
Mapeamento de requisitos para
desenvolvimento do *SoftBeef*- Software
para verificação da qualidade da carne
em bovinos utilizando espectroscopia
VIS-NIR.

Tatiane de Queiroz Moura Ferlete

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACOM-UFMS

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Tatiane de Queiroz Moura Ferlete

Orientador: *Prof. Dr. Gedson Faria*

Coorientadora: *Prof^a. Pos-Dr^a. Marina de Nadai Bonin Gomes*

Dissertação apresentada à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - FACOM-UFMS como parte dos requisitos necessários à obtenção para o título de Mestre em Computação Aplicada.

Banca Examinadora:

- Prof. Dr. Gedson Faria (Orientador) (CPCX / UFMS)
- Prof^a. Pos-Dr^a. Marina de Nadai Bonin Gomes (Coorientadora) (FAMEZ / UFMS)
- Prof. Dr. Fábio Iaione (Membro) (Facom / UFMS)
- Prof^a. Dr^a. Marjorie Toledo Duarte (Membro) (FAMEZ / UFMS)

FACOM - Campo Grande
Setembro/2018

*Aos meus pais,
Valdinei e Judith,*

*Ao meu esposo,
Valter de Oliveira Ferlete*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por guiar-me ao longo do caminho, dando-me sabedoria e persistência para realizar este trabalho. Agradeço também, pois ao longo desta jornada colocou em meu caminho meu esposo Valter Ferlete, que esteve ao meu lado em todos os momentos durante a conclusão deste trabalho, dando-me apoio e força nos momentos em que mais precisei.

Aos meus pais e meu irmão, por estarem sempre ao meu lado apoiando e torcendo pela realização deste sonho.

Agradeço ao meu orientador Gedson Faria e minha coorientadora Marina Gomes por todos os ensinamentos, conselhos, auxílios e tempo dedicado, direcionando-me ao melhor caminho.

A todos os professores do programa de Pós Graduação da FACOM-UFMS que contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Aos meus amigos de curso e de vida, obrigada por todos os momentos em que passamos juntos.

Abstract

The beef quality one of the factors that most influence the acceptance of the consumer. Such factors may be related to fat coverage, color, size of the ribeye area, intermuscular fat and uniformity of the product. These quality factors are measured, with methods like ultrasound, video image (VIA), and subjective methods, among others, used before and after the slaughter and some that are invasive and destructive.

In contrast to these methods, is found analysis by spectroscopy, made after slaughter, to predicting the beef quality by capturing infrared spectra in the between visible and near infrared (VIS-NIR), being little invasive and not destructive method. However, even though it is more effective than the other-methodology used for beef evaluation does not attribute prediction in real time, and requires the use of complementary software to obtain the final result of the analysis.

Aiming at improvement of the use of the aforementioned method, a technologies and methods to improve the use of technological resources already used, through stage and research in the literature. After the mapping was developed, the implementation of a segment of a software for prediction in real time of the attributes related to the beef quality, combined with the of the spectroscopy equipment and the method of capturing spectra by with wavelengths in the near visible range (VIS- NIR).

Key-words: Analysis, methods, technologies.

Resumo

A qualidade da carne bovina é um dos fatores que mais influenciam à aceitação do consumidor. Tais fatores podem ser relacionados com a cobertura de gordura, cor, tamanho da área do contra-filé, gordura intermuscular e uniformidade do produto. Para que esses fatores de qualidade sejam medidos, alguns métodos como ultrassonografia, vídeo imagem (VIA), métodos subjetivos e objetivos, dentre outros, são utilizados antes e após o abate e alguns chegam a ser invasivos e destrutivos.

Em contraste a esses métodos, encontra-se a avaliação por espectroscopia que é realizada após o abate e consiste em prever a qualidade da carne bovina através da captação de espectros por infravermelho com comprimentos de ondas na faixa do visível próximo (VIS-NIR), sendo um método pouco invasivo e não destrutivo. Porém, mesmo sendo mais eficaz que os demais citados, a metodologia utilizada para avaliação da carne não realiza a predição de atributos em tempo real, e necessita da utilização de softwares complementares para obter o resultado final da análise.

Visando a melhoria da utilização do método supracitado, foi realizado um mapeamento sobre tecnologias e métodos adequados para aprimorar o uso dos recursos tecnológicos já utilizados, por meio de acompanhamento realizado via estágio e pesquisa na literatura. Após o desenvolvimento do mapeamento, foi realizada a implementação de um segmento de um software para predição em tempo real dos atributos relacionados a qualidade da carne, aliado a utilização do equipamento de espectroscopia e o método de captação de espectros por infravermelho com comprimentos de ondas na faixa do visível próximo (VIS-NIR).

Palavras-chave: Análise, métodos, tecnologias.

Sumário

Sumário	xiv
Lista de Figuras	xvi
1 Introdução	1
2 Qualidade da carne bovina	5
2.1 Conceitos e fundamentos	5
2.2 Características de qualidade de carne	7
2.3 Métodos para predição da qualidade da carne	7
2.4 Análise da carne (Quantitativas x Qualitativa)	8
3 Tecnologias usadas para predição da qualidade da carne bovina	11
3.1 Espectroscopia Raman	12
3.2 Espectroscopia VIS-NIR espectroscopia de luz visível e infraver- melho próximo	14
4 Desenvolvimento	17
4.1 Problemática	17
4.2 Etapas para o desenvolvimento do projeto	19
4.2.1 Etapa 1: Acompanhamento dos métodos de análise	19
4.2.2 Etapa 2: Pesquisas para iniciar o desenvolvimento do Soft- ware	25
4.2.3 Etapa 3: Pesquisas para iniciar a implementação do soft- ware embarcado em Raspberry PI	28
4.2.4 Etapa 4: Acompanhamento do uso dos softwares após o abate	29
4.2.5 Etapa 5: Pesquisas para a implementação de uma nova proposta de software	30
4.3 Implementação de um segmento do Software SoftBeef	31
4.3.1 Fase 1 da implementação do software SoftBeef	32
4.3.2 Fase 2 da implementação do software SoftBeef	35

4.4 Metodologia	39
5 Trabalhos Futuros	41
6 Conclusão	43
Referências	48

Lista de Figuras

3.1	Aparelho de espectroscopia de Raman usado pelos pesquisadores da Escócia para estudos em qualidade de carne bovina	13
4.1	Processo de análise dos atributos.	19
4.2	Fases para análise da predição da qualidade da carne de maneira tradicional; Fase 1 amostras <i>in natura</i> ; Fase 2 após o período de maturação; Fase 3 teste de maciez.	22
4.3	Equipamento de Espectroscopia VIS-NIR utilizado nas pesquisas.	23
4.4	Detector interligado por cabos de fibra óptica ao equipamento de VIS-NIR	24
4.5	Conversor interligado por portas paralelas DB25 ao VIS-NIR . . .	24
4.6	Equipamento interligado ao computador para a transmissão de espectros coletados das amostras.	24
4.7	Uso do equipamento em frigorífico na região de Rochedo-MS. . . .	25
4.8	Proposta de Sistema para agilizar o processo de análise de amostras.	26
4.9	Primeira interpretação de processo de realização de análise de amostras usando o equipamento de VIS-NIR	26
4.10	Processo de coleta e análise de características da qualidade de carne bovina atual	30
4.11	Processo de coleta e análise de características da qualidade de carne bovina após finalização da implementação do Software . . .	31
4.12	Tela inicial do programa SoftBeef.	33
4.13	Seleção e importação dos arquivos TRM.	34
4.14	Conversão das informações.	34
4.15	Resultado das importações e conversões.	35
4.16	CSV gerado após conversão dos dados TRM-TXt e cálculos da média com base em arquivo referência e conversão do modo transmitância para modo de porcentagem de absorbância.	35

4.17 Cálculos realizados para a predição da qualidade da carne. <i>Imagem retirada da Tese de [Bonin, 2012]</i>	36
4.18 Tela inicial.	37
4.19 Tela de importação dos dados.	37
4.20 Tela para tratamento dos dados.	38
4.21 Tela para predição e resultado da predição	38
4.22 Metodologia utilizada.	40
5.1 Sistema Integrado.	41

Introdução

A pecuária bovina é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro e conseqüentemente da economia nacional. No ranking mundial de produção e exportação de carne bovina, o Brasil ocupa a segunda posição segundo dados de [IBGE, 2018]. A pecuária de corte brasileira é um dos pilares do agronegócio. O agronegócio movimentou cerca de R\$ 533 bilhões no ano de 2017, segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Mato Grosso do Sul ocupa o segundo lugar no ranking de abate de bovinos [IBGE, 2018].

Levando em consideração os dados citados acima, e para que o Brasil continue crescendo mundialmente na produção e exportação de carne bovina, é necessário um controle e uma seleção de atributos ligados a qualidade deste produto. Porém a seleção para uma determinada característica só é viável comercialmente se trazer retorno econômico a curto ou longo prazo para o produtor, e se puder ser mensurada de maneira prática e acurada a fim de indicar, com precisão, o real valor genético do animal.

As avaliações de carcaça, por exemplo, podem ser realizadas por técnicas aplicadas ao animal vivo como é o caso dos escores visuais e da ultrassonografia, ou após o abate do animal, por medidas diretas na carcaça. No entanto, medidas coletadas após o abate são de alto custo e envolvem grande quantidade de mão de obra, o que pode dificultar e encarecer o processo. Além disso, medidas de qualidade de carne como maciez são ainda mais trabalhosas, pois exigem o processamento das amostras em laboratório e não podem ser estimadas em animais vivos [Bonin, 2012].

Medidas de qualidade de carne que facilitem o processo e possam prever com precisão a qualidade da carne do animal ainda na indústria facilitariam

a coleta de grandes quantidades de dados para programas de melhoramento genético, além de agilizar e reduzir o custo operacional com estas medidas.

Algumas técnicas como a espectroscopia de infravermelho próximo (VIS-NIRS) e a análise de carcaça por vídeo-imagem (AVI) tem sido testadas e utilizadas nos Estados Unidos, Europa e Nova Zelândia e mostram-se acuradas, mas não totalmente precisas para predição de atributos de qualidade de carne ainda na desossa.

Para que estas técnicas sejam aplicáveis aos sistemas brasileiros há a necessidade de testá-las e validá-las aos nossos sistemas industriais, de separação de carcaças e calibradas para o tipo de animal produzido, que também difere dos demais, principalmente no que se refere a raça predominante utilizada no país.

Visando o potencial produtivo do Brasil no mercado mundial de carnes, tanto atualmente como para os próximos anos, e a necessidade de agilizar o processo de seleção de carcaças, faz-se necessário aprimorar o uso de tecnologias para a predição de atributos de qualidade em tempo real, ou seja, no momento da desossa.

Com o objetivo de agilizar e tornar os processos de análise e predição da qualidade da carne mais ágeis, foi realizado neste trabalho pesquisas voltadas à de área de inovações tecnológicas, bem como fatores que determinam os métodos de análises e predição. Sendo assim, tal trabalho resultou em um mapeamento de informações relevantes ao avanço das pesquisas voltadas para a área de qualidade de carne de bovinos brasileiros, bem como o início de desenvolvimento de um software que poderá predizer a qualidade da carne em tempo real, baseando-se em provas e equações matemáticas.

Ao longo deste trabalho serão descritas as pesquisas referentes ao mapeamento das informações e o desenvolvimento de parte da implementação do software que irá auxiliar os pesquisadores e profissionais, envolvidos na área de análise e predição da qualidade da carne de bovinos brasileiros. Tal software basea-se no uso de equações específicas desenvolvidas pela pesquisadora Dr^a. Marina Bonin Gomes coorientadora deste projeto, para avaliação da carne bovina brasileira, bem como o uso de matemática estatística para uma análise e predição mais acurada, aliado a tecnologia de espectroscopia de infravermelho do visível próximo (VIS-NIR).

Diante do exposto, o texto deste trabalho está organizado em: Capítulo 2, Qualidade da carne bovina, que descreve os conceitos fundamentais, as características de qualidade, técnicas de predição de atributos da carne e a análise da carne. No capítulo 3 têm-se as tecnologias usadas para a predição da qualidade da carne. No capítulo 4, aplicação do VIS-NIR, descreve-se como o equipamento tem sido utilizado para a coleta de dados das amostras. No

capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento deste. No capítulo 6 são descritos os trabalhos futuros. Capítulo 7 apresenta-se a conclusão.

Qualidade da carne bovina

É notório que a carne constitui o componente central da dieta humana, tanto como alimento direto quanto como ingrediente essencial a vários outros produtos. Devido à sua importância, é natural que atraia controvérsias, pois a busca por produtos “saudáveis” é prerrogativa de um consumidor que se sente informado, mas que muitas vezes, segue um modismo ditado pela mídia e desconhece os reais benefícios e riscos decorrentes do seu consumo, como doenças crônicas, problemas cardíacos e outras preocupações relacionadas à segurança do alimento. Como resultado, questões sobre como os consumidores definem “qualidade” e de que forma os atributos de um alimento podem ser mantidos ou favorecidos durante o seu processamento são de particular interesse para indústrias do setor [Ramos and Gomide, 2007].

2.1 *Conceitos e fundamentos*

A produção mundial de carne tem aumentado consideravelmente, apesar de falsos tabus que existem sobre seu consumo. Juntamente com essa demanda cada vez maior, o consumidor aprimora as suas exigências quanto à qualidade que adquire. Nesse sentido, a cor, a suculência, a textura (em especial a maciez) e o sabor da carne tem sido temas de variados estudos para desvendar os mecanismos e, ou, fatores responsáveis por essas características e que permitam melhorá-las [Ramos and Gomide, 2007].

Segundo [Becker et al., 2002], a definição de qualidade pode ser distinguida por dois extremos. O primeiro ponto de vista é de que a qualidade deve ser considerada como um produto da mente do consumidor, que é altamente subjetiva e que não pode ser medida consistente e objetivamente. Assim, a

qualidade da carne do ponto de vista subjetivo não pode ser definida, apenas reconhecida. No outro extremo, considera-se que a qualidade é objetivamente definida e, portanto, existe, apenas na extensão em que é cientificamente mensurável, ou, em outras palavras, apenas os atributos mensuráveis de forma objetiva são considerados atributos de qualidade. Enquanto o conceito objetivo de qualidade é predominante na cadeia produtora e na ciência da carne, o conceito subjetivo de qualidade direciona a demanda do consumidor.

De acordo com [Kramer, 1962], a qualidade da carne pode ser definida como um conjunto de características que diferenciam unidades individuais de um produto e possui participação significativa na determinação do grau de aceitabilidade pelo consumidor. O conceito de qualidade é complexo, uma vez que está relacionado com a renda e a cultura do consumidor e com o estágio de desenvolvimento tecnológico do setor, podendo também variar de acordo com o mercado a que o produto se destina. Outro fator que está aliado a qualidade da carne é a quantidade de gordura, visto que durante o resfriamento nos frigoríficos, reduz as perdas de água e mantém o bom aspecto visual dos cortes. Já para o consumidor, a gordura tem importância pelo sabor que proporciona, ressaltando a necessidade de adequada presença de gordura e marmoreio na carne [Muller, 1987]. Para o produtor, no entanto, carcaças com o mínimo de gordura de cobertura seriam mais viáveis, visto que este é o tecido de deposição mais oneroso [Berg and Butterfield, 1976].

Dessa forma, a qualidade da carne pode ser definida como uma combinação de características que respondem pelo produto como um todo, e consequentemente, aquela que tiver perda mínima de constituintes durante o manuseio e processamento apresentará melhor qualidade. Além disso, outros atributos de qualidade são reconhecidos, como: livre de patógenos e outras anomalias após o processamento e estocagem, ter aparência atrativa e saudável, mais próxima do natural, ser conveniente de se preparar, e ser bastante apetitosa no ato de degustação [Ramos and Gomide, 2007]. Considerando a importância e o espaço ocupado pela carne bovina nas exportações brasileiras, torna-se evidente que a melhoria da sua qualidade traria também impactos positivos à imagem e valor deste produto mundialmente. Além disso, o consumo de carne está diretamente relacionado à satisfação de consumo, aumentando cada vez mais a necessidade de produtos de boa qualidade e oferecidos de forma constante. Diante deste cenário, destaca-se a relevância do melhoramento genético para características qualitativas e quantitativas de carcaça e carne nos rebanhos de bovinos de corte brasileiros [Bonin, 2012].

2.2 Características de qualidade de carne

A avaliação da qualidade da carne, baseada na satisfação e preferência do consumidor, deriva do seu consumo e depende de um conjunto de respostas psicológicas e sensoriais únicas de cada indivíduo. Fatores como a aparência, aroma durante o cozimento, perda por cozimento, maciez, suculência, sabor e percepção do valor nutritivo governam as reações do indivíduo frente as qualidades sensoriais de um produto. Entre esses fatores a aparência é de fundamental importância, uma vez que é decisiva na compra e na aceitabilidade da carne pelo consumidor, sendo as características cor, gordura visível (marmoreio) e suculência aparente (exsudação) responsáveis diretas pela apresentação do produto [Ramos and Gomide, 2007].

[Felício, 2011] dividiu em duas classes os elementos de avaliação de qualidade de carne. Sendo elas a classe de características organolépticas e a classe de características físicas. As características organolépticas são os atributos ligados aos sentidos humanos como frescor, firmeza e palatabilidade. Características essas que são associadas ao animal, como gênero, idade, genética, às condições de produção, como alimentação, manejo na fazenda e na fase pré-abate, e aos processos de abate e pós-abate, representados pelos estímulos elétricos aplicados no corpo do bovino abatido ou na carcaça, pelo método de pendura e pela intensidade do resfriamento desta última e tempo de maturação da carne. Essas características dificilmente podem ser medidas por instrumentos. A classe de características físicas são aquelas propriedades mensuráveis, como cor e capacidade de retenção de água da carne fresca e maciez da carne cozida. Estas podem ser avaliadas subjetivamente ou medidas com aparelhos específicos.

2.3 Métodos para predição da qualidade da carne

Para se determinar a qualidade da carne pode-se usar tradicionalmente de três diferentes técnicas: Objetiva (análises químicas - físicas), subjetiva (análises sensoriais), ou ambas, subjetiva e objetiva. A composição química da carne é avaliada por meio de análises laboratoriais, com amostras moídas e homogeneizadas, submetidas a processos químicos para determinação de constituintes majoritários como água, proteína, gordura e cinzas, além de outros componentes como perfil de ácidos graxos, colesterol e colágeno. Grande parte destes processos envolve o uso de reagentes químicos, muitas vezes nocivos ao meio ambiente, além de ser trabalhosos e de alto custo para execução [Prieto et al., 2009].

A carcaça é a unidade mais importante nos estudos sobre carnes, uma vez que determina o valor do animal tanto para o produtor quanto para os processadores [Berg and Butterfield, 1976]. Sendo assim, a valorização de sistemas de produção que aliem valores econômicos de carcaça e características de qualidade de carne podem dar subsídios para o sucesso de programas de seleção voltados à qualidade da carne [Bonin, 2012].

Dentre os aspectos físicos da carne bovina, a maciez é o principal deles, pois está associada ao ato de recompra do produto. Mesmo sabendo da importância da maciez na satisfação de consumo, a indústria não tem esta característica diretamente incorporada no processo de classificação e remuneração de carcaças, uma vez que isso só seria possível com a criação de um método de identificar carnes duras e macias ainda na linha de produção [Rust et al., 2008].

A maciez da carne pode ser medida por meio subjetivo ou objetivo. O método subjetivo se utiliza de painel sensorial em que um grupo de pessoas treinadas classificam a carne em relação à maciez após terem provado as amostras. O método objetivo utiliza equipamento, como o texturômetro, que mede a força necessária para o cisalhamento de uma seção transversal de carne. Quanto maior a força dispensada, menor é a maciez apresentada pelo corte de carne [Alves and Mancio, 2007].

Em contraste aos métodos tradicionais instrumentais de cisalhamento de avaliação de maciez como o Warner Bratzler Shear Force (WBSF) e Slice Shear Force (SSF), as predições por meio de tecnologia como a espectroscopia de Raman e de espectroscopia por infravermelho do visível e próximo VIS-NIRS para maciez ainda não são muito acuradas, pois essas são calibradas a partir de valores de análises subjetivas e objetivas. De acordo com levantamento realizado por [Prieto et al., 2009], medidas de qualidade de carne que facilitem o processo e possam prever com precisão a qualidade da carne do animal ainda na indústria facilitariam a coleta de grandes quantidades de dados para programas de melhoramento genético, além de agilizar e reduzir o custo operacional com estas medidas [Bonin, 2012].

2.4 Análise da carne (Quantitativas x Qualitativa)

Para o Brasil consolidar-se como maior exportador de carne bovina é necessário a melhoria da qualidade do produto e o estabelecimento de programas para assegurar a qualidade da carne aos consumidores, e uma das etapas para que isso possa ser realizado é através do monitoramento da qualidade da carne nos frigoríficos. Os testes de qualidade são realizados geralmente no contra-filé bovino. Nos Estados Unidos o teste é realizado através do corte

da meia-carcaça que é realizado entre a 12^a e a 13^a costela [Meat, 1976], enquanto que no Brasil o corte da meia-carcaça é realizado entre a 5^a e a 6^a costela [Valle et al., 2004]. Nas pesquisas científicas realizadas no Brasil, em geral adota-se o padrão de corte e as medidas de qualidade americanos. Contudo, os frigoríficos brasileiros rejeitam essa metodologia, por desvalorizar a carcaça, uma vez que o contra-filé é comercializado inteiro. Sendo assim pesquisadores brasileiros retiram a amostra para controle de qualidade na altura da 6^a costela [Johnson et al., 1995].

Para realizar a análise da carne utiliza-se a metodologia AMSA (American Meat Science Association) [Association, 2016], e faz-se necessário a coleta e preparação de amostras. A metodologia consiste em tirar duas amostras, de 2,5 cm de espessura, de contrafilé, na altura da 5^a costela. Após realizar a coleta das amostras é realizado as medidas da cor da carne utilizando um colorímetro operando no sistema CIE (L^* , a^* , b^*). Sendo L^* a luminosidade (iniciando na cor preto até a cor branco), a^* intensidade da cor vermelha (iniciando na cor verde até a cor vermelho) e b^* intensidade da cor amarela (iniciando na cor azul até a cor amarelo). No próximo passo são definidas as medidas do pH que é medido na porção muscular do bife com um peagâmetro portátil, com o sensor de temperatura e por fim é realizado a medida de marmoreio, por meio de comparações de imagens (análise subjetiva) e retirado amostras para o extrato etéreo (gordura bruta). Para realizar a análise por meio do equipamento de espectroscopia é realizado uma calibração baseada nos métodos tradicionais no aparelho a ser usado, para que o mesmo possa predizer as medidas citadas anteriormente. Porém como citado na seção métodos para predição da qualidade da carne, as avaliações instrumentais ainda não são totalmente precisas, havendo a necessidade do desenvolvimento de um software com equações mais precisas baseando-se principalmente nas características da raça do bovino. E assim a realização de análises em grande escala e em menor tempo, agilizando o trabalho realizado nas indústrias.

Tecnologias usadas para predição da qualidade da carne bovina

A classificação de carcaças bovinas é utilizada amplamente na indústria da carne em todo o mundo. Diversos métodos podem ser utilizados para a realização desta classificação conforme citado no Capítulo 2 deste texto, porém respeitando as características e possibilidades de cada país ou região. Quando há o interesse por parte da indústria em programas de qualidade assegurada, controle de qualidade, alianças de mercado e marketing é indispensável o uso de algum método de classificação, pois estes exigem que a qualidade do produto seja sistematicamente medida, para controle da qualidade do produto final, uma vez que a indústria e o consumidores necessitam de um estudo técnico sobre o produto ao qual estão vendendo ou comprando.

Na atual situação do Brasil como um dos maiores exportadores de carne mundial e levando em consideração os motivos acima mencionados se faz necessário uma classificação bastante eficiente e com ênfase nas características de qualidade da carcaça e em suas ligações com as qualidades sensoriais da carne quando consumida (maciez, suculência e sabor). Esta classificação deve ainda ser eficiente quanto ao fato de fornecer aos frigoríficos, informações pertinentes ao manejo e rastreabilidade do gado antes do abate através da tecnologia com o uso do SISBOV (Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina) e ao rendimento da desossa da carcaça, ficando assim os frigoríficos aptos a empregarem tabelas de pagamento diferenciados aos produtores de animais de mais alta qualidade e que apresentem um melhor rendimento [Cunha, 2004].

O uso de tecnologia avançada para os fins de classificação de carcaças vem se tornando uma constante em diversos países. Estados Unidos, Austrália, Irlanda, França, Uruguai e outros importantes países no mercado internacional de carnes vêm promovendo estudos científicos para comparar o emprego destas tecnologias com os atuais métodos de classificação de carcaças e estão comprovando a eficácia destas tecnologias, mesmo elas ainda não sendo totalmente precisas [Brasil, 2007].

Existem vários tipos de tecnologias possíveis de serem empregadas com esta finalidade, dentre elas a ultrassonografia, espectroscopia de Raman e espectroscopia de infravermelho do visível e próximo, as quais serão explicadas nas seções seguintes deste capítulo.

3.1 *Espectroscopia Raman*

Espectroscopia Raman é uma técnica que usa uma fonte monocromática de luz a qual, ao atingir um objeto, é espalhada por ele, gerando luz de mesma energia ou de energia diferente da incidente. No primeiro caso, o espalhamento é chamado de elástico e não é de interesse, mas no segundo (espalhamento inelástico) é possível obter muitas informações importantes sobre a composição química do objeto a partir dessa diferença de energia. Na prática, um feixe de radiação laser (monocromática, portanto) de baixa potência é usado para iluminar pequenas áreas do objeto de interesse e ao incidir sobre a área definida, é espalhado em todas as direções, sendo que uma pequena parcela dessa radiação é espalhada inelasticamente, isto é, com frequência (ou comprimento de onda) diferente da incidente [Faria, 2011].

Esse fenômeno foi observado experimentalmente em 1928 por Chandrasekhara Venkata Raman, na Índia e, por esse motivo, foi chamado de efeito Raman. Caso seja utilizado um microscópio óptico convencional no qual o objetivo tanto serve para focalizar o feixe incidente na amostra quanto para coletar a radiação que é espalhada por ela, tem-se a Microscopia Raman [Faria, 2011]. Há relativamente poucos relatórios detalhando a aplicação da espectroscopia Raman para a previsão da qualidade da carne. A maioria das experiências em que a espectroscopia de Raman foi aplicada para prever qualidade da carne têm usado instrumentos Raman em laboratório. Tal como acontece com outras técnicas espectrais, existem desafios significativos ao transferir e integrar a tecnologia em um ambiente de processamento de carne.

Heinar Schmidta, Rico Scheiera e David L.Hopkins [Schmidt et al., 2013], desenvolveram um dispositivo para recolher espectros Raman com um laser 671 nm em carne de cordeiro intacta. No estudo, tomou-se o cuidado para evitar a gordura intramuscular (determinada por impressão digital espectral) nas

amostras. Neste experimento foi determinado a força de cisalhamento e perda de cozimento. As previsões foram melhoradas através do desenvolvimento de modelos para cada exploração agrícola. A sua experiência mostrou o potencial de Raman para a medição de qualidade da carne de cordeiro. E o desempenho foi consistente com relatos anteriores [Beattie and Farmer, 2004], quando espectros foram coletados ao mesmo tempo *post-mortem* como a medida de referência.

A fim de ser uma ferramenta útil para a indústria da carne, espectros de Raman precisariam ser coletados no período *post-mortem* precoce (0-48 horas). Apenas [Moss et al., 2010] tentou prever a qualidade da carne de 14 dias com espectros obtidos às 48 horas *post-mortem* e os resultados não foram satisfatórios por causa da alta sensibilidade do sistema Raman. Com isso há a necessidade de mais pesquisas para determinar a adequação da espectroscopia Raman aplicados em condições comerciais para medir a qualidade da carne.

Com base nos experimentos acima, [Roehe et al., 2014], estão realizando pesquisas para o uso da espectroscopia por Raman para prever a qualidade da carne bovina na Escócia. Porém os resultados ainda estão sendo avaliados. Mostra-se na Figura 3.1 o aparelho de espectroscopia de Raman usado nas pesquisas de [Roehe et al., 2014].

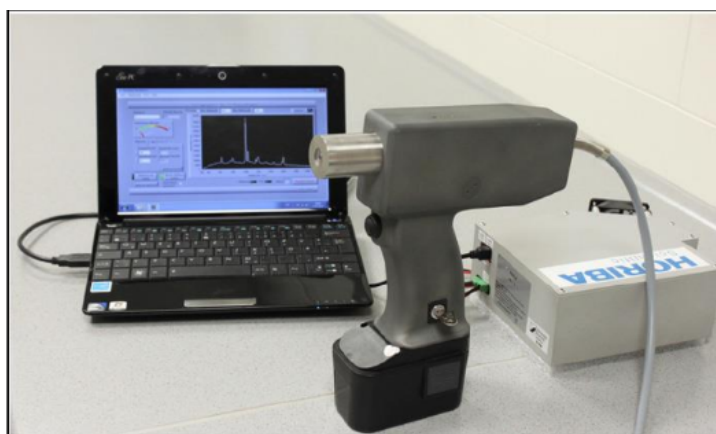


Figura 3.1: Aparelho de espectroscopia de Raman usado pelos pesquisadores da Escócia para estudos em qualidade de carne bovina

A espectroscopia Raman pode, portanto, ser usada para medir a quantidade ou concentração de um constituinte químico na amostra. A espectroscopia por Raman ainda é pouco conhecida, por isso há relativamente poucos relatórios detalhando a aplicação para a previsão da qualidade da carne [Roehe et al., 2014].

3.2 *Espectroscopia VIS-NIR espectroscopia de luz visível e infravermelho próximo*

O princípio da espectroscopia consiste na aplicação da luz no comprimento de onda do visível e próximo do infravermelho para avaliar, de forma quantitativa e qualitativa componentes moleculares de tecidos. O infravermelho-próximo é o nome dado à região do espectro eletromagnético imediatamente superior à região visível em termos de comprimento de onda, ou seja, trata-se da região do infravermelho mais próxima da entre o visível e o infravermelho [Limal and Bakker, 2011].

A tecnologia de VIS-NIRS fornece informações completas sobre as ligações moleculares e constituintes químicos e físicos da amostra avaliada, sendo útil não somente para caracterização de alimentos e para a medicina, mas também para medidas de qualidade e controle de processos. As predições por VIS-NIRS são baseadas na absorbância da amostra avaliada e na associação destas medidas (espectros) com a composição química e física das amostras por meio de equações específicas, ajustadas ao tipo de animal [Bonin, 2012].

No Capítulo 2 deste texto foi descrito que a qualidade da carne pode ser determinada tradicionalmente de três maneiras: por análises químicas, físicas ou sensoriais. A composição química da carne é avaliada por meio de análises laboratoriais, com amostras moídas e homogeneizadas, submetidas a processos químicos para determinação de constituintes majoritários como água, proteína, gordura e cinzas, além de outros componentes como perfil de ácidos graxos, colesterol e colágeno. Grande parte destes processos envolve o uso de reagentes químicos, muitas vezes nocivos ao meio ambiente, além de ser trabalhosos e de alto custo para execução [Weeranantanaphan et al., 2011].

As análises físicas, como a força de cisalhamento, são baseadas em métodos destrutivos que utilizam subamostras de carne cozida para determinação do pico máximo de força, em quilograma (kg) ou Newton (N), necessário para romper completamente a amostra. As análises sensoriais são realizadas por painéis de avaliadores treinados o que dificulta e onera ainda mais o processo, além de não serem aplicáveis a grandes volumes de análises, como testes de qualidade em linhas de processamento industriais ou coleta de fenótipos em larga escala para programas de melhoramento genético. Métodos não destrutivos, econômicos, simples, rápidos, acurados e seguros como a espectroscopia de infravermelho próximo (VIS-NIRS) podem ser uma alternativa para medidas de qualidade de carne na indústria e centros de pesquisa [Bonin, 2012].

Inúmeros trabalhos que utilizam o VIS-NIRS para avaliação da qualidade

de carne bovina tem utilizado principalmente animais *Bos taurus* (gado europeu), [Venel et al., 2001] - Irlanda; [Prieto et al., 2006] - Espanha; [D.A. et al., 2005] - EUA; [Roehe et al., 2014] - Escócia, notadamente conhecidos pelas diferenças na qualidade e composição da carne quando comparados a animais *Bos indicus* (gado zebu, indiano) como citado por [Koohmaraie, 1996] and [Wheeler et al. 1990] and [Wulf and Page 2000]. Desta maneira, espera-se que os padrões de absorção de ondas eletromagnéticas do VIS-NIRS entre as duas espécies também sejam diferentes, sendo necessária, portanto a criação de curvas de calibração e validação desta técnica em animais *Bos indicus* como o Nelore e em amostras coletadas na altura da 5ª costela, local onde há a separação das carcaças nos sistemas industriais brasileiros [Bonin, 2012].

Tendo em vista a produção de carne bovina brasileira no mercado nacional e internacional, curvas de calibração específicas para as diferentes raças de bovinos brasileiros e validadas na 5ª costela podem ser de grande utilidade para a indústria, programas de melhoramento genético e para a qualidade de carne brasileira com a possibilidade de criação de linhas de produtos com qualidade certificada e conseqüentemente com maior valor agregado.

Equipamentos de espectroscopia de infravermelho próximo ou Near Infrared Spectroscopy (VIS-NIRS) também têm sido utilizados como forma de estimar a qualidade da carne após o abate. Em contraste aos sistemas tradicionais de medidas de qualidade de carne o NIRS é um método analítico sensível, rápido e não destrutivo que necessita de pouco ou nenhum preparo das amostras antes das leituras e que, em conjunto com análises multivariadas de dados, pode fornecer informações sobre diversos parâmetros químicos e físicos da carne simultaneamente [Cozzolino and Murray, 2004] e [Prieto et al., 2009] e [Weeranantanaphan et al., 2011].

Entretanto as informações sobre parâmetros apresentados pelo equipamento de VIS-NIR ainda não são totalmente acuradas para as raças brasileiras, uma vez que o mesmo não possui um software adequado para a predição de atributos neste tipo de raça, sendo que a calibração dos valores de predição para o equipamento é feita com base nos valores das análises tradicionais, havendo assim a necessidade do desenvolvimento de um software específico para as raças, bem como a adequação de hardware para esse processo. As etapas e processos para tal melhoramento serão apresentados no capítulo 5.

Desenvolvimento

O constante crescimento do consumo de carne bovina mundialmente tem impulsionado a economia brasileira, mesmo diante do atual cenário econômico e político do país, as perspectivas para a carne bovina brasileira em 2018 são de um bom posicionamento da produção nacional e internacional, visto que a carne produzida no país é de alta qualidade. O Estado de Mato Grosso do Sul se tornou referência em qualidade através de programas de produção animal desenvolvidos pela Embrapa Gado de Corte. As tecnologias utilizadas para a predição dos atributos de qualidade estão diretamente relacionados a esse crescimento. Com o intuito de agilizar este processo está sendo desenvolvido um software para auxiliar nas predições dos atributos relacionados a qualidade da carne bovina pós abate. O mesmo será descrito na seção 4.3 deste capítulo, bem como a metodologia que foi seguida durante o processo de desenvolvimento da pesquisa.

4.1 *Problemática*

A predição da qualidade da carne bovina usando espectroscopia de luz visível e infravermelho próximo, no Brasil ainda é assunto tratado por poucos pesquisadores da área de Zootecnia, e em menor número pela área da computação, no Estado de Mato Grosso do Sul há apenas a pesquisa descrita neste trabalho relacionada a área da computação.

A problemática tratada nesta dissertação consiste no desenvolvimento de um software para auxílio da predição de características de qualidade da carne bovina. Porém, para iniciar o desenvolvimento do software, foi necessário

realizar pesquisas na área de zootecnia como descrito no capítulo 4 deste trabalho, assim como pesquisas na área de engenharia eletrônica e matemática, uma vez que o problema consiste em mensurar e avaliar de maneira prática e acurada carcaças de bovinos no momento da desossa.

Para que seja efetuado tal processo de análise utilizando o aparelho de espectroscopia, inicialmente é avaliada a acurácia do espectrômetro, para predição de atributos de qualidade de carne, por meio de calibração baseada em resultados de análises subjetivos e objetivas, após o processo de calibração é realizada coleta dos espectros diretamente na carcaça.

A coleta e armazenamento dos espectros é realizada pelo software *SpectraWiz*[®] (StellarNet-Inc, 2008) que gera arquivos TRM. Devido ao número de carcaças avaliadas por abate estes dados são salvos em uma pasta do computador e avaliados posteriormente. Após a coleta dos espectros de todas as carcaças relativas ao abate é realizado a importação dos dados TRM para software específico, e então é realizada a conversão do referido arquivo para um arquivo TXT utilizando um arquivo de referência que é gerado no momento da coleta de espectros da carcaça.

Com os arquivos gerados é feita manualmente uma transferência destes dados para um software de planilha, para realizar a média das três leituras, supracitada no capítulo 4 deste trabalho. É aplicada fórmula para transformar os dados de transmitância em porcentagem de absorbância. Durante este processo de transformação dos dados, podem ocorrer erros de valores, como por exemplo dados NULL, que devem ser eliminados. Realizado o processo é gerado um arquivo CSV.

Dentro do arquivo CSV são gerados cerca de 200 pontos de dados que são considerados como variáveis independentes e as características referentes ao PH, MAC5-0, MAC 5-7 e EE, porém para que seja extraído apenas as informações relevantes à análise, é utilizado o software Unscrambler®X 10.1 (CAMO Software AS, Oslo, Noruega), que utiliza o método de Componentes Principais (PCA) e Regressão de Quadrados Mínimos Parciais (PLSR). Para realizar a análise utilizando o software defini-se as colunas e linhas solicitadas pelo mesmo, cria-se um banco baseado em predições realizadas em laboratório com 60% das informações para calibração e 40% para validação. O software então aplica tratamentos espectrais no banco de calibração utilizando algoritmos de Inteligência Artificial para eliminar possíveis ruídos dos espectros. Com base no menor valor de erro e maior coeficiente de determinação é escolhido pelo usuário qual modelo (Algoritmos de IA) melhor se ajusta ao dados.

Para uma melhor acurácia dos resultados ao realizar as definições dos métodos é realizada a validação dos dados aplicando novamente, dessa vez manualmente através da seleção do modelo de algoritmo que software apresenta,

os métodos de pré-processamento de dados (*Baseline Correction*, *Multiplicative Scatter Correction*, *Extended Multiple Scatter Correction* e *Derivativas de ordem 1 e 2*), para correção de possíveis efeitos de reflexão (*baseline*) ou dispersão da luz (*scatter*). Realizados todos os processos descritos acima os valores obtidos são então aplicados em fórmulas específicas para predição de cada atributo relacionado a qualidade da carne bovina. Ao fim de todos os processos para os cálculos de predição de qualidade é emitido um laudo contendo as informações referentes as amostras. A figura 4.7 representa o processo realizado durante a captação e análise das informações.

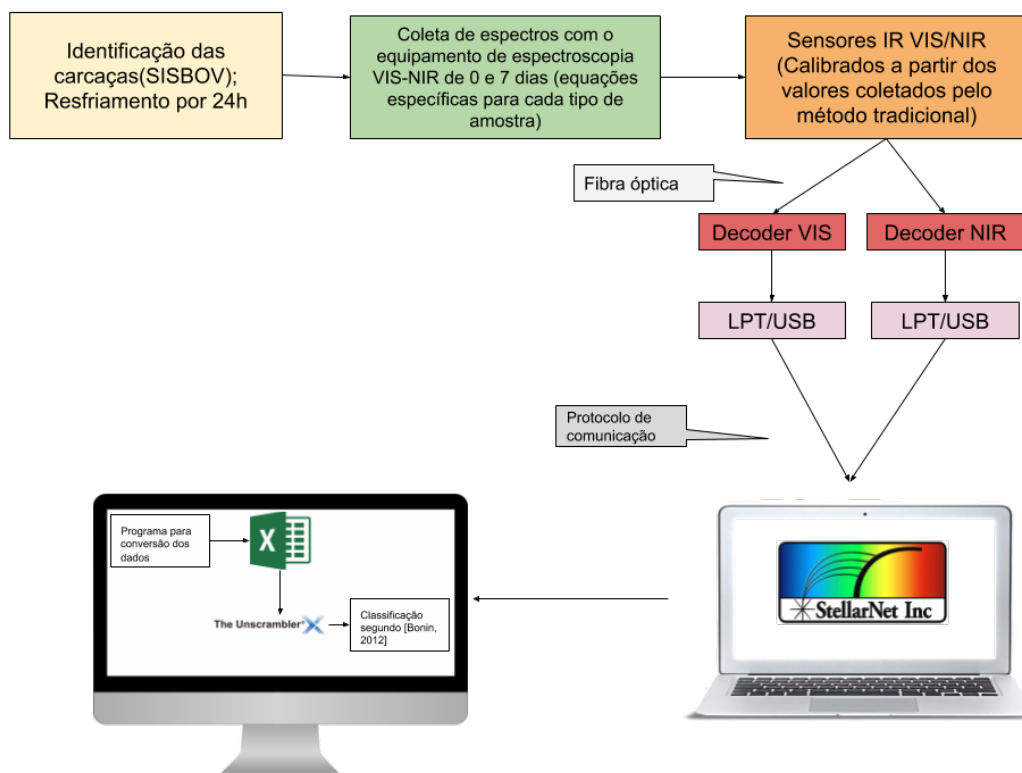


Figura 4.1: Processo de análise dos atributos.

4.2 Etapas para o desenvolvimento do projeto

Nesta seção serão descritas as etapas realizadas para o desenvolvimento do trabalho, bem como as estratégias e métodos utilizados, a descrição dos modelos de solução para o problema e o resultado obtido até o presente momento.

4.2.1 Etapa 1: Acompanhamento dos métodos de análise

Durante o período de pesquisa foi realizado estágio de 6 meses no laboratório de Qualidade de Carne da Embrapa, visando melhor entendimento para

o desenvolvimento do trabalho. Neste período realizou-se o acompanhamento das análises por método tradicional realizadas em laboratório e em pequena escala, e do método de análise utilizando a espectroscopia de luz visível e infravermelho próximo em matadouro frigorífico na região de Campo Grande-MS. Também foi realizada visita a indústria de exportação de carnes bovina, a qual não foi possível realizar registros fotográficos devido a exigência da mesma, porém foi possível observar que mesmo na indústria dotada de recursos tecnológicos, não há um software que possa prever com precisão e em tempo real a qualidade da carne bovina. O primeiro método acompanhado foi o método tradicional que é descrito a seguir.

Método Tradicional

O método tradicional consiste em retirar amostras do contra-filé *in natura* levá-las até o laboratório, e realizar a coleta de dados como mostra-se na Figura 4.2. Este processo está dividido em 3 fases:

Fase 1:

- (1) Medidas de PH utilizando o peagâmetro;
- (2) Análise da cor utilizando o colorímetro;
- (3) Medidas da espessura de gordura (Com o uso do método de espectroscopia não há a necessidade de realizar este passo);
- (4) Análise de marmoreio a olho nu;
- (5) Desenhar a área do músculo (Com o uso do método de espectroscopia não há a necessidade de realizar este passo);
- (6) Medir a espessura da amostra para dividi-las em 2 bifos de 2,5 cm para 0 e 7 dias de maturação (Com o uso do método de espectroscopia não há a necessidade de realizar este passo);
- (7) Retirar amostras de extrato etéreo;
- (8) Realizar o toalhete das amostras (retirar a gordura da carne) e identificar as amostras;
- (9) Embalar as amostras a vácuo e levá-las ao resfriamento para as de 7 dias de maturação e congelamento para as de 0 dias;
- (10) Ao final uma planilha é usada para registrar manualmente os valores obtidos com as análises das amostras, esta planilha é utilizada para todas as fases.

Nesta fase são gastos em torno de 15 minutos por amostra para realizar a análise.

Fase 2:

- (1) Após a maturação por 7 dias e congelamento as amostras são retiradas

e deixadas por 24 horas para que sejam totalmente descongeladas, logo após são retiradas das embalagens e expostas por 20 min ao ambiente, para então novamente ser medido o PH;

(2) Mede-se a cor novamente;

(3) A amostra é então pesada;

(4) Levada ao forno com um termômetro para que não passe do ponto para a análise;

(5) Após assada a amostra é pesada novamente para se saber o quanto ela perdeu de água durante o cozimento;

(6) Por fim são embaladas e levadas a geladeira novamente por mais 24 horas, para então realizar a fase 3.

Nesta fase são gastos em torno de 15 minutos por amostra para realizar a análise.

Fase 3:

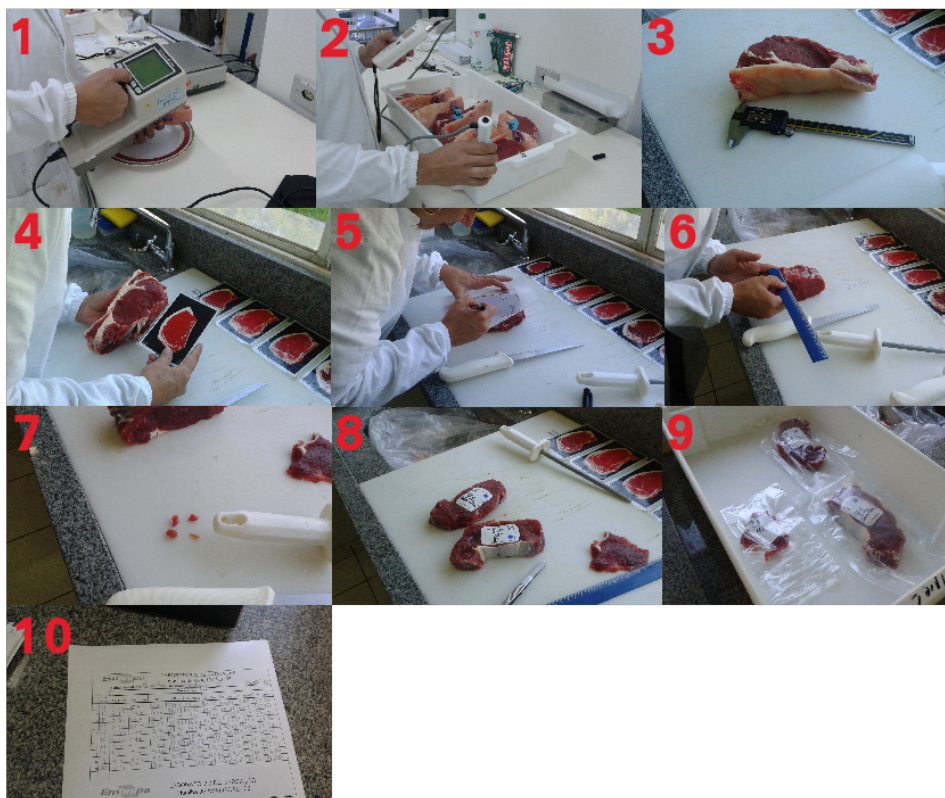
(1) São retiradas 6 subamostras de cada amostra;

(2) Realiza-se a medição da força de cisalhamento, para avaliação (quantificação da maciez).

Nesta fase são gastos em torno de 10 minutos por amostra para realizar a análise.

O processo de análise por método tradicional é lento e trabalhoso e por consequência despende muito tempo do pesquisador.

Fase 1



Fase 2



Fase 3

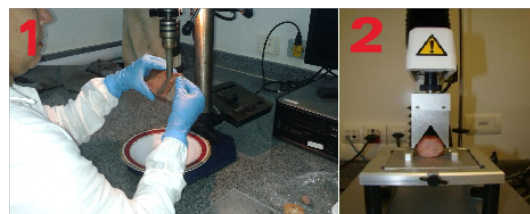


Figura 4.2: Fases para análise da predição da qualidade da carne de maneira tradicional; Fase 1 amostras *in natura*; Fase 2 após o período de maturação; Fase 3 teste de maciez.

Método usando espectroscopia de VIS-NIR

O objetivo do uso do VIS-NIR pela pesquisadora é avaliar a acurácia da utilização do equipamento para predição de atributos de qualidade de carne de bovinos. Para que isso seja feito é necessário que seja realizado a análise por meio da criação de curvas de calibração de VIS-NIRS a partir de amostras intactas de carne coletadas na altura da 5ª costela e da coleta de espectros em diferentes períodos: na desossa e nas análises de carnes de zero e sete dias de maturação. Estes espectros são utilizados para associação com as características pH, maciez e extrato etéreo, cor, capacidade de retenção de água, atributos sensoriais e ainda para identificação de amostras adulteradas, distinção entre amostras frescas e congeladas, podendo ser utilizado com alta acurácia para alocação de carnes em classes de maciez [Bonin, 2012].

Hardware e Software aplicados para o uso do equipamento

Para predizer a qualidade das amostras o equipamento utilizado é o VIS-NIR portátil, modelo EPP2000CXR-SRs para a faixa de comprimento de onda 220 a 1.100 nm e outro modelo EPP2000-InGaAs-512 para a faixa de 900 a 1.700 nm, da marca StellarNet. As medidas foram tomadas no modo transmitância na faixa compreendida pelos comprimentos de onda entre 200-1400 nm, com intervalos de 5 nm, uma vez que os equipamentos de NIRS para a análise de carnes têm incluído à faixa próxima ao infravermelho (NIR - near infrared, 800-2500 nm) e a faixa do visível (VIS - 400 a 800 nm), pelo fato de que pigmentos relacionados à cor das carnes cruas poderem ser detectados nesta faixa de comprimento de onda [Weeranantanaphan et al., 2011]. Na Figura 4.3 mostra-se o equipamento de Espectroscopia VIS-NIR utilizado para a análise das amostras.

Cada equipamento EPP2000CXR-SRs e EPP2000-InGaAs-512 é interligado por um cabo de fibra óptica ao detector (Figura 4.4). Há também a necessidade de conversor, o qual é conectado por uma porta paralela DB25 ao VIS-NIR (Figura 4.5), e por fim o conversor é conectado a computador para a transmissão dos espectros coletados das amostras (Figura 4.6).

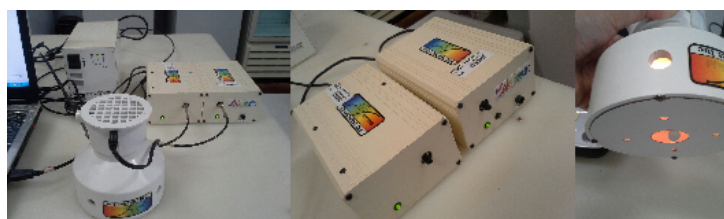


Figura 4.3: Equipamento de Espectroscopia VIS-NIR utilizado nas pesquisas.



Figura 4.4: Detector interligado por cabos de fibra óptica ao equipamento de VIS-NIR



Figura 4.5: Conversor interligado por portas paralelas DB25 ao VIS-NIR

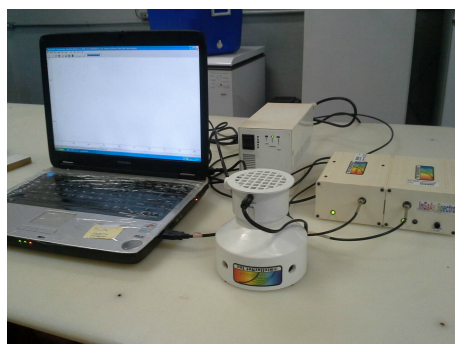


Figura 4.6: Equipamento interligado ao computador para a transmissão de espectros coletados das amostras.

Para realizar a coleta dos espectros é utilizado o software *SpectraWiz*®. De cada amostra são efetuadas três leituras em três diferentes pontos utilizando o aparelho de espectroscopia, após a coleta estes espectros são armazenados em computador para posterior análise em laboratório, uma vez que há a necessidade de um cálculo específico e o equipamento não o oferece.

Análise e avaliação das amostras

O segundo método, por espectroscopia de VIS-NIR já supracitado, consiste em ir até o matadouro/frigorífico após 24 horas do abate, realizar a identificação das carcaças através do SISBOV e planilha impressa para controle de abate, coletar os dados (espectros) diretamente na carcaça com o auxílio do equipamento de VIS-NIR. Para que esses dados sejam coletados o equipamento é previamente calibrado com valores obtidos com base em análises tradicionais (há uma sequência de passos descrita em folha impressa para

a montagem do equipamento, mantida junto ao equipamento para auxílio durante a montagem), após a coleta esses dados são armazenados em um computador portátil para posterior análise em laboratório, após a coleta no frigorífico é realizada a análise dos espectros coletados em laboratório utilizando outros softwares para predição. Este processo é mais ágil que o apresentado anteriormente, pois não há a necessidade de maturação por 7 dias e congelamento, uma vez que há uma equação utilizada para este processo, as medidas de PH, gordura, extrato etéreo, marmoreio também podem ser preditas com equações específicas, porém este não exige o transporte de dados até o laboratório, pois o mesmo não permite a análise em tempo real. Mostra-se na Figura 4.9 os procedimentos executados para a realização dos testes e na Figura 4.7 fotos do uso do equipamento em matadouro/frigorífico na região de Rochedo-MS.



Figura 4.7: Uso do equipamento em frigorífico na região de Rochedo-MS.

4.2.2 Etapa 2: Pesquisas para iniciar o desenvolvimento do Software

Após acompanhamento inicial dos métodos de análises entendeu-se que o melhor modelo de sistema seria um sistema embarcado em Raspberry PI

conforme descrito na figura 4.8, visto que a primeira interpretação do processo era o uso de software específico para coleta de espectros e um software de planilhas para conversão dos dados e aplicação das fórmulas segundo [Bonin, 2012], conforme descrito na figura 4.9.

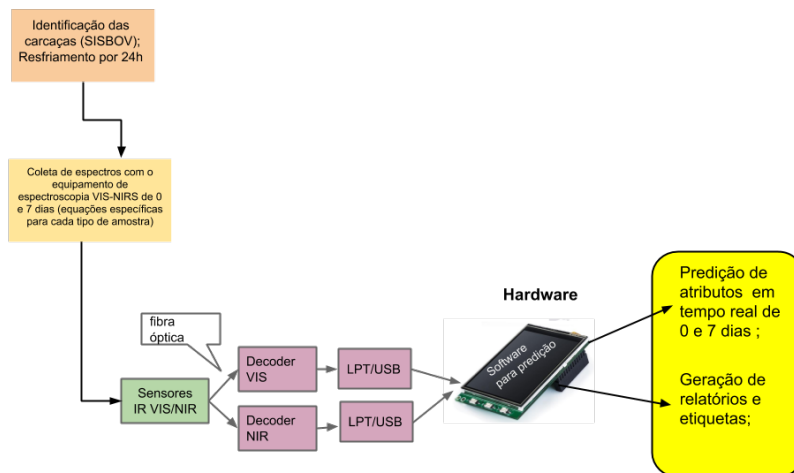


Figura 4.8: Proposta de Sistema para agilizar o processo de análise de amostras.

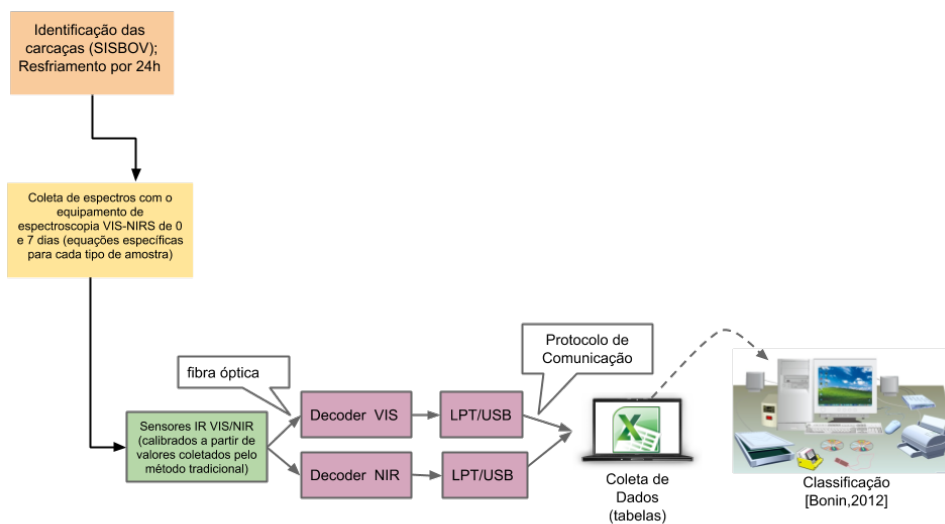


Figura 4.9: Primeira interpretação de processo de realização de análise de amostras usando o equipamento de VIS-NIR

Após levantamento bibliográfico e estudo inicial sobre o equipamento de espectroscopia de infravermelho do visível e próximo, notou-se que o Rasp-

berry PI seria o hardware mais adequado para o desenvolvimento do sistema proposto. Visto que o Raspberry PI mesmo utilizando o sistema operacional linux, tem suporte as seguintes distribuições, Debian (Raspbian); Fedora (Pidora); OSMC (media center completo); Ubuntu (MATE); Windows 10 IoT; Recalbox e RetroPie e Android entre outros, e suporte a plataforma ARM [FUNDATION, 2015]. Isso seria uma vantagem, uma vez que o software utilizado pelo aparelho de espectroscopia é Windows. Além do Raspberry PI oferecer suporte as distribuições citadas ele é um computador de baixo custo do tamanho de um cartão de crédito, possui o chamado GPIO (*General Purpose Input/Output*), que são pinos de conexão programáveis, cujo comportamento pode ser definido e controlado via software [Richardson and Wallace, 2013]. Por isso, pode-se dizer que são pinos de entrada e saída com propósito geral (*general purpose*), pois fica a critério do usuário decidir se determinado pino será uma entrada ou saída de dados, e qual será sua função.

Localizado próximo ao conector RCA, o agrupamento GPIO do Raspberry Pi tem 26 pinos, sendo que 17 deles podem funcionar no modo GPIO, os demais são de energia, aterramento, ou estão reservados para uso futuro. A presença do GPIO permite utilizar o Raspberry Pi no desenvolvimento de soluções de automação, pois é possível ler estados e realizar acionamentos, como uma ferramenta de introdução à robótica e, considerando que as linhas GPIO estão diretamente conectadas ao BCM2835 (chip controlador de Raspberry Pi), o usuário pode até mesmo criar uma placa de expansão para o sistema.

O Raspberry Pi apresenta possibilidade inclusive de implementação de coleta de dados em diferentes ambientes. [Avelino et al., 2013] já apresentaram o Raspberry Pi como gateway na coleta de dados em tempo real, portanto, este pequeno computador é um equipamento com elevado potencial de uso diversificado, principalmente no ensino e no desenvolvimento de aplicações de engenharia e computação, uma vez que o mesmo pode integrar, de maneira robusta e compacta, áreas como eletrônica, programação, automação, entre outras [SEBBEN, 2014].

Com isso, a proposta visava: Aprimoramento da tecnologia VIS-NIR já utilizada, com o acoplamento de um microcomputador Raspberry PI para que não houvesse necessidade do uso de um outro computador; Agilidade para predição de atributos de qualidade da carne bovina; Predição dos atributos de qualidade da carne em tempo real segundo equações desenvolvidas por [Bonin, 2012], sem que houvesse a necessidade de levá-los ao laboratório; Facilitar o manuseio e transporte dos equipamentos durante testes futuros realizados na indústria ou em outros locais, dado que para realizar as análises atualmente no estado de Mato Grosso do Sul, são utilizados o método tradicional e o método por espectroscopia de VIS-NIR; Emissão de relatórios

e transmissão de dados via Wi-Fi e Ethernet para controle dos responsáveis pelo setor. Tornando assim o processo ágil, rápido e leve para o transporte e manuseio.

4.2.3 Etapa 3: Pesquisas para iniciar a implementação do software embarcado em Raspberry PI

Ao iniciar a pesquisas para implementação da proposta o primeiro passo foi realizar pesquisa sobre informações mais aprofundadas sobre o aparelho de espectroscopia VIS-NIR portátil, modelo EPP2000CXR-SRs para a faixa de comprimento de onda 220 a 1.100 nm e modelo EPP2000-InGaAs-512 para a faixa de 900 a 1.700 nm, da marca StellarNet e seu software *SpectraWiz*® descrita em estratégia 1.

O segundo passo foi buscar informações sobre os tipos de informações recebidas pelo equipamento que é interligado por um cabo de fibra óptica ao detector, e utiliza um conversor, ao qual é conectado por uma porta paralela DB25 ao VIS-NIR, e por fim o conversor é conectado a computador para a transmissão dos espectros coletados das amostras descrita em estratégia 2.

Estratégia 1: Pesquisa sobre o aparelho de espectroscopia VIS-NIR modelo EPP2000CXR-SRs.

Durante o período de 4 meses foi buscado informações sobre o aparelho espectroscopia VIS-NIR portátil, modelo EPP2000CXR-SRs para a faixa de comprimento de onda 220 a 1.100 nm e modelo EPP2000-InGaAs-512 para a faixa de 900 a 1.700 nmo e seu software *SpectraWiz*®, relacionadas ao modo de funcionamento em nível de hardware que poderia ser utilizado para desenvolvimento do trabalho proposto. Porém as informações disponibilizadas por seu fabricante dão conta apenas de uso para fins de análise e pesquisa, os artigos encontrados relacionados ao aparelho tratavam do uso do equipamento para fins de pesquisa e análise, ou relacionados a como funciona o processo de incidência de luz através dos espectros. Outro fator considerável durante a pesquisa é o fato do fabricante não disponibilizar e não fabricar mais o modelo em questão, sendo assim não há informações relevantes do fabricante em seu site sobre o equipamento.

O próximo passo foi então instalar em computador uma versão do software *SpectraWiz*®, para observação de como o programa funcionava, porém não foram obtidas informações satisfatórias para o desenvolvimento do trabalho, uma vez que, o software em questão não possui documentação técnica sobre seu desenvolvimento, também foi buscado o contato com a fabricante com o intuito de obter informações, mas não houve retorno por parte da mesma. Por não obter informações satisfatórias e por questões de tempo hábil para o

desenvolvimento do software proposto, outra estratégia foi traçada, para buscar informações sobre os mesmos através da leitura de portas com programas específicos.

Estratégia 2: Leituras das portas USB do equipamento.

A próxima estratégia adotada foi a de leitura das portas USB do equipamento utilizando os softwares *Wireshark* e *USBlyzer*. O primeiro deles para capturar os dados que estavam trafegando entre o software e o aparelho, o segundo para realizar as análises das informações e interpretar os dados que estavam trafegando entre software e equipamento. Porém apesar de realizar a leituras dos dados não foi possível identificá-los, pois estavam em formato específico do fabricante do software e equipamento *Stellar*. Novamente, houve a necessidade de uma nova estratégia, a de manter o software *SpectraWiz*[®] no processo de análise. Outro fator que influenciou a definição de uma nova estratégia foi o fato do equipamento nem sempre estar disponível, devido ao fato de ele pertencer a outra instituição de ensino ou estar em manutenção.

Estratégia 3: Manter o software *SpectraWiz*[®].

Devido a dificuldades relatadas nas etapas anteriores sobre o equipamento e seu software, optou-se por manter o software *SpectraWiz*[®], e momentaneamente foi cancelado o uso do mini computador Raspberry PI, devido a inviabilidade de processamento para o uso do software *SpectraWiz*[®] e o software para análise da predição de carne bovina.

4.2.4 Etapa 4: Acompanhamento do uso dos softwares após o abate

Durante a realização das etapas anteriores, foi identificado que a interpretação de como é realizado o processo de aplicação dos softwares durante as análises estava incompleta. Inicialmente foi interpretado que o processo do uso dos softwares consistia em uso de software específico para coleta de espectros e um software de planilhas para conversão dos dados e aplicação das fórmulas segundo [Bonin, 2012]. Porém, no decorrer das pesquisas foram, realizados novos acompanhamentos do uso dos softwares para a análise e predição das características referentes a qualidade da carne bovina e observou-se outras informações bastante relevantes para o desenvolvimento do software proposto para a problemática, como por exemplo o uso de um programa para a conversão de arquivo com extensão TRM para um arquivo com extensão TXT.

Outro ponto observado foi o uso do software de planilha para conversão dos dados em TXT para linhas e colunas e realização do cálculo para transformar os dados de transmitância em absorbância e realização de cálculo da

média destes dados com base em um arquivo referência obtido em laboratório e salvo em formato CSV. Após a realização de tais processos os dados são então repassados para outro software chamado Unscrambler®X para tratamento e análise das informações coletadas, através do uso de algoritmos de Inteligência Artificial, após todos os tratamentos realizados é então aplicado a fórmula específica para cada característica. Tal processo está descrito detalhadamente na seção problemática que inicia este capítulo.

4.2.5 Etapa 5: Pesquisas para a implementação de uma nova proposta de software

Após as dificuldades relatadas nas etapas 1, 2 e 3 e da complexidade do problema descrito na seção problemática, foi adotada uma nova estratégia para implementação do software. A proposta consiste em elaborar um software que realize a conversão dos dados em extensão TRM coletadas com o equipamento de espectroscopia e seu software e após realize todos os processos para a análise de predição da qualidade de carne bovina.

Com o desenvolvimento de tal software será possível, mesmo ainda utilizando o software *SpectraWiz*® realizar a predição dos atributos em tempo menor e ainda no local de coleta sem a necessidade de armazenar as informações para serem analisadas posteriormente, bem como será possível emissão de laudos e relatórios automaticamente em ambiente de coleta e envio dos mesmos via Internet ou Ethernet. A figura 4.10 refere-se a como está sendo realizado o processo atualmente, já a figura 4.11 refere-se a como ficará o processo após o término da elaboração do software.

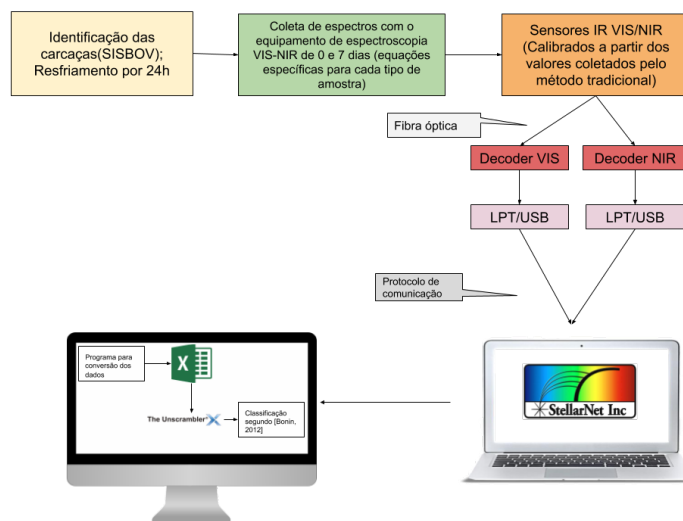


Figura 4.10: Processo de coleta e análise de características da qualidade de carne bovina atual

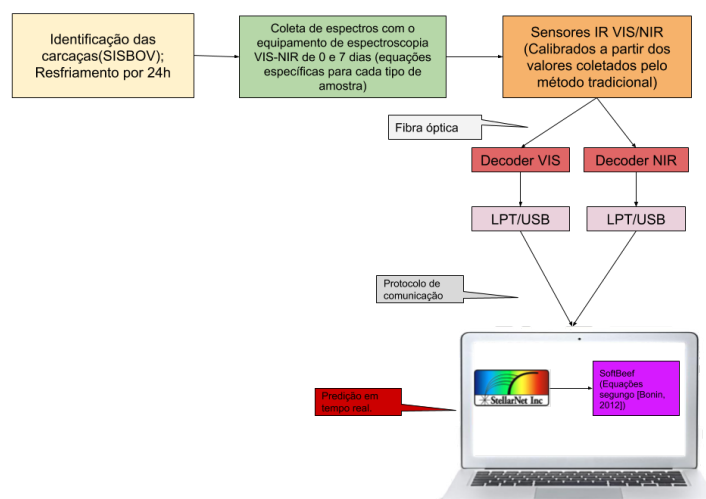


Figura 4.11: Processo de coleta e análise de características da qualidade de carne bovina após finalização da implementação do Software

Para que fosse realizado o processo de implementação da nova proposta, foi necessário iniciar novas pesquisas relacionadas a aplicação de engenharia reversa de software, para entendimento de um dos softwares utilizados no processo, princípios da transmitância e absorbância, conversão de arquivos TRM para TXT e matemática estatística. As pesquisas e estratégias utilizadas para iniciar a implementação de uma nova proposta será descrita na seção Implementação de um segmento do Software SoftBeef

4.3 Implementação de um segmento do Software SoftBeef

A implementação da nova proposta de software foi dividida em 2 fases, posto que, houve a necessidade de novas pesquisas para início de desenvolvimento do mesmo.

A fase 1 consiste em substituir o uso do software para conversão de arquivo com extensão TRM em arquivo TXT, conversão do arquivo TXT gerado em colunas, realizar a média das três leituras, transformar os dados de transmitância para porcentagem de absorbância, substituir/eliminar células com erros (dados NULL) e gerar o arquivo CSV com as informações das análises.

A fase 2 consiste em o substituir processo realizado pelo o software Unscrabler®X, aplicar as fórmulas específicas a cada característica e gerar os relatórios de resultados das análises. De maneira geral SoftBeef consiste em um software para agilizar a predição de atributos de qualidade da carne bovina aliado ao equipamento de espectroscopia VIS-NIRS e seu software *SpectraWiz*®.

Em resumo o software SoftBeef deverá executar as seguintes ações:

1. Importar arquivos TRM gerados a partir do programa *SpectraWiz*[®] e convertê-los em TXT;
2. Converter os dados em modo transmitância para modo de porcentagem de absorbância;
3. Substituir/eliminar células com erros
4. Realizar a média das três leituras de amostras;
5. Gerar arquivo CSV com informações referentes as características a serem analisadas
6. Definir colunas e linhas referentes aos dados que serão utilizados na regressão de quadrados mínimos parciais;
7. Criar banco calibração e validação;
8. Aplicar os tratamentos espectrais no banco calibração;
9. Criar modelos de classificação e selecionar qual melhor se ajusta aos dados;
10. Utilizar o melhor modelo para aplicar no banco validação;
11. Utilizar os resultados da predição para classificação com base nos valores esperados;
12. Calcular a porcentagem de acertos e erros;
13. Aplicar fórmulas específicas as características para predição da qualidade da carne bovina;
14. Gerar relatórios com as informações dos resultados das análises.

4.3.1 Fase 1 da implementação do software SoftBeef

A fase 1 é composta por 3 etapas, as quais serão descritas no decorrer do texto.

Etapas 1: Pesquisa e estudo sobre conversão de dados em transmitância para absorbância;

Etapas 2: Engenharia reversa utilizando o software *.NET Reflector* para identificar processos realizados pelo software *NIR data Reader* no momento da conversão;

Etapas 3: Iniciar a implementação utilizando linguagem Python, a linguagem foi escolhida em virtude de futuramente utilizar novamente o mini computador Raspberry PI;

Etapa 3.1: Após realizar a engenharia reversa sobre o software *NIR data Reader*, foi possível melhor entendimento sobre o processo de conversão de dados em transmitância para absorbância, contribuindo para o desenvolvimento de uma das etapas do software SoftBeef;

Etapa 3.2: Após a etapa 3.1, foram desenvolvidos os processos referentes a fase 1. Foram implementados os seguintes métodos: conversão de arquivo com extensão TRM em arquivo TXT, conversão das informações contidas no arquivo TXT para linhas e colunas, média das três leituras, transformação dos dados de transmitância para porcentagem de absorbância, substituição/eliminação células com erros (dados NULL), geração do arquivo CSV com as informações das análises.

O passo a passo do uso do software implementado até o momento é descrito nas figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 .

A figura 4.12 corresponde a tela inicial, para a seleção das amostras, arquivo de referência, cálculo e resultado final da conversão os dados em modo transmitância para modo de porcentagem de absorbância.

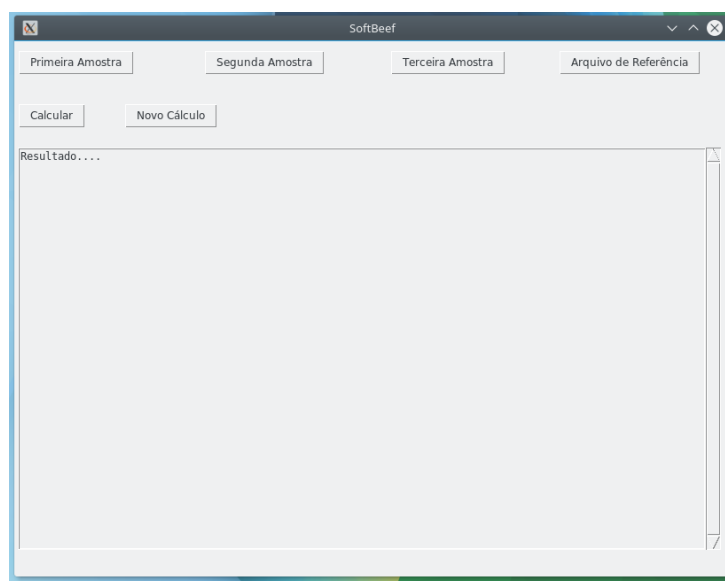


Figura 4.12: Tela inicial do programa SoftBeef.

A figura 4.13 refere-se a importação dos dados, o usuário deverá selecionar a opção Primeira Amostra, depois Segunda Amostra, Terceira Amostra, em pasta específica onde ficará armazenada a coleta de espectros, estes dados são os dados coletados com o equipamento de espectroscopia e seu software. Após escolher as amostras, o usuário deverá selecionar o arquivo de referência, este adicionado pelo usuário em momento anterior a coleta de espectros na carcaça.

Por fim o usuário clica no botão calcular para realizar o cálculo referente a conversão de arquivo com extensão TRM em arquivo TXT. Conversão das

informações contidas no arquivo TXT para linhas e colunas. Média das três leituras. Transformação dos dados de transmitância para porcentagem de absorbância. Substituição/eliminação células com erros (dados NULL).

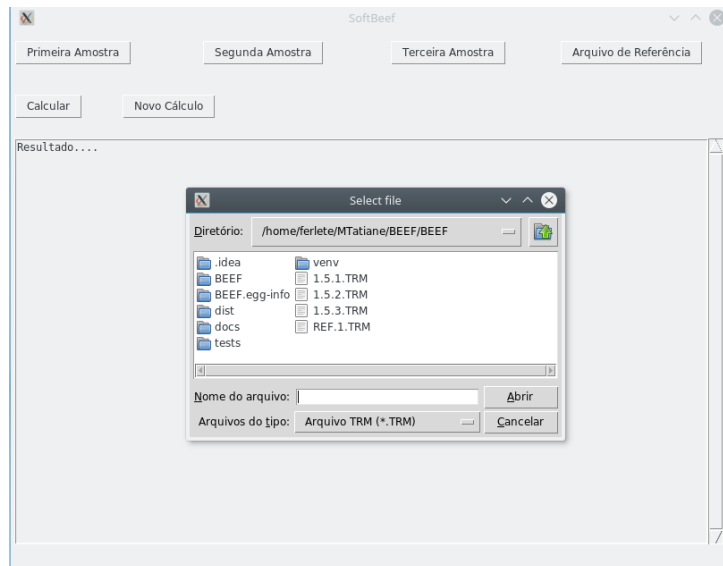


Figura 4.13: Seleção e importação dos arquivos TRM.

A figura 4.14 apresenta a mensagem de aviso ao usuário que o cálculo realizado e que o CSV foi gerado.

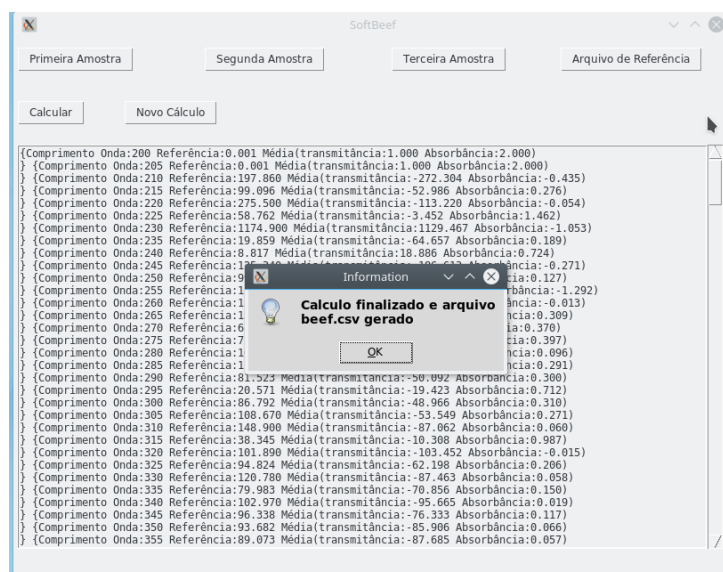


Figura 4.14: Conversão das informações.

A figura 4.15 mostra ao usuário os valores finais gerados por faixa de onda.

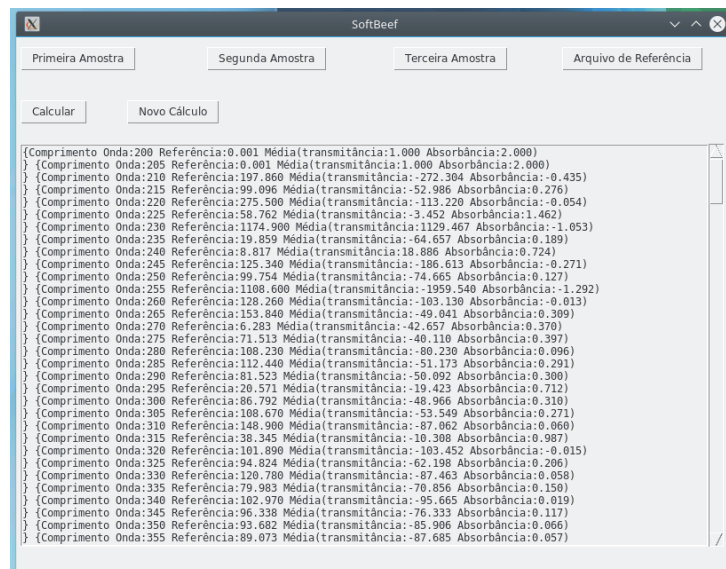


Figura 4.15: Resultado das importações e conversões.

A figura 4.16 corresponde ao arquivo CSV gerado pelo SoftBeef.

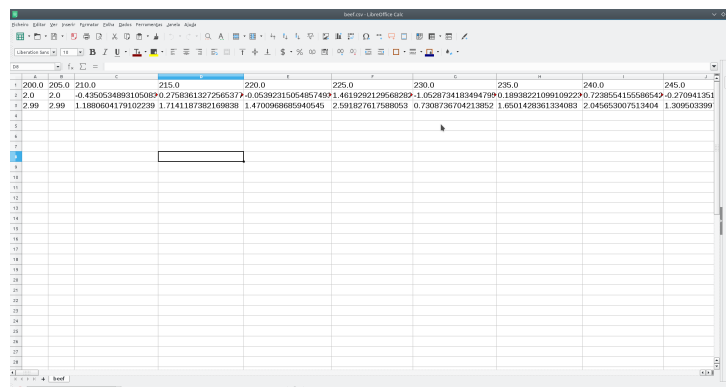


Figura 4.16: CSV gerado após conversão dos dados TRM-TXT e cálculos da média com base em arquivo referência e conversão do modo transmitância para modo de porcentagem de absorbância.

4.3.2 Fase 2 da implementação do software SoftBeef

A segunda fase da implementação do Software SoftBeef, consiste em implementar o método dos quadrados mínimos parciais, criar banco calibração e validação, aplicar os tratamentos espectrais no banco calibração, criar modelos e selecionar qual melhor se ajusta aos dados, utilizar o melhor modelo para aplicar no banco validação, utilizar os resultados da predição para classificação com base nos valores esperados, calcular a porcentagem de acertos e erros, aplicar as fórmulas específicas para cada característica e por fim gerar os relatórios referentes as informações.

Ao iniciar a fase 2 deste trabalho, observou-se que era necessário o uso de cálculos referentes a matemática estatística, como é mostrado na figura 4.17 que representa os resultados obtidos após processos realizados utilizando o

software Unscabler®X, pois mesmo após a conversão dos dados, realização da média com base em um arquivo referência e a transformação dos dados por porcentagem de absorvância, ainda são gerados mais de 200 valores, cabendo ao software Unscabler®X gerar através do cálculo da regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) que é um método de calibração multivariada que relaciona uma matriz de dados X com uma ou mais respostas (matriz Y) [Machado, 2016] através da aplicação de algoritmos de avaliação, determinar o número de fatores das equações (F) para cada característica de predição de qualidade da carne bovina.

O ponto chave para finalizar a implementação do software SoftBeef está justamente em realizar o cálculo do algoritmo PSL de maneira que chegue ao número ideal de fatores das equações para cada característica utilizada para a predição da qualidade da carne bovina, conforme descrito na figura 4.17. No momento obteve-se apenas valores e cálculos próximos aos ideais, não sendo possível a implementação correta do algoritmo/método PSL.

Os demais processos se configuram em: Criar modelos de algoritmos (*Baseline Correction*, *Multiplicative Scatter Correction*, *Extended Multiple Scatter Correction* e *Derivativas de ordem 1 e 2*) e selecionar qual melhor se ajusta aos dados, utilizar o melhor modelo para aplicar no banco validação, utilizar os resultados da predição para classificação com base nos valores esperados, calcular a porcentagem de acertos e erros, aplicar as fórmulas específicas para cada característica e por fim gerar os relatórios referentes as informações, estão encaminhados, uma vez que, dependem da implementação de algoritmos já utilizados na área de Inteligência Artificial, as fórmulas específicas para cada característica já foi desenvolvida por [Bonin, 2012]. Porém não podem ser implementados antes da implementação dos modelos do PLS.

Característica	Espectros	Pré-Tratamento	N_c	F	R_c^2	EQMC	R_{vc}^2	EQMVC	R_p^2	EQMP
pH	NIRS _{Desossa} *	Log (1/R)	89	2	0,71	0,01	0,68	0,01	0,01	0,08
MAC ₅₋₀ (kg)	NIRS _{Desossa} *	Log (1/R)	111	6	0,78	0,35	0,73	0,39	0,07	1,43
	NIRS _{Mac0}	EMSC	146	3	0,70	0,52	0,67	0,54	0,03	1,83
MAC ₅₋₇ (kg)	NIRS _{Desossa}	2D	215	6	0,60	1,28	0,54	1,37	0,22	2,30
	NIRS _{Mac0} *	2D	267	5	0,62	1,03	0,55	1,12	0,21	1,84
	NIRS _{Mac7}	MSC + 1D	558	6	0,65	1,53	0,59	1,65	0,42	2,11
EE (% MN)	NIRS _{Desossa} *	MSC + 2D	467	1	0,51	0,21	0,50	0,22	n/a	0,91
	NIRS _{Mac0}	Log (1/R)	223	4	0,52	0,43	0,48	0,45	0,06	0,90
	NIRS _{Mac7}	Baseline	274	4	0,24	0,28	0,20	0,29	0,03	0,98

N_c = número de amostras utilizadas no modelo de calibração; F = número de fatores na equação; R_c^2 = coeficiente de determinação da calibração; EQMC = erro quadrático médio da calibração; R_{vc}^2 = coeficiente de determinação da validação cruzada; EQMVC = erro quadrático médio da validação cruzada; R_p^2 = coeficiente de determinação da predição; EQMP = erro quadrático médio da predição; MAC₅₋₀ = maciez aos zero dias de maturação; MAC₅₋₇ = maciez aos sete dias de maturação; EE = extrato etéreo; MN = matéria natural; * = equação com melhor valor preditivo para a característica; Log (1/R) = porcentagem de absorvância; EMSC = *extended multiple scatter correction*; 2D = derivativa de ordem 2; MSC = *multiple scatter correction*; 1D = derivativa de ordem 1; Baseline = *baseline correction*; n/a = não aplicável.

Figura 4.17: Cálculos realizados para a predição da qualidade da carne. *Imagem retirada da Tese de [Bonin, 2012]*

Para a fase 2 foi desenvolvido um protótipo de acordo com as necessidades da pesquisadora, no qual a fase 1 já foi adicionada, porém como descrito

anteriormente ainda não está realizando o cálculo referente ao PLS.

A figura 4.18 refere-se a tela inicial do programa SoftBeef

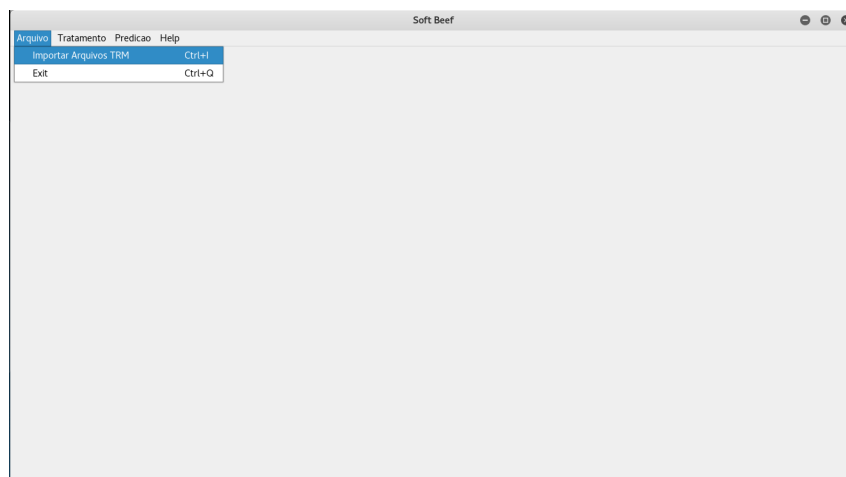


Figura 4.18: Tela inicial.

A figura 4.19 corresponde a tela de importação dos dados para realizar as primeiras conversões referentes a fase 1 do projeto.

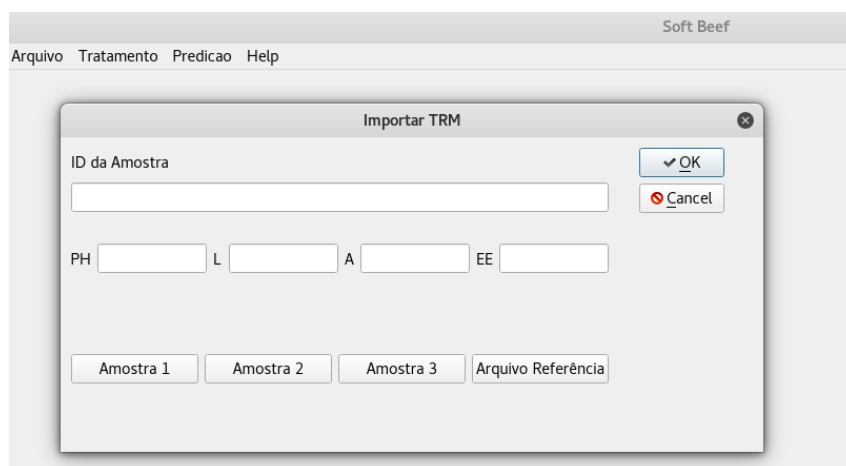


Figura 4.19: Tela de importação dos dados.

A figura 4.20 tela para tratamento das informações baseando-se em algoritmos.

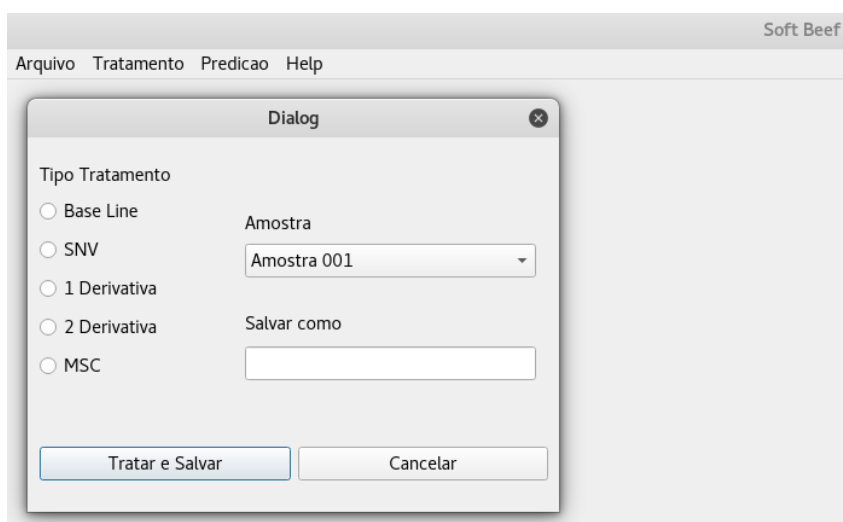


Figura 4.20: Tela para tratamento dos dados.

A figura 4.21 tela que realizará os cálculos finais para a predição.

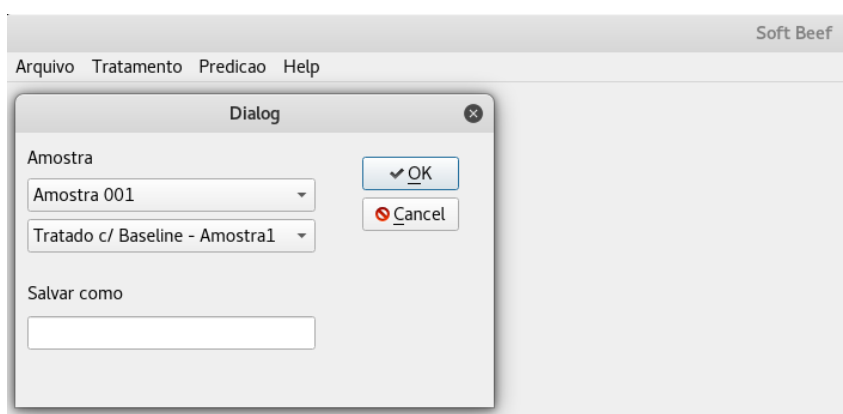


Figura 4.21: Tela para predição e resultado da predição

Em suma pode-se definir que as etapas concluídas são:

1. Importar arquivos TRM gerados a partir do programa *SpectraWiz*[®] e convertê-los em TXT;
2. Converter os dados em modo transmitância para modo de porcentagem de absorvância;
3. Substituir/eliminar células com erros
4. Realizar a média das três leituras de amostras;
5. Gerar arquivo CSV com informações referentes as características a serem analisadas
6. Definir colunas e linhas referentes aos dados que serão utilizados na regressão de quadrados mínimos parciais;

Etapas em andamento:

1. Criar banco calibração e validação;
2. Aplicar os tratamentos espectrais no banco calibração;
3. Criar modelos e ver qual melhor se ajusta aos dados;
4. Utilizar o melhor modelo para aplicar no banco validação;
5. Utilizar os resultados da predição para classificação com base nos valores esperados;
6. Calcular a porcentagem de acertos e erros;
7. Aplicar fórmulas específicas as características para predição da qualidade da carne bovina;
8. Gerar relatórios com as informações dos resultados das análises.

As etapas em andamento dependem da realização de modo correto do cálculo do PSL e chegar ao número ideal de fatores das equações para cada característica utilizada para a predição da qualidade da carne bovina.

4.4 Metodologia

Para o desenvolvimento desse projeto, seguiu-se a seguinte metodologia. Inicialmente realizou-se um estudo detalhado sobre conceitos predição de atributos de qualidade da carne, seguido do uso do equipamento de Espectroscopia de Infravermelho do Visível e Próximo (VIS-NIRS) para predição de elementos da qualidade da carne, bem como as tecnologias existentes para o mesmo processo. Acompanhamento dos procedimentos de análise de amostras laboratoriais e a campo (frigoríficos) para a predição da qualidade da carne na Embrapa Gado de Corte Campo Grande - MS por meio de estágio. Análise de qual o hardware que melhor se adaptava ao sistema. Acompanhamento do uso dos softwares que auxiliam a predição das características da qualidade de carne bovina. Desenvolvimento de uma nova proposta para o Software. Desenvolvimento de parte do software para predição de qualidade de carne bovina. Pesquisas para realizar de modo correto do cálculo do PSL e chegar ao número ideal de fatores das equações para cada característica utilizada para a predição da qualidade da carne bovina. Desenvolver a fase 2 do software aplicando os processos e algoritmos para a análise e predição da qualidade da carne. A Figura 4.22 , exemplifica resumidamente a metodologia que foi e está sendo utilizada.

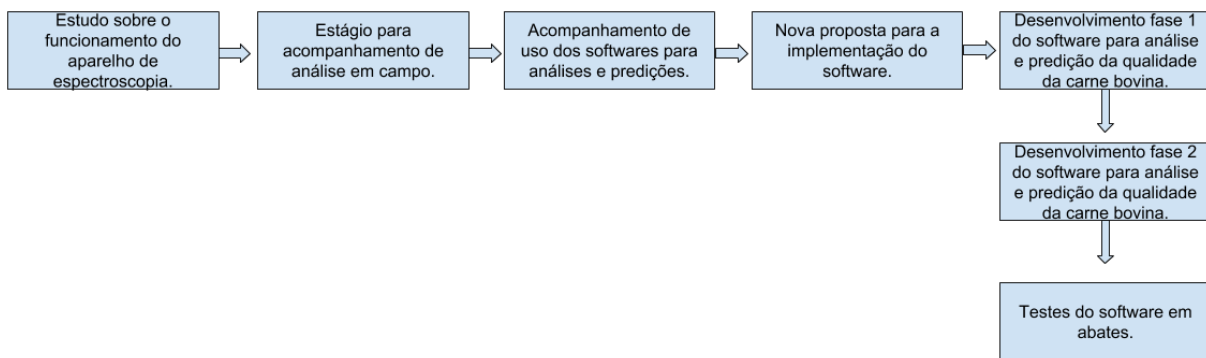


Figura 4.22: Metodologia utilizada.

Trabalhos Futuros

Considerando as pesquisas e o andamento do desenvolvimento do trabalho, espera-se que futuramente o software possa ser interligado diretamente com o software SISBOV (Serviço de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos) e não necessite do uso do software *SpectraWiz*[®], podendo realizar a captação dos espectros diretamente do aparelho de espectroscopia.

Acoplar o espectroscopio ao mini computador Raspberry PI ou tablet, para facilitar o manuseio e movimentação durante a coleta em carcaças, de acordo com a figura 5.1.

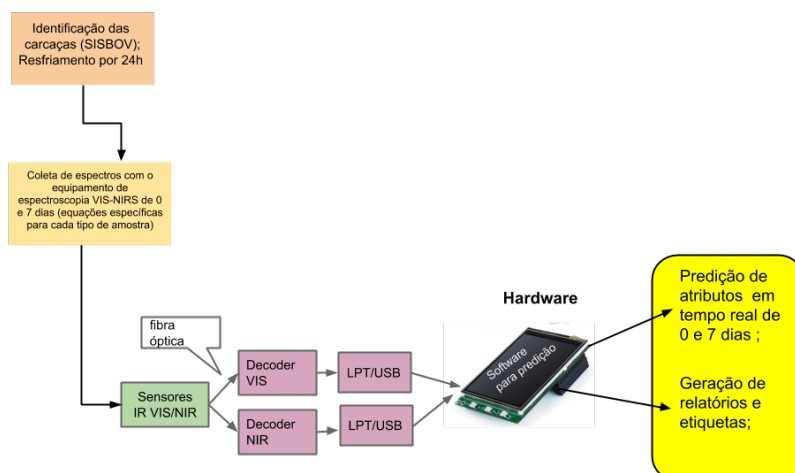


Figura 5.1: Sistema Integrado.

Realizar parcerias com profissionais da área de eletrônica e física para o desenvolvimento de um sistema (hardware e software) que possa captar os espectros e realizar a análise e predições de maneira única.

Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho trouxe de imediato para meio acadêmico e futuramente para o comércio de carnes bovinas, considerável evolução, no que diz respeito a estudos realizados para aprimoramento de processos de análises e tecnologias voltadas para a predição da qualidade de carne bovina. Visto que foi realizado um mapeamento de informações relevantes ao avanço de tal área, bem como o início de desenvolvimento de um software que poderá prever a qualidade da carne em tempo real, baseando-se em provas e equações matemáticas.

A realização deste trabalho também trará uma significativa contribuição para o desenvolvimento do país, uma vez que o controle qualidade de carne bovina brasileira, ficará mais ágil, auxiliando com mais rapidez os profissionais e pesquisadores que trabalham com esse tipo de processo, além de revolucionar o mercado de carne bovina no Brasil, sendo possível a realização de testes utilizando provas matemáticas e não apenas informações baseadas em análises subjetivas.

A atual situação de desenvolvimento da pesquisa e elaboração do software proposto neste trabalho, está contribuindo para avanços tecnológicos na área de análise e predição de qualidades de carne de bovinos em Mato Grosso do Sul e no Brasil, visto que as pesquisas realizadas até o momento pela Dr^a Marina Bonin Gomes é algo inédito no Brasil.

É de suma importância ressaltar que o desenvolvimento de um software, com equações específicas para bovinos seguindo a realidade brasileira, segundo [Bonin, 2012], será de grande valia tanto para a área de zootecnia quanto para a área de computação. Podendo assim ajudar o Estado de Mato

Grosso do Sul a se tornar destaque na produção de carne bovina de qualidade no Brasil e até mesmo mundialmente. Trazendo assim, novas oportunidades e significativas contribuições para o desenvolvimento de nosso país, em meio as grandes potências mundiais da produção de carne bovina de qualidade.

Referências Bibliográficas

- Alves, D. D. e Mancio, A. B. (2007). Maciez da carne bovina - uma revisão. *Revista da FZVA*, 14:193–216. Citado na página 8.
- Andrés, S. et al. (2008). The use of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict beef m. longissimus thoracis et lumborum quality attributes. *Meat Science*, 78:217–224. Não citado no texto.
- Association, A. M. S. (2016). Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. Citado na página 9.
- Avelino, A. M., de Paiva Rêgo, S., de Paiva Amorim, L. G., e Fernandes, J. D. (2013). Monitoramento de ativos hospitalares através de uma rede de sensores sem fio. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde ISSN: 2236-1103*, 2(4). Citado na página 27.
- Beattie, R. J. and Bell, S. J. e Farmer, L. J., M. B. P. D. (2004). Preliminary investigation of the application of raman spectroscopy to the prediction of the sensory quality of beef silverside. *Meat Science*, 66:903–913. Citado na página 13.
- Becker, T., Kerry, J. Kerry, J., e Ledward, D. (2002). *Meat processing: improving quality*, volume 1. CRC Press. Citado na página 5.
- Berg, R. e Butterfield, R. (1976). *New concepts of cattle growth.*, volume 1. University Press. Citado nas páginas 6 e 8.
- Bonin, M. N. (2012). *Avaliação de características de desempenho e qualidade de carne em linhagens e touros representativos da raça Nelore, utilizando ultrassonografia, análise de imagens e NIRS*. Doutorado, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos Universidade de São Paulo. Pirassununga. Citado nas páginas xvi, 1, 6, 8, 14, 15, 23, 26, 27, 29, 36, e 43.

- Brasil, Ministério da Agricultura, P. e. A. A. M. B. M. O. B. (2007). *Cadeia produtiva da carne bovina.*, volume 8. IICA : MAPA/SPA. Citado na página 12.
- Cozzolino, D. et al. (2003). The use of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict colour on both intact and homogenized pork muscle. *Lebensm. Wiss.u. Technol*, 36:195–202. Não citado no texto.
- Cozzolino, D. e Murray, I. (2004). Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Lebensm. Wiss. u. Technol*, 37:447–452. Citado na página 15.
- Cunha, B. (2004). Tecnologias para classificação de carcaças bovinas: Um passo a frente para melhorarmos o valor da carne brasileira. Citado na página 11.
- D.A., K., Weeler, T. L., e Koohmaraie, M. (2005). On-line classification of us select beef carcasses for longissimus tenderness using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, 69:409–415. Citado na página 15.
- Faria, D. L. A. (2011). Entenda o que é espectroscopia raman. *Revista Online Química Viva*, CRQ-IV. Citado na página 12.
- Felício, P. (2011). Classificação e tipificação de carcaças bovinas. o VI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Carnes, páginas 127–133. Citado na página 7.
- FUNDATION, R. P. (2015). Raspberry pi foundation. about us. Disponível em: <<http://www.raspberrypi.org/about>>. Acessado em 15 de Abril de 2017. Citado na página 27.
- IBGE, I. B. d. G. e. E. (2018). Indicadores ibge: Estatística da produção pecuária. Citado na página 1.
- Johnson, E. R., Taylor, D. G., e Prlyanto, R. (1995). The estimation of beef carcass muscle using cross-sectional area of m. longissimus dorsi at the fifth rib. *Meat Science*, 40:13–19. Citado na página 9.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43:5193–5201. Citado na página 15.
- Kramer, A.; Twigg, B. (1962). *Fundamentals of quality control for the food industry*, volume 1. AVI Publishers. Citado na página 6.

- Limal, A. e Bakker, J. (2011). Espectroscopia no infravermelho próximo para a monitorização da perfusão tecidual. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 23(3):341–351. Citado na página 14.
- Machado, Alan Rodrigues Teixeira da Silva, A. C. (2016). Regressão por mínimos quadrados parciais (pls) e espectroscopia no uv/vís para quantificação de corantes: agilidade e eficiência para estações de tratamentos de efluentes têxteis. *REVISTA PRODUÇÃO E ENGENHARIA*, 4(2):427–432. Citado na página 36.
- Meat, e. h. (1976). *National Live Stock e Meat Board*. University of Wyoming. Citado na página 9.
- Moss, B. W., Chau, A., Whitworth, M. B., Beattie, J. R., Fearon, A., e Gordon. (2010). Prediction of meat quality: application of hyperspectral imaging and raman spectroscopy. *Rep. No. CMS/REP/114446/1*. Citado na página 13.
- Muller, L. (1987). *Normas para avaliação de carcaças e concurso de carcaças de novilhos.*, volume 2. Santa Maria Universidade Federal de Santa Maria. Citado na página 6.
- Prieto, N. et al. (2006). Potential use of near infrared reflectance spectroscopy (nirs) for the estimation of chemical composition of oxen meat samples. *Meat Science*, 74:487–496. Citado na página 15.
- Prieto, N. et al. (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *meat science, oxon. 9a Jornada Científica da Embrapa Gado de Corte*, 3(204):175–186. Citado nas páginas 7, 8, e 15.
- Ramos, E. M. e Gomide, L. A. d. M. (2007). *Avaliação da Qualidade de Carnes Fundamentos e Metodologias*, volume 1. Editora UFV. Citado nas páginas 5, 6, e 7.
- Richardson, M. e Wallace, S. (2013). Primeiros passos com o raspberry pi. *Primeira Edição. São Paulo: Novatec Editora*. Citado na página 27.
- Ripoll, G. et al. (2008). Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef. *Meat Science*, 80:697–702. Não citado no texto.
- Roehe, R., Ross, D., Duthian, C. Â., Lambe, N., Broadbent, A. C., Bunger, L., England, S., Picken, A., Robertson, R., Peacock, A., Green, A., Hinz, A., Gilchrist, J., Richardson, I., Nath, M., e Glasbeye, C. (2014). Scottish government and quality meat scotland (qms). project number scl/017/10:

- Research towards an integrated measurement of meat eating quality (imeq). Relatório técnico, QMS, Scotland. Citado nas páginas 13 e 15.
- Rust, S. R. et al. (2008). Predicting beef tenderness using near-infrared spectroscopy. *Of Animal Science, Champaign*, 86:211–219. Citado na página 8.
- Schmidt, H., Scheier, R., e Hopkins, D. L. (2013). reliminary investigation on the relationship of raman spectra of sheep meat with shear force and cooking loss. *Meat Science*, 93:138–143. Citado na página 12.
- SEBBEN, M. L. (2014). Desenvolvimento de módulo com cpu embarcada para bancada didática de instrumentação virtual. Citado na página 27.
- Valle, E. R., Feijó, G. L. D., e Almeida, A. V. L. (2004). Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da carne bovina. *Embrapa Informação Tecnológica. Série Agronegócios*, pagina 184. Citado na página 9.
- Venel, C. et al. (2001). Prediction of tenderness and other quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1100nm. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, West Sussex*(9):185–198. Citado na página 15.
- Weeranantanaphan, J., DOWNEY, G., e DAÂNEN SUN, P. A. (2011). A review of near infrared spectroscopy in muscle food analysis. *Of Near Infrared Spectroscopy, West Sussex Savoy*, 19:61–104. Citado nas páginas 14, 15, e 23.
- Wheeler, T. L. et al. (1990). Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from brahman and hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 68:4206–4220. Citado na página 15.
- Wulf, D. M. e Page, J. K. (2000). Using measurements of muscle color, ph, and electrical impedance to augment the current usda beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcasses into palatability groups. *Journal of Animal Science*, 78:2595–2607. Citado na página 15.