição do valor nutritivo, produção de outros compostos que geram odores e desenvolvimento de pigmentos escuros (melanoidinas). (ORDOÑEZ; 2005).

Segundo Ordóñez (2005), as condições de cristalização estão diretamente relacionadas com o tamanho dos cristais. A cristalização forçada e rápida gera cristais pequenos e a cristalização lenta forma cristais grandes, que são perceptíveis ao paladar humano.

No leite condensado, os principais fatores para a ocorrência da cristalização da lactose são o teor final da lactose na solução e a temperatura do produto, já que o processo de cristalização deste açúcar é inevitável (RENHE; PERRONE; SILVA; 2011). O teor de lactose final depende de variáveis como quantidade de água no produto final e teor inicial de lactose. Além disso, outro fator que contribui para a formação dos cristais é a redução da temperatura, a qual diminui a solubilidade da lactose, ocorrendo tal processo. Neste processo de resfriamento, o fenômeno de cristalização é desejável, pois ocorre o processo de cristalização

forçada (secundária), o qual gera cristais muito pequenos, os quais não causam percepção ao consumidor (RENHE; PERRONE; SILVA; 2011).

O mecanismo de cristalização da lactose pode ocorrer de duas formas: por nucleação primária ou nucleação secundária. No primeiro mecanismo ocorre geração de partículas acima do limite superior, ou seja, devido a elevadas regiões de supersaturação desse açúcar. Por outro lado, o mecanismo de cristalização secundária pode ocorrer devido a variação de temperatura e a adição de núcleos de cristalização. A lactose é adicionada em pó e com isso há formação de cristais pequeno. Além disso, a formação desses cristais também é pode ser induzida através de agitação constante (RENHE; PERRONE; SILVA; 2011). Em laticínios é muito comum a adição de lactose para induzir a formação de pequenos cristais para que não haja percepção do consumidor.

3.1.2 *Lipídeos*

Os lipídeos são os componentes que mais variam entre as substâncias presentes no leite, pois dependem de fatores como raça, época do ano, manejo dos criadores entre outros (ORDOÑEZ; 2005). Os lipídeos são uma classe de compostos orgânicos que são insolúveis em água. Possuem cadeias de hidrocarbonetos e apresentam solubilidade em solventes orgânicos. Dos principais constituintes da gordura do leite, os triacilgliceróis compõe cerca de 95% da fração lipídica. Além disso, há presença de outros compostos tais como glicolipídios, vitaminas lipossolúveis e compostos responsáveis por sabor e aroma (aldeídos e cetonas) (RENHE; PERRONE; SILVA; 2011). O leite apresenta em sua composição lipídica ácidos graxos livres, que podem se ligar com acilgliceróis e a fosforolipídeos.

3.1.3 *Proteínas*

As proteínas do leite são compostas pelas caseínas (α_{s1} , α_{s2} , β , κ), pelas proteínas do soro (β -lactoglobulina, α -lactalbumina, albumina sérica, imunoglobulinas e lactoferrinas) e membranas dos glóbulos de gordura, as quais representam aproximadamente 3,5 % do teor do leite. As proteínas são importantes para nutrição, e ainda podem contribuir com propriedades que permitem sua aplicação, sem modificar o valor nutritivo e alterar a característica sensorial do leite.

3.1.4 *Sais*

No leite são encontrados alguns sais na forma de íons ou compostos não ionizados, os

quais podem estar em solução ou em estado coloidal. Os principais sais constituintes do leite são os fosfatos, citratos, cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos de sódio, potássio, cálcio, e magnésio e outros elementos em quantidades inferiores como cobre, ferro, boro, manganês, zinco e iodo.

Segundo Renhe; Perrone; Silva (2011), o equilíbrio entre as fases coloidal e solúvel é influenciado por fatores como pH, temperatura, adição de outros sais, diluição, concentração e congelamento. Na fase coloidal o principal sal encontrado é o fosfato de cálcio, o qual pode estar ligado às caseínas ou ainda na forma inorgânica. (ORDOÑEZ; 2005).

3.2 Leite Condensado

A história do leite condensado começou em 1856, quando o Americano Gail Garden estava submetendo o leite por um processo de desidratação. Entretanto, o pesquisador percebeu que antes do leite se transformar em leite em pó, o mesmo se transformava em um líquido viscoso. Posteriormente, na Guerra Civil Americana, Garden patenteou o produto adicionado de açúcar, e o mesmo foi bastante utilizado na guerra devido a facilidade no transporte e porque tinha uma vida útil superior aos demais alimentos (LEITE CONDENSADO, 2017).

No Brasil, o leite condensado é um dos principais produtos lácteos que é destinado a exportação, e em 2017 superou o leite em pó, com aumento de 43% nas vendas. Atualmente, os principais países importadores desse produto estão situados na África, América Latina e no Oriente Médio (CANAL RURAL; 2017).

O leite condensado é o produto resultante da desidratação em condições próprias, do leite adicionado de açúcar (BRASIL, 2017). Segundo Renhe; Perrone; Silva (2011), para o processo de fabricação do leite condensado, as matérias-primas mais utilizadas são: o leite fluido, tendo como sólidos lácticos entre 12 e 13,5%, o leite concentrado com 40 a 50% de sólidos lácticos, o leite em pó com 96,5% a 97% de sólidos lácticos, ou ainda podem ter combinações dessas três matérias-primas. Além disso, o leite condensado sofre adição de sacarose e lactose durante o processo. A sacarose é um dissacarídeo formado através da ligação α -1,2, pela molécula de glicose e frutose. Esse açúcar pode ser extraído da cana de açúcar ou da beterraba (MENDES; FURTADO, 2011).

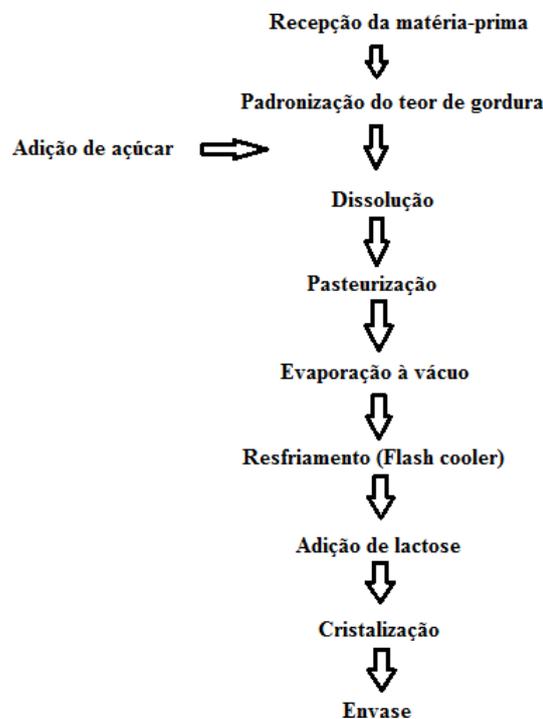
Assim, o leite condensado apresenta composição final de aproximadamente 8% de gordura, 45% de açúcar, 20% de sólidos não gordurosos e 27% de água (FLAUZINO; ROMERO, 2007).

3.2.1 Processo de produção do leite condensado

O fluxograma de produção de leite condensado consiste em sequências que envolvem operações unitárias tais como: centrifugação, tratamento térmico, evaporação a vácuo, e cristalização. O fluxograma industrial para a produção de leite condensado segue as seguintes etapas: seleção e recebimento do leite, filtração, resfriamento, estocagem do leite cru, padronização do teor de gordura, adição de açúcar, tratamento térmico (Pasteurização), evaporação a vácuo, resfriamento e cristalização, envase e estocagem (RENHE, PERRONE; SILVA, 2011; TAN, 2009).

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma de produção do leite condensado.

Figura 1: Fluxograma industrial do processo de produção do leite condensado.



FONTE: Elaborado pela autora.

3.2.1.1 Recepção da matéria-prima

O leite é recebido por caminhões a uma temperatura inferior a 4°C, e posteriormente são realizados testes físico-químicos em laboratório para avaliar se a matéria-prima está estável e dentro dos padrões estabelecidos pela indústria e pela legislação brasileira (BRASIL, 2011). De acordo com o RIISPOA, o leite cru refrigerado deve possuir as seguintes características: teor de gordura no mínimo 3%, acidez de 14 a 20 °Dornic, densidade relativa a 15°C deve estar

entre 1,028 a 1,033 g/ml, índice crioscópico no mínimo de 0,550°H, lactose no mínimo de 4,3%, sólidos não gordurosos no mínimo de 8,5 %, proteína mínimo de 2,9, contagem padrão de placas deve estar até 1×10^4 unidades formadoras de colônias (UFC) e por fim o leite deve estar estável ao teste do alizarol (BRASIL, 2017).

Após aprovado, o leite segue para os tanques de armazenamento, os quais são dotados de um sistema de controle de temperatura (FERNANDES; MARICATO, 2010).

3.2.1.2 *Padronização dos teores de gordura*

Na primeira etapa do processo, é necessário a padronização dos teores de gordura e de sólidos não gordurosos de origem láctica do leite. Segundo Renhe; Perrone; Silva (2011), o processo de padronização do leite consiste na adição de creme, o qual é obtido através do processo de centrifugação. Essa padronização é realizada através do quadrado de Pearson, que consiste na somatória de creme adicionado e de leite desnatado, os quais obedecem a relação de 3,4 partes de creme de leite mais 41,5 partes de leite desnatado, resultando em 44,9 partes de leite padronizado (RENHE, PERRONE; SILVA, 2011)

Segundo Renhe; Perrone; Silva (2011), para a obtenção do leite condensado algumas características da matéria-prima são importantes para obter um produto de boa qualidade, sendo que o leite deve apresentar características como: estabilidade térmica, apresentar teor de gordura, teor de proteínas, teor de proteínas no extrato seco total, apresentar baixa contagem de células somáticas (CCS), e teor total de sólidos lácticos de acordo com a Instrução Normativa número 62.

3.2.1.3 *Adição de Sacarose*

A sacarose é um dissacarídeo formado através da ligação α -1,2, pela molécula de glicose e frutose. Esse açúcar é extraído da cana de açúcar ou da beterraba (MENDES; FURTADO, 2011).

A sacarose pode ser adicionada em três momentos, sendo o primeiro após a filtração, o segundo após a pasteurização e o terceiro após a evaporação na forma de xarope. Segundo Ordóñez (2005), o processo de adição de açúcar dependerá da característica leite condensado, pois em cada processo é obtida uma característica distinta de viscosidade para esse produto. Segundo Renhe; Perrone; Silva (2011), o primeiro mecanismo produz um leite condensado com maior viscosidade ao final da fabricação, porém no segundo mecanismo pode ocorrer reações de caramelização, e no terceiro não é possível fazer a adição de lactose em pó, pois o líquido

encontra-se muito viscoso, impedindo a distribuição homogênea do pó. Atualmente as indústrias do Brasil utilizam a adição de sacarose ao leite anteriormente ao tratamento térmico.

3.2.1.4 Pasteurização

A mistura de leite e açúcar é enviada para a pasteurização, com o objetivo de destruir microrganismos e inativar enzimas. A pasteurização é realizada em um pasteurizador que é acoplado a um sistema de evaporadores de múltiplo efeito (BRASIL; 2011; RENHE, PERRONE; SILVA, 2011). Para a pasteurização é aplicada uma temperatura de 115°C durante três segundos.

3.2.1.5 Evaporação

Após a pasteurização, o leite passa pela etapa de evaporação a vácuo, a qual concentra o leite, causando aumento no teor de sólidos e viscosidade do produto. Além disso, diminui a atividade de água, contribuindo na conservação do leite condensado. Para evaporar a água presente no leite, é fornecida uma quantidade de energia na forma de vapor, e por isso a planta de evaporação é frequentemente desenhada com sistema de múltiplos efeitos (RENHE, PERRONE; SILVA, 2011; SCHUMACHER, MARCZAK; CARDOZO, 2015).

Para a produção de leite condensado os evaporadores mais utilizados pelas indústrias são os evaporadores tubulares de película descendente com sistema de múltiplos efeitos. Esses evaporadores são utilizados para processar alimentos que não podem ficar muito tempo em contato com aquecimento devido a mudanças relacionadas com a característica sensorial. Segundo Weistphalen e Maciel (1999), a qualidade dos alimentos está diretamente relacionada com a operação de evaporação, pois altas temperaturas podem causar perdas de aromas, desencadeamento de reações de escurecimento (Maillard), perda de vitaminas, gelatinização de amidos entre outras consequências. Além disso, os autores ainda destacam a importância de se fazer um projeto de evaporação, pois a temperatura de ebulição da água causa diversos efeitos indesejáveis nos alimentos e como alternativa a isso, utiliza-se a evaporação a vácuo. Essa operação faz com que a temperatura de ebulição da água seja reduzida, sem causar efeitos adversos no produto que está sendo concentrado.

Os evaporadores de película possuem características como baixo tempo de residência e a alimentação de solução é feita no topo desses equipamentos. Além disso, esses evaporadores possuem um conjunto vertical de tubos contendo 5 cm de diâmetro, dentro de uma carcaça de 3 metros de diâmetro e 15 metros de altura (ORDOÑEZ; 2005). O funcionamento deste

equipamento consiste na condensação do vapor na superfície externa dos tubos do evaporador, no qual o líquido que está situado no interior do tubo entra em ebulição e o vapor de água fica contido na região central do tubo. O vapor é formado à medida que o líquido escoar, e o vapor gerado comprime o líquido contra a parede interna do tubo, gerando um filme fino de líquido que escoar em altas velocidades (WEISTPHALEN; MACIEL, 1999).

Muitas indústrias utilizam os evaporadores de múltiplos estágios, os quais são colocados em série e o vapor d'água gerado no primeiro efeito é usado para os efeitos subsequentes para evaporar o líquido. Neste sistema, a pressão diminui para manter a diferença de temperatura no evaporador, e o número de efeitos depende da economia de vapor gerado no sistema (FELLOWS, 2006). Para a produção de leite condensado esse sistema é amplamente utilizado devido a economia de vapor, que está relacionada com custo do processo.

3.2.1.6 *Resfriamento*

Após a etapa de evaporação, o produto é resfriado a uma temperatura próxima a 20°C por um equipamento chamado *flash cooler*. Nesta etapa, o efeito do resfriamento rápido contribui para a formação dos cristais e padronização do tamanho dos mesmos, pois há redução brusca da temperatura, fazendo com que aumente o número de núcleos homogêneos gerados pela supersaturação da solução, ou saturação da lactose.

3.2.1.7 *Adição de Lactose*

Após a etapa de resfriamento, ocorre adição da lactose em pó, com o objetivo de induzir a nucleação secundária, ou seja, promover formação de pequenos cristais, diminuindo a arenosidade do produto, sob temperatura e agitação controlada (SCHUMACHER, MARCZAK; CARDOZO, 2015).

3.2.1.8 *Cristalização*

Após a adição da lactose, o produto vai para um tanque chamado tanque de cristalização, no qual a temperatura e a agitação são controladas. No tanque de cristalização ocorre agitação constante, com objetivo de induzir a formação dos núcleos, os quais geram pequenos cristais sendo um processo desejável.

3.2.1.9 *Envase*

A última etapa do processo é o envase, na qual o produto pode ser armazenado em embalagens cartonadas ou em embalagens metálicas. As embalagens devem fornecer proteção contra contaminação, oxidação além de outras características. Após o envase, o produto segue para comercialização.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A parte inicial deste trabalho foi desenvolvida em uma empresa de laticínios que está localizada na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais. A empresa forneceu todas as amostras e os experimentos de bancada foram realizados no laboratório de físico-química da mesma.

Neste trabalho as etapas de produção do leite condensado consistiram em recebimento e padronização da matéria-prima (Leite cru), adição de açúcar (dissolução), pasteurização do leite açucarado, evaporação à vácuo, adição de lactose, resfriamento (*flash cooler*), cristalização, envase e estocagem do produto. Durante o processo de fabricação do leite condensado, foram coletadas amostras em diferentes dias, sendo lotes distintos situados nas etapas de recebimento de matéria-prima (silo de estocagem de leite cru), nos tanques de dissolução (mistura de leite e açúcar), no *flash cooler* (após o resfriamento), no tanque de cristalização (produto acabado) e por fim, no processo de envase do produto. Posteriormente, foram realizadas análises físico-químicas para algumas etapas do processo de produção. Na Tabela 1 são apresentadas as análises físico-químicas que foram realizadas para cada etapa do processo de produção do leite condensado.

Tabela 1: Análises físico-químicas nas etapas de produção do leite condensado.

Análises	Silo de estocagem	Dissolução	Flash cooler	Tanque de cristalização	Envase
Aw	X	X	X	X	X
Crioscopia	X				
Proteína	X				
Gordura	X	X	X	X	X
Densidade	X	X	X	X	X
Acidez	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X
ESD	X				
EST	X	X	X	X	X
°Brix		X	X	X	X
Lactose	X		X	X	X
Viscosidade			X	X	X

Extrato seco desengordurado (ESD), extrato seco total (EST), sólidos solúveis (°BRIX), atividade de água (Aw).
FONTE: Próprio autor.

4.1 Determinação de gordura

A análise de gordura das amostras foi realizada conforme Adolfo Lutz (2008) seguindo as seguintes etapas:

Pipetou-se 10 mL da amostra e 11 mL de ácido sulfúrico (densidade de 1.825 g/L) e 2 ml de álcool isoamílico. Posteriormente, fez-se a homogeneização e foi colocado um butirômetro de Geber em uma centrífuga com velocidade de 1200 a 1400 rpm, e posteriormente o mesmo foi colocado em banho com temperatura controlada, a leitura foi feita na escala graduada do butirômetro (IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.2 Determinação de atividade de água

Essa análise foi determinada em higrômetro digital Aqualab® 3TE (Decagon Devices Inc, Pullman, EUA). O procedimento foi realizado colocando a amostra em uma capsula, depois a mesma foi transferida para o equipamento, no qual a leitura foi feita.

4.3 Determinação da acidez em graus dornic

O procedimento foi feito pipetando 10 mL da amostra e adicionando 3 gotas do indicador, depois a amostra foi titulada com a solução Dornic e a leitura foi feita através da graduação da bureta (IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Para calcular a acidez do leite condensado o princípio utilizado foi o mesmo do leite, porém foi necessário uma diluição em água (5 gramas da amostra e 10 de água), posteriormente o procedimento foi realizado de acordo com a metodologia citada anteriormente.

4.4 Determinação da viscosidade

O procedimento consistiu em colocar a amostra no viscosímetro modelo DV-E viscometer, ajustar a velocidade para 30 rpm e colocar o splindle número 63, e a leitura de viscosidade foi feita no próprio equipamento.

4.5 Determinação do Brix

A determinação de sólidos solúveis foi feita por um refratômetro portátil que obtém a concentração de sólidos solúveis em ° Brix, através de uma escala numérica. A amostra foi

colocada na superfície do refratômetro e posteriormente, a leitura foi feita na escala do equipamento.

4.6 Determinação de proteína, lactose e extrato seco

Para a determinação de proteína, lactose e extrato, foi utilizado o analisador MilkScan™ FT1. O princípio de medição deste equipamento é baseado em um interferômetro usando a transformada de Fourier para gerar o espectro a partir dos dados. A espectroscopia FTIR é útil para amostras homogêneas e líquidas, tornando o método de espectroscopia de absorção infravermelho preferível para amostras de leite (FOSS ANALYTICAL, 2017). Foram colocados 20 mL da amostra no equipamento e posteriormente, a leitura dos parâmetros foi feita através do *software*.

4.7 Determinação do pH

Para a determinação do pH foi utilizado um pHmetro modelo Digimed DM-2P. O procedimento foi realizado colocando o eletrodo de pHmetro imerso na amostra e a leitura foi realizada no equipamento.

4.8 Determinação da densidade

4.8.1 Leite e dissolução

A metodologia utilizada para a análise de densidade de leites e leite açucarado foi realizada de acordo com do Instituto Adolph Lutz (2008), através de um lactodensímetro, com temperatura de referência de 15°C. O procedimento foi feito colocando a amostra no lactodensímetro e posteriormente, a leitura foi feita com a correção em uma tabela de referência.

4.8.2 Leite condensado

Para a determinação de densidade do leite condensado foi utilizado um lactodensímetro específico para o produto, pelo fato do mesmo apresentar uma viscosidade elevada. Foi feito o mesmo procedimento para a leitura sem a correção de temperatura.

4.8.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *software* Statística® para comparar se houve diferenças dos valores de atividade de água e extrato seco entre os dias e nas etapas de processo, aplicando o teste de tukey com $p < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intuito inicial deste trabalho consistiu em monitorar as variáveis físico-químicas das etapas do processo do leite condensado, com a finalidade de desenvolver uma metodologia para quantificação do extrato seco a partir da atividade de água. As principais variáveis físico-químicas afetadas durante a concentração são a viscosidade, a quantidade de sólidos solúveis (Brix) e extrato seco.

Os resultados da análise estatística da atividade de água estão apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2: Análises estatísticas da atividade de água durante as etapas de produção.

Dia	Leite Cru	Dissolução	Flash cooler	Cristalização	Envase
1	0,968 ^{Aa} ±0,007	0,950 ^{Ba} ±0,005	0,826 ^{Ca} ±0,006	0,834 ^{Ca} ±0,006	0,862 ^{Da} ±0,002
2	0,981 ^{Aa} ±0,004	0,951 ^{Ba} ±0,006	0,824 ^{Ca} ±0,002	0,837 ^{Ca} ±0,004	0,865 ^{Da} ±0,007
3	0,971 ^{Aa} ±0,006	0,947 ^{Aa} ±0,013	0,826 ^{Ba} ±0,002	0,832 ^{Ba} ±0,008	0,841 ^{Bb} ±0,002
Média	0,971	0,950	0,826	0,834	0,862

Letras minúsculas na mesma coluna diferem quanto aos dias e letras maiúsculas na mesma linha diferem quanto as etapas do processo. $p < 0,05$.

Com a realização da análise estatística é possível afirmar que há padronização do processo, uma vez que não houve diferenças significativas entre os dias de análises, com exceção do dia 3 na análise de A_w do produto após o envase.

De acordo com os resultados obtidos, houve redução significativa da atividade de água do leite cru até a etapa final (após envase do produto) devido a concentração do produto, o que era esperado.

De acordo com Ordóñez (2005), a atividade de A_w ideal do leite condensado é de 0,830, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho. Além disso, no trabalho de concentração de leite condensado por osmose reversa de Mendes e Furtado (2011), a atividade de água após a concentração ficou em torno de 0,861, o que foi considerado próximo com o valor obtido na etapa de envase deste trabalho.

A Tabela 3 apresenta as análises estatísticas para as etapas de produção do leite condensado.

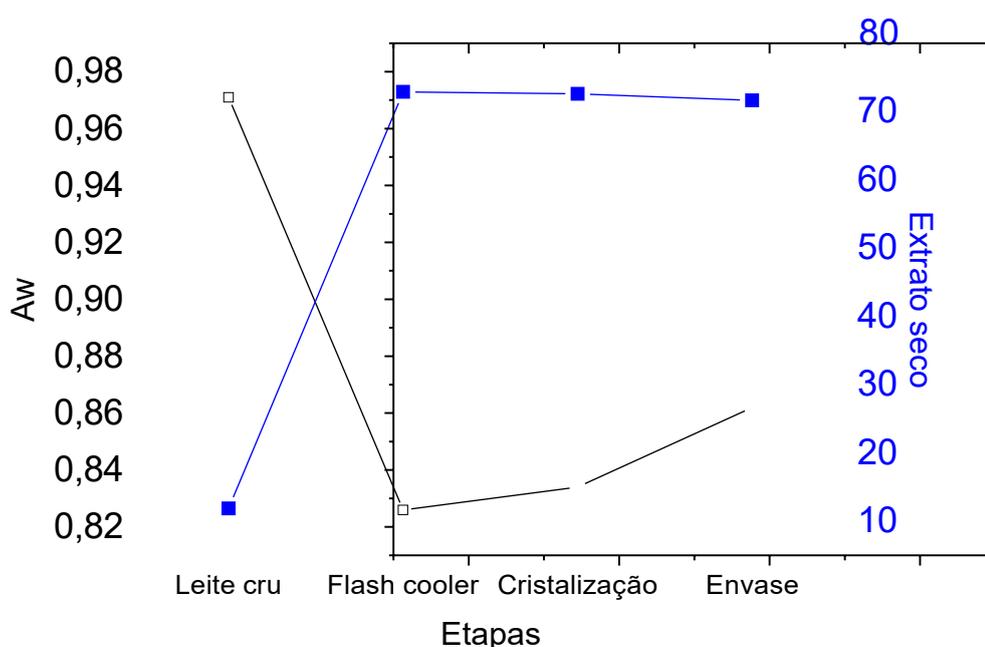
Tabela 3: Análises estatísticas para o extrato seco.

Dia	Leite Cru	Flash cooler	Cristalização	Envase
1	11,87 ^{aA} ±0,0141	73,73 ^{aB} ±0,5616	73,38 ^{aB} ±0,5930	71,61 ^{aC} ±0,6188
2	11,84 ^{aA} ±0,0920	72,77 ^{aB} ±0,1371	71,75 ^{aB} ±1,2203	71,65 ^{aB} ±0,2885
3	12,31 ^{bA} ±0,0047	72,89 ^{aB} ±0,4312	72,61 ^{aB} ±0,5741	72,40 ^{aB} ±0,1600
Média	11,87	72,89	76,61	71,65

Letras minúsculas na mesma coluna diferem quanto aos dias e letras maiúsculas na mesma linha diferem quanto as etapas do processo. $p < 0,05$.

De acordo com os dados da análise estatística, não houve diferença significativa entre os dias para as etapas de flash cooler, cristalização e envase. Por outro lado, entre para a etapa de leite cru houve diferença significativa entre os dias, para $p < 0,05$. Entre os processos houve diferença significativa para os valores de extrato das etapas de leite cru para as demais, exceto no primeiro dia, pois na etapa de envase também foi verificado tal condição.

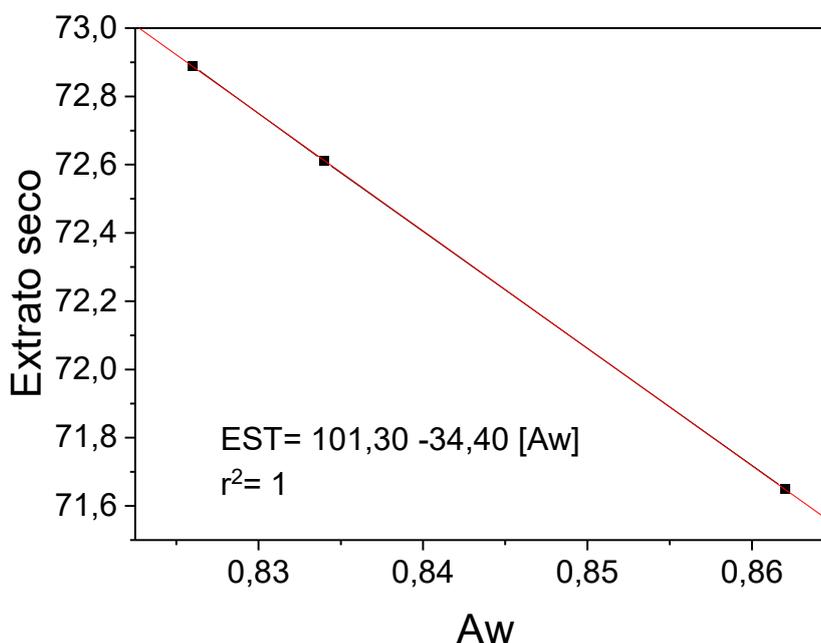
Após obter os valores médios de cada variável nas diferentes etapas, foi possível fazer a construção de um gráfico contendo as variáveis e as etapas do processo, o qual está representado pela Figura 2, porém não foi possível obter um valor de extrato para a etapa de dissolução, então o ponto foi excluído.

Figura 2: Relação das variáveis de extrato seco e A_w com as etapas do processo.

Assim, com a média dos dados de atividade de água e extrato seco foi possível construir

um gráfico de dispersão para avaliar se existe uma correlação entre as variáveis em questão, porém a etapa de leite cru foi excluída devido ao baixo valor de extrato seco. Na Figura 3, está apresentada as correlações, e foi observado pelo gráfico que as mesmas apresentaram uma boa correlação ($r^2=1$), mostrando que a A_w tem influência na variável do extrato seco. Além disso, pode ser observado que quanto maior a A_w , menor o extrato seco.

Figura 3: Correlação de extrato seco e A_w .



Então, é necessário realizar estudos para verificar como uma variável interfere na outra, com isso deve se obter correlações para quantificação do extrato seco que é importante para o controle de qualidade do leite condensado.

Quanto as outras análises físico-químicas, todas estiveram dentro do padrão exigido pela empresa e as análises da matéria-prima estavam dentro do padrão exigido pela instrução normativa nº 62.

De acordo com os dados, pode-se concluir com este estudo que é necessário estudar outras variáveis de processo para analisar os problemas que estão relacionados com a concentração do produto, e para isso uma alternativa seria utilizar o controle de processos, que é uma ferramenta bastante utilizada para identificar variáveis que afetam o processo e também é usado para simular e otimizar o processo de produção.

Portanto, neste trabalho foi elaborada uma pequena revisão, mostrando o conceito de controle processos e sua aplicação através de outros trabalhos que estão sendo realizados em

diferentes processos.

5.1 Controle de Processo

O controle de processos é um método que vem sendo aplicado para reduzir a variabilidade de produtos acabados e tem como objetivo diminuir o desperdício e os custos de produção através da melhoria de processos (FELLOWS, 2006). O controle de processos visa estudar conceitos de projeto, metodologias de ajustes e seleção de instrumentos, bem como estratégias para controlar automaticamente operações de processos industriais, tais como controle de pressão, abertura de válvulas, controle de temperatura, entre outros (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

Segundo Fellows (2008), as mudanças tecnológicas do controle de processo ocorreram devido ao aumento entre a competição dos fabricantes em produzir maior variedade de produtos em um curto espaço de tempo, bem como aumento dos custos de mão de obra e pelas legislações, as quais começaram a estabelecer produtos com uma padronização e alimentos seguros. Além disso, os avanços do desenvolvimento de *software* contribuíram para que a capacidade de processamento de dados aumentasse, sendo possível a construção de sistemas de controle mais eficientes e sofisticados.

A dinâmica de processos estuda o comportamento das variáveis em função do tempo quando uma perturbação é aplicada a um sistema, como por exemplo mudança nas vazões, temperaturas, condições ambientais, perdas de energia e eficiência de equipamentos. Todas perturbações são variáveis que interferem na eficiência de processo de uma planta industrial (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

As variáveis de entradas (perturbações) provocam transformações internas no processo e que outras variáveis são afetadas como as variáveis de saída. As variáveis de saída (respostas) são variáveis dependentes e tem a função de indicar o estado em que se encontra determinado processo.

Para aplicação do controle de processos é necessário a instrumentação industrial, a qual é representada por instrumentos e dispositivos, que são amplamente utilizados para medição e controle de variáveis de operação em processos industriais. Esses instrumentos e dispositivos estão interligados com os equipamentos de plantas industriais, viabilizando estratégias de controles (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008). As estratégias de controle mais importantes utilizadas no controle de processos são a realimentação e a antecipação.

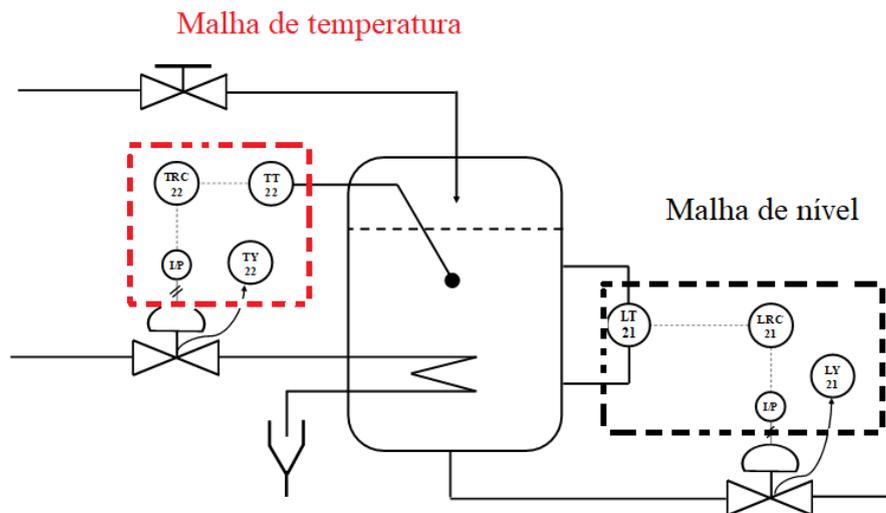
A estratégia de controle de realimentação consiste em corrigir um erro na variável de

processo e sua implementação pode ser combinada ou isolada. Por outro lado, a antecipação é o aparecimento de um desvio em alguma variável de operação que pode afetar a variável controlada do processo. Para essa estratégia é necessário o conhecimento das possíveis perturbações e da correção realizada ao longo do processo (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

5.1.1 Malhas de controle

As malhas de controle podem ser definidas como conjunto de instrumentos, os quais representam a implementação de uma estratégia de controle. Além disso, as malhas podem ser identificadas através do circuito de informação e das variáveis e sinais envolvidos no sistema. As malhas são compostas pelo processo, instrumentos de medição e transmissão e instrumentos de controle e de atuação. No processo, está contido todos os equipamentos e operações, bem como as variáveis envolvidas na estratégia de controle e seus comportamentos dinâmicos. Por outro lado, os instrumentos de medição e transmissão são responsáveis por gerar a informação de medida correspondente a variável que está sendo controlada. Entretanto, o objetivo dos instrumentos de controle são tomar as decisões e ações de atuação para que seja feita a correção dos desvios detectados pelos instrumentos de medição transmissão. Os instrumentos de atuação possibilitam a realização da ação de correção detectados pelos instrumentos de controle, através da análise das variáveis de projetos (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

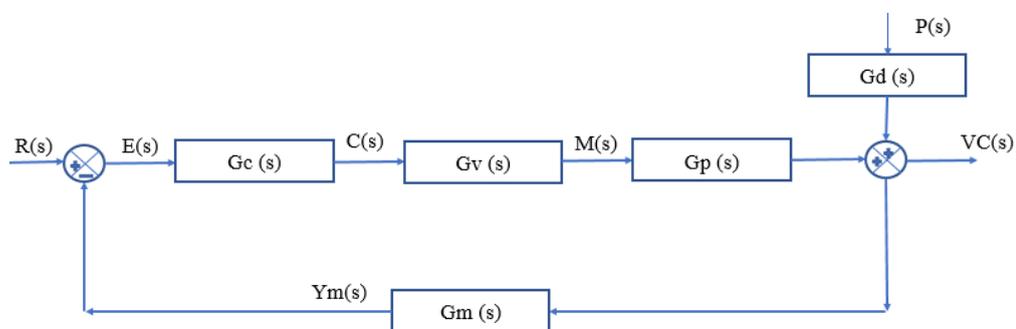
As malhas de controle podem ser representadas através de gráficos como o diagrama P&I e do diagrama de blocos. O diagrama P&I representa um esquema de processo com simbologia da instrumentação utilizada. No diagrama estão contidas informações sobre o processo e a instrumentação de controle. A Figura 4 representa o diagrama P&I, no qual está representada duas malhas, sendo uma de temperatura e outra de nível.

Figura 4: Diagrama P&I.

FONTE: Adaptado de VOLDMAN; FOLLY e SALGADO, 2008.

Na malha de temperatura, TT22 representa um sensor e transmissor de temperatura com saída elétrica. Na simbologia utilizada, o controlador e registrador de temperatura está representado por TRC22, já TY22 está representado por uma válvula de controle pneumática com conversor eletropneumático. Na malha de nível, o sensor e transmissor está representado por LT21, e o controlador e registrador de nível está representado por LRC21, e por fim, a válvula de controle está representada por LY21 (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

No diagrama de blocos a representação da malha é feita através de blocos, nos quais representam as características dinâmicas dos componentes da malha. A Figura 5 representa um diagrama de blocos, nos quais G_c , G_v , G_p e G_m indicam os instrumentos de controle.

Figura 5: Representação de um diagrama de blocos.

FONTE: Próprio autor.

Essa representação gráfica tem como objetivo mostrar informações a respeito do

processo e dos instrumentos que a compõe. Além disso, também fornece informações sobre etapas de modelagem e simulação.

5.1.2 Estimativas de modelos

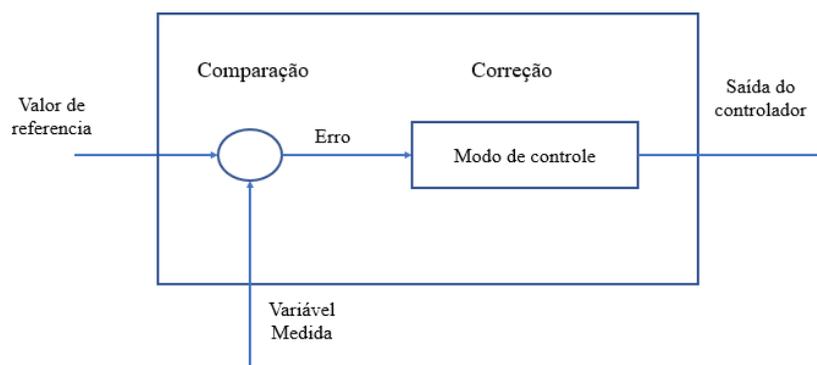
Para as estratégias de controle devem ser levados em consideração o alcance de sinais de cada instrumento, as faixas de atuação, a linearidade do instrumento, as fontes de alimentação, os tempos de respostas de cada instrumento e os tempos de ação. Com isso é possível fazer estimativas de modelos de instrumentos usados nas malhas, através da aplicação de metodologias empíricas para identificar os ganhos, as constantes de tempo e tempo morto (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

As constantes de ganho são fornecidas pelos fabricantes através de dados de calibração dos instrumentos de medidas. Por outro lado, as constantes de tempo são determinadas através de modelos de primeira ordem ou ainda modelos de segunda ordem, os quais também podem ser fornecidos pelos fabricantes (VOLDMAN; FOLLY; SALGADO, 2008).

5.1.3 Controladores

Os controladores são instrumentos utilizados para tomar decisões de corrigir desvios que ocorrem durante a análise da variável de controle do processo. O funcionamento de um controlador consiste em comparar um valor da variável de controle com um valor de referência. Entretanto, se surgir um desvio, o instrumento de controle entende que durante esse processo existe um erro associado, e a ação do mesmo é corrigir o erro, por exemplo, abrir a válvula ou fechar em um processo de controle de vazões (VOLDMAN; FOLLY e SALGADO, 2008). Na Figura 6 está representado um esquema de funcionamento de um controlador.

Figura 6: Esquema de um funcionamento de um controlador.



Fonte: Voldman; Folly; Salgado, (2008)

No controle manual a saída do controlador não está ligada com a válvula, sendo que a mesma é controlada por operadores da linha de produção de determinado processo industrial. Por outro lado, no controle automático, a ação de correção na válvula é controlada pelo controlador, sendo que sua saída está vinculada a uma válvula e o operador não tem acesso a mesma (VOLDMAN; FOLLY SALGADO, 2008).

Segundo Voldman, Folly; Salgado (2008), os controladores realizam a ação de correção, a qual vai acionar a válvula, e para isso são usados controladores proporcional, integral, derivativo, proporcional integral, proporcional derivativo e por fim o mais importante, proporcional integral e derivativo (PID).

5.1.3.1 Controlador Proporcional

No modo de controle proporcional, a relação do sinal de saída no controlador e sinal de erro detectado é apenas o ganho, a equação está representada pela Equação 1.

$$p(t) = K_c \cdot e(t) \quad (1)$$

Na qual:

K_c : é o ganho do controlador proporcional;

$e(t)$: é a diferença entre as variáveis desejada e medida (erro)

O parâmetro K_c vai definir o quanto a variável de saída vai variar conforme um erro associado na variável de medida. O controlador proporcional tem como desvantagem o erro pertinente, pois a correção só é feita proporcional ao erro.

5.1.3.2 Controlador Integral

O controlador proporcional integral produz uma variação contínua na saída do controlador, quando detectado um erro na variável de medida. Esse controlador apresenta como vantagem sempre manter a variável controlada/medida tendo o valor de referência, sem apresentar um desvio permanente (VOLDMAN; FOLLY e SALGADO, 2008). A Equação 2, apresenta a função do erro no controlador proporcional integral.

$$p(t) = p_R + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

Na qual,

τ_I : Constante de tempo integral

p_R : Variável de referência

$e(t)$: erro

5.1.3.3 Controlador Derivativo

No controlador derivativo a função do erro varia com a taxa de variação do tempo, sendo que a correção do erro pode apresentar desvantagens se a variável de medida apresentar oscilações muito frequentes (VOLDMAN; FOLLY e SALGADO, 2008). Na equação 3 temos a representação de uma função de um controlador derivativo.

$$p(t) = p_R + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3)$$

Na qual,

τ_d : Constante de tempo derivativa;

p_R : Variável de referência;

$e(t)$: erro

5.1.3.4 Controlador Proporcional Integral

Neste tipo de controlador são utilizados os dois tipos de ação, o proporcional e integral. Então, para fazer o cálculo de sinal $p(t)$ da saída do controlador, deve ser levado em consideração o ganho proporcional e a constante de tempo integral τ_I . A Equação 4 representa o sinal do controlador proporcional integral.

$$p(t) = p_R + K_c (e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt) \quad (4)$$

Na qual,

τ_I : Constante de tempo integral

p_R : Variável de referência

$e(t)$: erro

K_c : é o ganho do controlador proporcional;

5.1.3.5 Controlador Proporcional Derivativo

Neste controlador são utilizadas as ações de controlador proporcional junto com o derivativo. O sinal de saída deste controlador vai estar em função do ganho proporcional (K_c) e da constante de tempo derivativa (τ_D). A equação 5 representa o sinal de saída do controlador proporcional derivativo.

$$p(t) = p_R + K_c \left(e(t) + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (5)$$

Na qual,

τ_d : Constante de tempo derivativa

p_R : Variável de referência

$e(t)$: erro

K_c : é o ganho do controlador proporcional;

5.1.3.6 Controlador Proporcional Integral Derivativo

Esse controlador combina as três ações de controle, proporcional, derivativo e integral. O sinal de saída deste controlador leva em consideração três parâmetros, sendo o ganho proporcional (K_c), constante de tempo integral e constante de tempo derivativa, os quais podem ser ajustados para que a ação de controle e a correção do erro seja efetiva e rápida. A equação deste controlador está apresentada pela Equação 6.

$$p(t) = p_R + K_c \left(e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (6)$$

Na qual,

τ_d : Constante de tempo derivativa

τ_I : Constante de tempo integral

p_R : Variável de referência

$e(t)$: erro

K_c : é o ganho do controlador proporcional;

Este tipo de controlador é bastante usado em processos industriais devido sua capacidade de controlar uma variável de entrada do processo e uma variável de saída do processo. Além disso, apresenta uma variável de referência para comparar o valor medido e efetuar a correção da ação se o mesmo apresentar um erro (SHIRAHIGE e PEREIRA, 2007).

5.2 Estudo de caso

Uma empresa de laticínios produz uma quantidade de leite condensado mensalmente e análises físico-químicas são realizadas durante as etapas de produção, estocagem e na etapa de liberação desse produto para a comercialização. Durante a produção do leite condensado são avaliados os parâmetros de viscosidade, extrato seco e pH para controle do processo e padronização do mesmo, além disso, para cada um desses parâmetros há uma faixa mínima e máxima.

O fluxograma industrial segue o modelo da Figura 1, na qual a etapa de evaporação é uma etapa crítica do processo, pois é nesta etapa que se obtém a concentração ou extrato seco desejado para o leite condensado. Na evaporação são utilizados evaporadores de múltiplos estágios, pois possuem vantagens como economia de vapor, a qual é definida pela razão entre a massa de água evaporada e a massa de vapor utilizado (FOUST, 1982). Essa economia de vapor faz com que o custo do processo seja reduzido, sendo benéfico para a unidade processadora.

O parâmetro de extrato seco é uma variável que deve ser controlada, pois se estiver acima do limite estabelecido pela empresa, a mesma estará comercializando um produto com alta quantidade de extrato, o que acarretaria em perdas e impactaria no custo do produto. Porém, se a quantidade de extrato estiver abaixo do limite estabelecido, o consumidor estaria adquirindo um produto fora das especificações, então é necessário um controle das variáveis de processo que interferem na concentração do produto.

Para controlar variáveis de processo, uma ferramenta bastante utilizada em plantas industriais é a implementação de um controle de processo, no qual há utilização de controladores, que são equipamentos capazes de tomar uma ação corretiva através da comparação de um sinal de entrada com uma variável de referência. Como já foi abordado anteriormente, existem três tipos de controladores, os quais possuem diversas atuações, que são dependentes do processo.

Para o controle de plantas de evaporação deve ser levado em consideração ajustes nas

vazões de produtos e na temperatura através da combinação de controle convencional, realizado a partir de controles de realimentação, antecipação e atenuação, com a finalidade de obter a taxa de evaporação desejada (PITARCH et al., 2017). Para determinar o melhor controlador é necessário realizar balanços de massa do processo e avaliar as principais variáveis que podem interferir no processo de concentração.

No trabalho de Ruan et al (2015) foi estudado uma modelagem para reduzir o consumo de energia de evaporadores no processo de concentração de suco de uva, e os resultados da simulação foram comparados com os dados de planta da fábrica sendo satisfatórios. O modelo proposto de modelagem foi capaz de reduzir aproximadamente 15% do vapor consumido para etapa de concentração.

Para implementação de controladores é necessário o conhecimento de variáveis que podem interferir na eficiência de cada processo e no trabalho de Pitarch et al (2017), foram avaliadas as variáveis que interferem na eficiência do processo de evaporação, sendo que a incrustação dos trocadores de calor impacta diretamente na otimização de tempo e ação de controle.

O trabalho dos autores Madoumier et al (2015), consistiu em simular algumas propriedades do leite tais como viscosidade, capacidade calorífica, elevação do ponto de ebulição, condutividade térmica, densidade e tensão superficial a partir de modelos de modelagem empíricos, os quais foram implementados em simulador para avaliar o comportamento dessas propriedades no processo de evaporação de três efeitos. Os autores compararam os resultados industriais com a simulação e verificaram que os valores das variáveis obtidas nos dois processos estavam próximos, mostrando que a metodologia pode ser aplicada para melhorar o processo de evaporação, e além disso, os autores destacam que com o uso da simulação há redução do consumo de vapor e redução de custos com o processo.

Portanto, para a escolha do melhor controlador na etapa de evaporação deve ser levado em consideração variáveis como temperatura, quantidade de produto ser concentrado, composição do produto e pressão do evaporador. Tal escolha é feita através de modelagem do processo utilizando um sistema de simulação computacional, no qual os valores obtidos podem ser comparados com os valores de planta para implantar o melhor sistema de controle para determinada malha. Na literatura existem vários trabalhos que relacionam modelagem de processos com uso de sistemas de simulação, assim é possível determinar os parâmetros dos diferentes controladores e realizar testes para verificar qual é a melhor resposta de controle para tal processo em diferentes tempos (ALMEIDA; NEITZEL; MARTINELLI, 2009).

A implementação do controle de processos possibilita a redução de custos com processo

e também correções de problemas relacionados com a concentração final do leite condensado. Assim, a empresa estará comercializando um produto dentro das especificações, evitando que o consumidor compre produtos fora do padrão especificado.

6 CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo inicial desenvolver uma metodologia para determinação do extrato seco do leite condensado a partir da análise de atividade de água durante o processamento do mesmo, e tais resultados foram analisados estatisticamente e concluiu-se que houve diferenças significativas de atividade de água das etapas de leite cru e dissolução em relação as demais etapas. Além disso, a variável extrato seco também foi analisada estatisticamente e os resultados mostraram que houve diferenças significativas desta variável para a etapa de leite cru e as demais. Assim, foi possível correlacionar tais variáveis e o resultado foi satisfatório, apresentando um ótimo coeficiente de determinação, mostrando que as mesmas possuem correlação. A partir desses valores encontrados nesse trabalho, estudos podem ser realizados para desenvolver um modelo que correlacione tais variáveis para determinação do extrato seco do leite condensado.

Além disso, o concluiu-se que são necessários mais estudos para analisar outras variáveis que afetam a concentração do extrato seco. E uma alternativa para análise das mesmas é utilizar o controle de processos, que é ferramenta importante para aplicar correções que minimizem erros na etapa final de produção e também para identificar possíveis variáveis que interferem no processo. Além disso, o controle de processos monitora variáveis que são fundamentais para padronização do processo. Como perspectivas futuras para este trabalho, a sugestão seria realizar balanços de massa nas etapas de produção do leite condensado para avaliar se estão em acordo com os dados de planta da empresa e por fim, aplicar a simulação de processo para avaliar o comportamento das variáveis que afetam tal processo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.M; NEITZEL, I; MARTINELLI, S. **Modelagem, simulação e controle de um sistema de evaporação múltiplo efeito de licor negro**. Monografia apresentada a Faculdade de Telemaco Borba, Paraná, 2009.

BRASIL. Instrução Normativa n.62. **in 62**, p. 24, 2011. Disponível em: <http://www.universidadedoleite.com.br/imagens/uploads/files/instru??o_normativa_62.pdf>. Acesso em: 6 out. 2017.

BRASIL. Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Brasilia DF: Ministerio da Agricultura. 212 p. 1952. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/decreto-30691-de-1952.pdf>>. Acesso em: 22 de jun. 2017.

DE ABREU, A.S; COBUCI, J.A; FISCHER, V. **Leite instável não ácido e propriedades físico-químicas do leite de vaca Jersey**. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FERNANDES, V.G; MARICATO, G. **Análises físico-químicas de amostras de leite cru de um laticínio em Bicas-MG**. *Revista Instituto de Laticínio Candido Torres*,65(375), pag 3–10. Juiz de Fora, MG, ago.2010.

FLAUDINO, R.D.; ROMERO, J.T. **Influência da temperatura e dor teor de gordura nos parâmetros reológicos do leite condensado e creme de leite**. Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto. 2007.

FOUST, Alan S. et al. **Princípios das operações unitárias**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

FOSS Analytical. **Prospectos e dados técnicos para download**. Disponível em <<http://www.foss-analytical.com.br/industry-solution/dairy/brochures-and-data-sheets>>. Acesso em: 5 de jun. 2017.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 1a edição digital. In: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. [s.l: s.n.] p. 1020.

Leite condensado lidera exportações de lácteos. **Canal rural**, jun. 2017. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/leite/leite-condensado-lidera-exportacoes-lacteos-67892>>. Acessado em: 6 out. 2017

MADOUMIER, M.; AZZARO-PANTEL, C.; TANGUY, G.; GÉSAN-GUIZIOU, G. Modelling the properties of liquid foods for use of process flowsheeting simulators: Application to milk concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 164, p. 70–89, 2015.

MENDES, P.M.; FURTADO, M.A.M. **Leite condensado: comparação entre o processo tradicional e empregando pre-concentração por membranas**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Laticínios. Universidade Federal de

Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2011.

ORDÓÑEZ, Juan A. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de origem animal**. v.2. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PITARCH, J. L.; PALACÍN, C. G.; DE PRADA, C.; VOGLAUER, B.; SEYFRIEDSBERGER, G. Optimisation of the resource efficiency in an industrial evaporation system. **Journal of Process Control**, v. 56, p. 1–12, 2017.

RENHE, I.R.T.; PERRONE, I.T.; SILVA, P.H.F. **Leite condensado: identidade, qualidade e tecnologia**.v1. Juiz de Fora: Templo 2011.

SCHUMACHER, R.D.; MARCZAK, L.D.F.; CARDOZO, N.S.M. **Potencial de utilização de análises de imagens e análises térmicas na cristalização dos açúcares em leite condensado**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.

SHIRAHIGE, A. B; PEREIRA, S.L. **Metodologia para aferição de controle proporcional integral derivativa implementada em controladores industriais**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SIG BRASIL. Disponível em: <<http://ex.sig.biz/brazil/pt/sig-brasil/>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

TAN, R. Volume 3: lactose, Water, Salt and Minor Constituents. In MCSWEENEY, P.L.H AND FOX, P.F (ED). **Advanced dairy Chemistry**. 3ed. New York: Springer Science Business, 2009 p. 295-349.

VALDMAN, B; FOLLY, R; SALGADO, A. **Dinâmica, controle e instrumentação de processos**. IV ed. Rio de Janeiro, editora UFRJ, 2008, 398 p.

WEISTPHALEN, L.D; MACIEL, M.R.W. **Modelagem, simulação e otimização de sistemas de evaporação**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

ZOCCAL, R. Alguns números do leite. **Revista Eletrônica Balde Branco**, São Paulo, set. 2016. Disponível em: < <http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>>. Acesso: 6 out. 2017.