



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS TRINDADE - CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Salvador Francisco Tirloni

**Faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos: um estudo com
trabalhadores da atividade de desossa em frigorífico**

Florianópolis

2023

Salvador Francisco Tirloni

**Faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos: um estudo com
trabalhadores da atividade de desossa em frigorífico**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Tirloni, Salvador Francisco

Faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos: um estudo com trabalhadores da atividade de desossa em frigorífico / Salvador Francisco Tirloni ; orientador, Antônio Renato Pereira Moro, 2023.

131 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Ergonomia. 3. Força de corte. 4. Faca instrumentada. I. Moro, Antônio Renato Pereira. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

Salvador Francisco Tirloni

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 6 de setembro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Ana Regina de Aguiar Dutra, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Diego de Castro Fettermann, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Lizandra Garcia Lupi Vergara, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Antônio Renato Pereira Moro, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

*Dedico este novo conhecimento a todos os
profissionais que laboram para melhorar as
condições de trabalho nos abatedouros e
frigoríficos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus**, pela vida!

À **minha família, meus pais**, pela compreensão e paciência durante os anos de doutorado que estive menos presente.

À minha esposa, **Adriana Seara Tirloni**, sempre pronta a sugerir possibilidades, me apoiando e ajudando a superar dificuldades.

Aos meus filhos, **Nícolas Tirloni e Bárbara Seara Tirloni**, que estiveram ao meu lado, me incentivando e auxiliando nas minhas demandas.

Ao **prof. Antônio Renato Pereira Moro**, pela orientação e sugestões, pela parceria na coleta dos dados, pela oportunidade de crescimento e por ter confiado na minha capacidade. Muito obrigado!

Aos **professores** da Pós-Graduação e aos **colegas de doutorado**, especialmente a **Natália Fonseca Dias**, pelas oportunidades experienciadas no frigorífico, pelas filmagens, pelos estímulos e conhecimentos compartilhados.

Ao amigo e parceiro em projetos **Prof. Glauco Cardozo**, pelas ideias e auxílio nos programas computacionais.

A todos os **Professores**, que ao longo de décadas levaram consigo minhas dúvidas e me deixaram certas.

Enfim, agradeço **a todos** que, direta ou indiretamente contribuíram para a concretização de mais uma etapa do meu ciclo terrestre.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimentos, instala-se a dúvida.”

(Johann Goethe)

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.” (Carl Sagan)

RESUMO

TIRLONI, Salvador Francisco. **Faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos**: um estudo com trabalhadores da atividade de desossa em frigorífico. Florianópolis, SC, 2023. 131p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2023.

A maioria da carne produzida nas indústrias brasileiras de abate e processamento é comercializada na forma de cortes, onde trabalhadores utilizam facas como ferramentas para transformar sua força de trabalho em valor agregado, no entanto, essa ferramenta pode ser um fator potencial de risco ergonômico. A intensidade e duração do esforço durante a atividade laboral é um fator de risco já previsto em método, mas a escala de mensuração dessa carga de trabalho é psicofísica, o que acarreta muitas incertezas sobre o real valor. O objetivo deste estudo foi elaborar e testar uma faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos de força e movimento da mão/punho para a atividade de desossa em um frigorífico de suínos localizado no sul do Brasil. A pesquisa foi realizada com aproximadamente 2.030 trabalhadores e 2.740 abates por dia. Foram realizadas visitas ao frigorífico para coleta de dados em situação real de atividade, onde, ao todo, foram coletados em torno de 140 ciclos de desossa de pernil. Para a coleta de dados foram utilizadas 2 facas instrumentadas no cabo com uma central inercial e um extensômetro para mensuração da força de corte, além de um termopar para leitura da temperatura da lâmina. Estas facas foram previamente calibradas para a amplitude de forças demandadas para atividade em questão. Os trabalhadores foram questionados em relação à percepção obtida no uso da faca instrumentada e registros de vídeo foram feitos em sincronismo com os dados transmitidos pela faca ao celular. A associação entre a filmagem da atividade e os dados gerados pela faca instrumentada foi utilizada para a checagem das informações dos dados e demandas biomecânicas de movimento articular do respectivo membro superior que empunhava a faca. A matriz de dados gerada pelo aparato permite associar o biotipo, dos colaboradores, com a solicitação de força demandada pela tarefa, assim como, a identificação da curva de referência (padrão) para os ciclos da atividade inerente a desossa do pernil. Nela se pode identificar a necessidade de nova afiação da ferramenta em virtude do aumento da solicitação de força expressa no gráfico. Por outro lado, para os ergonomistas da empresa, se torna útil para se estabelecer um modelo de treinamento mais assertivo, oriundo da identificação na linha de produção, do trabalhador que possui menos forças exercidas nas ações de corte e menos ações de corte por ciclo, uniformizando de forma eficiente a execução da tarefa. O ineditismo do pacote de dados apresentado neste trabalho, com a frequência de corte e intensidade de força de corte, com a temperatura e os movimentos em três dimensões, propicia uma análise científica única e exclusiva para as demandas que se apresentam no dia a dia em abatedouros e frigoríficos.

Palavras-chave: Ergonomia; Força de corte; Faca instrumentada.

ABSTRACT

TIRLONI, Salvador Francisco. Instrumented knife for collecting biomechanical data: a study with workers in the deboning activity in slaughterhouse. Florianópolis, SC, 2023. 131p. Thesis (Postgraduate Program in Production Engineering) – Federal University of Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2023.

Most of the meat produced in the Brazilian slaughtering and processing industries is sold in the form of cuts, where workers use knives as tools to transform their workforce into added value, however, this tool can be a potential ergonomic risk factor. The intensity and duration of effort during work activity is a risk factor already foreseen in the method, but the scale for measuring this workload is psychophysical, which generates many uncertainties about the real value. The objective of this study was to develop and test an instrumented knife for collecting biomechanical data on hand/wrist strength and movement for deboning activities in a pig slaughterhouse located in southern Brazil. The research was carried out with approximately 2,030 workers and 2,740 slaughters per day. Visits were made to the slaughterhouse to collect data in a real activity situation, where, in total, around 140 ham boning cycles were collected. For data collection, 2 knives instrumented on the handle with an inertial center and an extensometer to measure the cutting force were used, as well as a thermocouple to read the blade temperature. These knives were previously calibrated for the range of forces required for the activity in question. The workers were questioned about the perception obtained when using the instrumented knife and video recordings were made synchronized with the data transmitted by the knife to the cell phone. The association between the footage of the activity and the data generated by the instrumented knife was used to verify the information in the data and the biomechanical demands of joint movement of the respective upper limb that wielded the knife. The data matrix generated by the device makes it possible to associate the employees' biotype with the strength required by the task, as well as the identification of the reference curve (standard) for the activity cycles inherent to deboning ham. You can identify the need for new tool sharpening due to the requested increase in force expressed in the graph. On the other hand, for the company's ergonomists, it is useful to establish a more assertive training model, resulting from the identification in the production line, of the worker who has fewer forces exerted in cutting actions and fewer cutting actions per cycle, standardizing efficiently carry out the task. The uniqueness of the data package presented in this work, with the cutting frequency and intensity of the cutting force, with temperature and movements in three dimensions, provides a unique and exclusive scientific analysis for the demands that arise daily in slaughterhouses and meat processing plants.

Keywords: Slaughterhouses; Cutting Force; Instrumented Knife.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de análise do movimento	38
Figura 2 – Amplitude do punho	40
Figura 3 – Visão que circunscribe a faca instrumentada	45
Figura 4 – Diagrama de fluxo do processo de revisão sistemática	48
Figura 5 – Sentido da condução térmica entre a lâmina e a célula de carga na estrutura do cabo	62
Figura 6 – Modelo de facas novas e originais utilizado para o estudo	67
Figura 7 – Processo de acabamento das bordas do cabo para fechamento	68
Figura 8 – Material isolante entre a célula de carga e a espiga da lâmina da faca ...	69
Figura 9 – Teste de isolamento térmico	69
Figura 10 – Placa de circuito impresso com módulo inercial sinalizado	70
Figura 11 – Facas no <i>smartphone</i>	70
Figura 12 – Facas instrumentadas e prontas para o fechamento do cabo	71
Figura 13 – Cura do fechamento da faca	72
Figura 14 – Conferindo o funcionamento e recepção de dados	72
Figura 15 – Facas reconhecidas e habilitadas no aplicativo de coleta no celular	73
Figura 16 – Sala de desossa, com linhas de produção da retirada do osso fêmur, anqueta e suan	77
Figura 17 – Processo de desgaste NATURAL da faca pelo uso	83
Figura 18 – Resina sem solidificação	84
Figura 19 – APP do celular recebendo dados da atividade do trabalhador na linha produção de desossa de pernil suíno.....	84
Figura 20 – Gráfico da coleta de força com valores saturados em 3 Kgf, faca larga	85
Figura 21 – Gráfico da coleta de força com todos os valores registrados, faca estreita	85
Figura 22 – Polegar no dorso da lâmina e mão desencaixada do cabo	86
Figura 23 – Gráfico da coleta de força com todos os valores registrados, faca larga	87
Figura 24 – Gráfico da coleta de força com valor, em algum momento, saturado em 6 Kgf, faca larga.....	87
Figura 25 – Momento de menor velocidade no aumento da força, faca larga	90
Figura 26 – Uso incorreto da faca e a anulação da força aplicada ao cabo.....	90

Figura 27 – Valores de intensidade de força e frequência das ações de corte, faca
larga.....91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das facas instrumentadas utilizadas nos artigos incluídos na revisão sistemática.....	51
Quadro 2 – Roteiro das ações necessárias à viabilidade da ferramenta para uso em campo	66
Quadro 3 – Exemplo de dados brutos enviados pela faca durante um segundo	74
Quadro 4 – Síntese do valores aplicados com a instrumentalização	76
Quadro 5 – Síntese das ações durante o processo de aquisição de dados nas etapas 1 e 2.....	78
Quadro 6 – Forças máximas na desossa	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da metodologia dos estudos incluídos na revisão	49
Tabela 2 – Descrição dos estudos apresentados na revisão.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

AET – Análise Ergonômica do Trabalho

App – Aplicativo para dispositivos móveis

AT – Ação Técnica

CAT – Comunicado de Acidente de Trabalho

CEPSH – Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos

CID – Classificação Internacional de Doenças

CNAE – Código Nacional de Atividade Econômica

DORT – Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

ISO – International Organization for Standardization

MU – Modelo de Utilidade

NR 17 – Norma Regulamentadora 17

NR 36 – Norma Regulamentadora 36

OCRA – Occupational Repetitive Actions

PCI – Placa de Circuito Impresso

PI – Privilégio de Invenção

RAIS – Relação Anual de Informações Sociais

RCT – Randomized Controlled Trial

RF – Rádio Frequência

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TRT – Tribunal Regional do Trabalho

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USB – Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	29
1.2	PROBLEMÁTICA.....	31
1.3	OBJETIVOS.....	32
1.3.1	Objetivo geral	32
1.3.2	Objetivos específicos	32
1.4	JUSTIFICATIVA.....	33
1.4.1	Relevância	33
1.4.2	Ineditismo	33
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	34
1.6	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	35
1.7	ESTRUTURA DA TESE.....	35
2	REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE	37
2.1	ERGONOMIA.....	37
2.2	BIOMECÂNICA.....	38
2.3	PUNHO E MÃO	39
2.4	ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO – AET	41
2.4.1	Instrumentos para coleta de dados	41
2.4.2	Facas instrumentadas como ferramenta para coleta de dados	45
2.4.2.1	<i>Tipos de instrumentação</i>	<i>45</i>
1.	Busca na literatura internacional	45
2.	Procedimentos	46
3.	Os Achados.....	48
3	INSTRUMENTALIZAÇÃO DE FACAS	61
3.1	HISTÓRICO E ADEQUAÇÃO DO PROJETO	61
3.1.1	Item 1 – Cabo original da faca	61
3.1.2	Item 2 – Blindagem térmica da célula de carga (transdutor)	61
3.1.3	Item 3 – Unidade de medida inercial	62
3.1.4	Item 4 – Comunicação e Aplicativo (APP)	63
3.1.5	Item 5 – Hardware e Firmware	64
4	MÉTODO	65

4.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	65
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	65
4.2.1	Instrumentalização.....	65
4.2.1.1	<i>Proposta de ações.....</i>	<i>65</i>
4.2.1.2	<i>Execução do roteiro das ações necessárias à viabilidade da ferramenta para uso em campo.....</i>	<i>67</i>
4.2.1.3	<i>Finalização das modificações e testes.....</i>	<i>72</i>
4.2.1.4	<i>Especificação final da faca.....</i>	<i>73</i>
4.2.1.5	<i>Tolerância na medição.....</i>	<i>75</i>
4.2.1.6	<i>Custos do projeto.....</i>	<i>75</i>
4.2.2	As coletas.....	76
4.2.2.1	<i>Ambiente da pesquisa.....</i>	<i>76</i>
4.2.2.2	<i>Critérios para selecionamento dos trabalhadores.....</i>	<i>77</i>
4.2.2.3	<i>Aspectos éticos.....</i>	<i>78</i>
4.2.2.4	<i>Procedimentos para coleta de dados - Etapa 1 e 2.....</i>	<i>78</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
5.1	AS COLETAS.....	82
5.2	ANÁLISE DAS FILMAGENS E OS DADOS DA FACA.....	89
5.3	AS POSSIBILIDADES DOS DADOS NA ANÁLISE ERGONÔMICA.....	91
6	CONCLUSÃO.....	97
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre Esclarecido.....	110
	APÊNDICE B – Sistema de Calibração e Teste – SCT.....	113
	APÊNDICE C – Conferindo valores da plataforma de calibração.....	114
	APÊNDICE D – Processo de conferência da faca.....	115
	ANEXO A – FACA.....	116
	<i>Ferramenta manual.....</i>	<i>116</i>
	<i>Desenho das ferramentas manuais.....</i>	<i>116</i>
	<i>Fabricantes nacionais.....</i>	<i>117</i>
	<i>Fabricação da faca para frigoríficos.....</i>	<i>117</i>
	<i>Variáveis do desempenho da faca.....</i>	<i>119</i>
	<i>Operação de afiação.....</i>	<i>120</i>
	<i>Certificação internacional.....</i>	<i>122</i>
	<i>Características da faca.....</i>	<i>122</i>

ANEXO B – Dados para instrumentalização	124
ANEXO C – Blindagem térmica	125
ANEXO D – Sensores inerciais	129

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Conforme os indicadores do primeiro trimestre de 2023, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), a produção pecuária no Brasil envolveu 1.040 empresas no abate de bovinos, 571 no abate de suínos e 266 no abate de frangos. O agronegócio é um setor em amplo desenvolvimento, que gera riqueza ao país. O setor de frigoríficos, que inclui frangos, suínos e bovinos, emprega cerca de 800 mil pessoas (PORTO, 2021). Segundo a Relação Anual de Informações Sociais de 2021 (RAIS) (BRASIL, 2023), mais de 600 mil trabalhadores atuam nos abatedouros, onde são abatidos milhões de animais por dia.

O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango e o segundo maior produtor, tendo os Estados Unidos da América – EUA em primeira posição. Conforme relatório de 2023 da Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2023), com dados de 2022, cerca de 33% da produção brasileira de carne de frango foi exportada, sendo que 72% da exportação é dada em forma de cortes. Ainda de acordo com ABPA (2023), o Brasil é o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína, dos 22% da produção brasileira que vai para exportação, 91% são fornecidas em cortes, ou seja, em algum momento desses processos de beneficiamento se utiliza algum instrumento de corte como ferramenta de trabalho. Tendo em conta que a maioria da carne produzida nas plantas brasileiras é comercializada na forma de cortes (ABPA, 2023; ABIEC, 2023), trabalhadores de frigoríficos utilizam a faca como ferramenta para traduzir sua força de trabalho em valor agregado.

Enquanto nos abatedouros de aves o volume diário de abate é alto e as peças processadas são pequenas e leves (REIS; TIRLONI; MORO, 2021; 2021a), nos abatedouros de suínos e bovinos as peças são maiores e pesadas, exigindo que os trabalhadores adotem posturas extremas com grande esforço físico para desossar os animais (TIRLONI; REIS, 2023). Sendo assim, o trabalho de corte com uso de faca em frigoríficos é um trabalho diferenciado, tanto que a legislação trabalhista prevê o “Adicional Faca”, o qual assegura um aditivo salarial no valor de 10% do salário normativo da categoria (TRT4, 2009).

A exigência de força, para este tipo de ferramenta, é uma constante no dia a dia do trabalhador de frigoríficos. As atividades em sua maioria são fixas e pouco

variáveis, com ciclos¹ de trabalhos muito curtos, ocasionando alta repetitividade (SARDÁ, 2009). Ainda de acordo com Sardá (2009), esses tipos de ambiente são prejudiciais à saúde e bem-estar do trabalhador. Esta afirmação é corroborada pelos registros encontrados no Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho – INSS – Smartlab (2023), onde a concessão de benefícios previdenciários acidentários (B91) no Brasil para a população com vínculo de emprego regular, pertencentes as quatro Classificação Nacional das Atividades Econômicas do setor de abatedouros (bovinos, aves, suínos e pescado) é de 148,8 mil afastamentos no ano de 2022. Ainda de acordo com o Observatório, em perfil dos casos com emissão da Comunicação de Acidente do Trabalho – CAT, pertencentes ao setor econômico de abate de bovinos, aves, suínos, tendo como agente causador “Ferramentas Manuais”, entre 2020 e 2022 foram 9.079 registros.

No Brasil se tem disponível um método de avaliação de riscos associados aos movimentos repetitivos dos membros superiores (ABNT NBR ISO, 11228-3: 2014) que tem como um fator de risco a análise da força aplicada durante a atividade, sendo esta considerada pela intensidade (Escala de Borg de 0-10), (BORG, 2000) e duração do esforço. A intensidade da força percebida pelo trabalhador é uma medida qualitativa, e, aplicando este método, quando a faca se encontra mal afiada, o risco de desenvolver Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho - DORT aumenta significativamente (TIRLONI et al., 2020). Vale ressaltar que a escala é uma percepção do trabalhador.

A Norma Regulamentadora 36 (NR-36), que visa: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados (BRASIL, 2013), foi apresentada em 2013 para tentar melhorar esta situação, todavia, à época, para os esforços realizados na linha de produção com relação a dados quantitativos de força de corte da faca, não se era possível medir, logo, este enfoque gerencial sobre a real força de corte ainda não se faz presente na NR, como um elemento balizador e específico à saúde e bem-estar do trabalhador.

Com o avanço da indústria e hoje na era da Indústria 4.0, algumas tentativas para minimizar esses trabalhos mais penosos já estão em curso, o estudo de caso para incorporação de robô colaborativo (*cobot*) em frigorífico é um deles. De acordo

¹Conforme a ABNT NBR ISO 11228-3:2014: Ciclo de trabalho é a “sequência de ações (técnicas) que são repetidas sempre da mesma maneira”. Na prática, na desossa, um ciclo ativo (com a mão que opera a faca) seria: a ação do primeiro ao último corte na mesma peça de carne.

com Mendes (2019), o setor frigorífico exerce grande relevância na economia brasileira, requerendo pesquisa constante para otimização dos processos e redução dos impactos na saúde e segurança dos trabalhadores do setor.

1.2 PROBLEMÁTICA

Conhecer os esforços físicos empregados durante a atividade laboral, permite, por meio de um sistema de gestão, desenvolver atividades que de fato agreguem valor ao trabalhador, com isto, possibilitando a diminuição do absenteísmo e melhora das condições individuais de trabalho. Permitindo também, uma sociedade mais sadia e gerando menos custo ao Estado brasileiro, na diminuição da concessão dos benefícios previdenciários.

A Ergonomia que é a disciplina científica preocupada com a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema (IEA, 2020), e que faz uso da biomecânica para entender as limitações do corpo e a relação do praticante com o equipamento utilizado, pode contribuir, pois sua missão está centrada no bem-estar do usuário e no desempenho global do sistema. No entanto, o uso de facas instrumentadas, que são conectadas com fios elétricos, possui acréscimo de peso e descaracterização visual da ferramenta, como a faca instrumentada proposta por Pontonnier et. al. (2011), altera a forma como o trabalhador executa suas ações técnicas de cortar.

Pode reduzir a amplitude do movimento pelos fios elétricos e comprometer o desempenho por não ser a mesma ferramenta do uso diário. Na parte psicológica, o movimento tem a possibilidade de não ser espontâneo, ou seja, saber que está sendo avaliado pode também distorcer o padrão de movimento durante a atividade laboral. Segundo Prates e Barbosa (2003), em técnicas de coleta de dados, um dos desafios para os avaliadores é conseguir observar sem interferir no contexto ou inibir o usuário.

Neste sentido, entender os instrumentos eletrônicos disponíveis no cenário tecnológico atual para mensuração da tarefa efetiva é importante, uma vez empregados na aplicação do método da análise ergonômica, possibilitam um exame com menos probabilidades de discrepâncias com a realidade prática. Sendo assim, o ponto basilar que norteia este estudo é a possibilidade inédita de dar ciência a um *modus operandi* que atualmente era desconhecido pela comunidade científica, assim como pelas empresas do setor frigorífico.

No setor de frigoríficos, o desconhecimento das forças despendidas em cada atividade que utiliza a faca como ferramenta de trabalho impossibilita a gestão efetiva das demandas de sobrecarga musculoesquelética na saúde e bem-estar dos trabalhadores. O setor já realiza diversas pesquisas com o intuito de desenvolver novas tecnologias que possam ser aproveitadas para aprimorar a capacidade produtiva. No entanto, ainda existe uma carência de avanços nas condições laborais. Nesse sentido, o trabalho proposto tem finalidade principal de elaborar e testar a eficiência de uma ferramenta manual de corte, pré-denominada de “faca instrumentada”, para ser utilizada in loco na desossa ou de corte de peças para a produção de carne. Em outros termos, o propósito deste estudo é contribuir para a ergonomia aplicada ao setor frigorífico, a partir da proposição de uma nova ferramenta de análise biomecânica para o uso com trabalhadores que empregam facas no exercício de suas tarefas diárias e, assim poder contribuir para melhoria da segurança e do conforto na sua relação com o posto de trabalho.

O escopo deste estudo foi desenvolver e testar a instrumentação de duas facas, para coleta de dados biomecânicos, utilizada no dia a dia dos trabalhadores durante as atividades que exigiam o corte de carcaças em um frigorífico de suínos. Com base nos pressupostos supracitados, elaborou-se a seguinte pergunta de pesquisa:

“De que forma a faca instrumentada elaborada para este estudo pode contribuir para a análise biomecânica de trabalhadores de frigoríficos que utilizam essa ferramenta em suas rotinas diárias de trabalho?”

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Elaborar e testar uma faca instrumentada para coleta de dados biomecânicos de força e movimento da mão/punho para a atividade de desossa em um frigorífico de suínos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir as características da instrumentalização da faca.
- Descrever o comportamento da faca instrumentada durante a atividade de desossa e apresentar os dados coletados.

- Analisar os dados adquiridos pela faca instrumentada em sincronismo com a filmagem da atividade de desossa.
- Apresentar as possibilidades de aplicação dos dados provenientes da ferramenta manual instrumentada.

1.4 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo se justifica por sua relevância e ineditismo.

1.4.1 Relevância

A ferramenta proposta pode ser de grande valia para profissionais que utilizam os princípios da ergonomia nas áreas de planejamento de ambientes de trabalho, principalmente em grandes empresas de abate e processamento de carnes. Com a ajuda da biomecânica é possível mensurar dados reais e produzir informações sobre forças e frequências demandadas para as atividades de corte, o que pode alterar aspectos importantes na gestão do ambiente laboral, impactando diretamente na saúde e bem-estar do trabalhador.

Este trabalho de tese se integra a outros projetos vinculados ao Projeto SIGEVIS – Sistema Integrado de Gestão Ergonômica e Vigilância em Saúde em Empresas de Abate e Processamento de Carnes. O SIGEVIS é uma iniciativa liderada por pesquisadores em ergonomia que visa estruturar um banco de dados, informações e publicações científicas para permitir a avaliação e adequação das condições de trabalho em frigoríficos brasileiros em prol da saúde do trabalhador.

1.4.2 Ineditismo

Para comprovar o ineditismo, foi realizada uma busca sistemática em seis bancos de dados eletrônicos em periódicos internacionais nas áreas de Engenharia e Ciências da Saúde: Pubmed (Medline), Web of Science, Science direct, Scopus, EBSCO (Medline complete) e Compendex (Engineering Village); na língua inglesa, com publicações de janeiro de 2000 a março de 2019 e por último, realizou-se uma busca nos mesmos bancos de dados, entre março de 2019 e maio de 2023, com o intuito de identificar se havia uma faca instrumentada. Das 5 facas encontradas, nenhuma considerou apresentar uma ferramenta instrumentada que transmitisse informações “sem fio”, como os dados de força de corte, temperatura da lâmina e

posição espacial do segmento corporal, que fosse idêntica a utilizada no dia a dia do trabalhador e que pudesse ser manuseada diretamente na linha de produção, sem nenhum tipo de restrição, seja com relação ao material antibacteriano do cabo (certificado), ao peso e ao processo de higienização semelhante ao realizado no frigorífico.

O Estado da Arte, sobre este tema, até então atingiu seu ápice em 2016 com a publicação da dissertação de mestrado do autor, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina (TIRLONI, 2016), com a concepção e instrumentação de uma faca, similar a utilizada na desossa de aves, para testes restritos em ambiente controlado (laboratório). Para contextualizar a diferença existente entre ambos os projetos são apresentados dois enfoques: O Estado da Arte, observado pela Academia (Comunidade Científica) e o Estado da Técnica definido pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI.

Faca do mestrado – O Estado da Arte: Faca para Aves e uso restrito a laboratório. O Estado da Técnica: Faca instrumentada eletronicamente, com transmissão de dados sem fio, sem descaracterização visual da ferramenta e sem acréscimo de peso. O que o poderia ser caracterizada como uma patente do tipo Privilégio de Invenção – PI.

Faca do doutorado – O Estado da Arte: Faca para Suínos e uso em qualquer tipo de ambiente. O Estado da Técnica: Faca instrumentada eletronicamente em um cabo com material antibacteriano, com blindagem térmica e elétrica do transdutor de força da espiga da lâmina e captura do movimento em 6 graus de liberdade. O que o poderia ser caracterizada como uma patente do tipo Modelo de Utilidade – MU.

Sendo assim, os dois projetos possuem graus distintos de ineditismo, o que possibilita a reivindicação de prioridade, tão necessário para Teses e Patentes.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo restringe-se em elaborar e testar a instrumentalização de duas facas idênticas as utilizadas no dia a dia das atividades de desossa, com 16 trabalhadores do setor de desossa de fêmur e ânqueta de um frigorífico de suínos no estado de Santa Catarina. A elaboração e testagem está circunscrita na observação do funcionamento e análise dos dados provenientes da instrumentação, e na calibração das ferramentas.

1.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A coleta de dados com a faca instrumentada é dificultada por uma série de restrições, como o aglomerado de trabalhadores nas linhas de produção, as camadas de vestimentas com luvas de aço até o ombro e a necessidade de higienização dos materiais que adentram na área de produção, o que impedem o uso de equipamentos e acessórios para auxiliar durante o desenvolvimento e testagem da instrumentalização do sistema de aquisição. Além disso, a capacidade limitada de aquisição e armazenamento de um volume expressivo de dados capturados em curto espaço de tempo com o uso do celular também é um desafio.

1.7 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em 6 capítulos:

O capítulo 1 apresenta a contextualização do tema, o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa do estudo quanto à relevância e o ineditismo, a delimitação e limitações do estudo e a estruturação do trabalho.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre os temas que embasam a pesquisa: A Ergonomia, mais especificamente a ergonomia física, a biomecânica e a Análise Ergonômica do Trabalho – AET, as ferramentas eletrônicas para coleta de dados biomecânicos e facas instrumentadas como ferramenta para coleta de dados.

O capítulo 3 apresenta a instrumentalização de facas com histórico e adequação do projeto.

O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos referentes a instrumentalização, as especificações da faca, a tolerância nas medições e os custos do projeto. Em seguida o ambiente de pesquisa, os critérios para selecionamento dos trabalhadores e os procedimentos para as coletas de dados.

No capítulo 5, estão apresentados os resultados e análises das quatro visitas de coleta de dados. O exame das filmagens em sincronismo com os dados da faca e as possibilidades com a ferramenta manual para coleta de dados na análise ergonômica.

No capítulo 6, estão apresentadas as conclusões do estudo, as recomendações para desenvolvimentos futuros e sugestões.

As referências utilizadas nesse estudo são apresentadas logo em seguida, finalizando com os apêndices e os anexos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE

2.1 ERGONOMIA

A palavra ergonomia - “a ciência do trabalho” deriva do grego ergon (trabalho) e nomos (leis). Sendo que o conceito mais recente de Ergonomia foi apresentado pela *International Ergonomics Association* (IEA) com a seguinte redação:

“A Ergonomia ou Fatores Humanos é a disciplina científica preocupada com a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teoria, princípios, dados e métodos para projetar a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema” (IEA, 2020).

Com relação ao conteúdo que são abordados pela ergonomia, a IEA (2020) apresenta uma classificação definida em três diferentes domínios de especialização, qual seja:

- Fatores físicos: Anatomia humana; Fisiologia; Antropometria; Biomecânica. Considera a carga física que o corpo humano sofre em uma situação laboral analisando fatores como: movimentos repetitivos, manipulação de materiais, força excessiva, posturas desfavoráveis.
- Fatores cognitivos: Percepção; Memória; Raciocínio; Resposta motora. Enfatiza o tratamento do aspecto mental (percepção, atenção, armazenamento e recuperação de memória). Pesquisa a capacidade e os processos de formação e produção de conhecimentos em sistema em geral.
- Fatores organizacionais: Participação; Cooperação; Sistema sociotécnico; Ambiente interno/externo. Concerne à busca de um equilíbrio sociotécnico entre as pessoas, incluindo a estrutura organizacional, políticas e processos. É utilizada em 3 três níveis da organização que são: operacional, tático e estratégico.

Hubault (2004) coloca que a ergonomia nasceu de uma questão fundamental: a que obriga a distinguir o que se solicita ao homem (a tarefa) e o que isso, para ser realizado, solicita a ele. Na relação de tarefa e atividade a postulação da diferença entre o trabalho prescrito e o real, ou seja, o que se demanda e o que isso demanda. Conforme lida (2005), a ergonomia estuda vários fatores que influenciam no

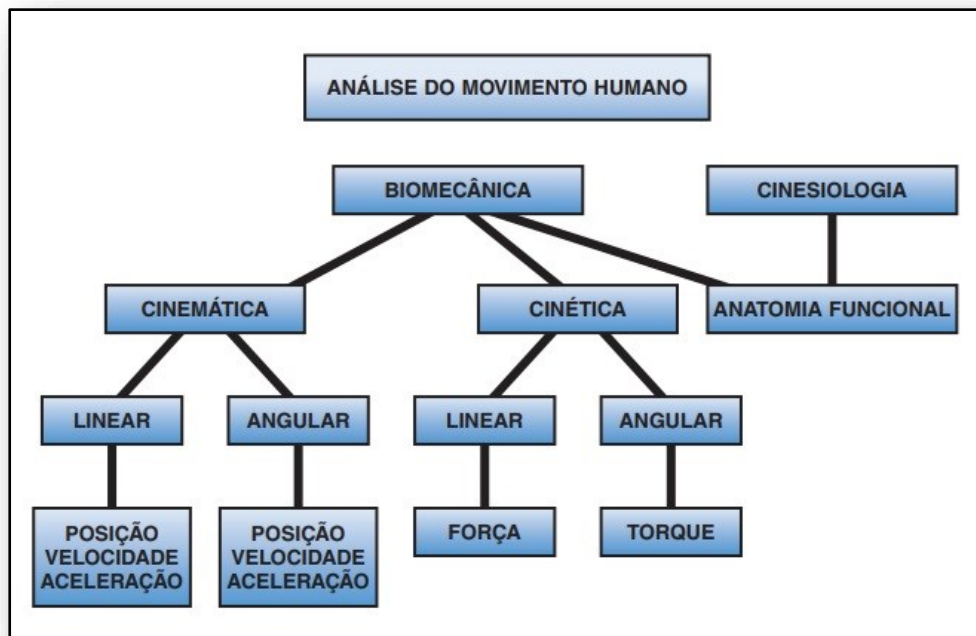
desempenho do sistema produtivo e procura diminuir as suas consequências nocivas sobre o trabalhador.

Neste trabalho a abordagem é da ergonomia física (fatores físicos), onde a biomecânica é a ferramenta que permitirá durante o uso da faca, entender as forças exercidas e a repetitividade das ações na execução das tarefas. Para isto, se faz necessário entender a abrangência da biomecânica na ergonomia.

2.2 BIOMECÂNICA

A Biomecânica, de acordo com Hamill et al. (1999), é a ciência multidisciplinar que estuda os movimentos humanos a partir dos estudos em anatomia, fisiologia e mecânica. Conforme a Figura 1, o movimento pode ser analisado pela avaliação das contribuições anatômicas para sua ocorrência (anatomia funcional), pela descrição de suas características (cinemática) e pela determinação de sua causa (cinética).

Figura 1 – Tipos de análise do movimento



Fonte: Hamill (1999)

A Cinemática, leva em consideração as características do movimento e o examina a partir de uma perspectiva espacial e temporal, sem referência às forças causadoras do movimento. Já a Cinética é a área de estudo que examina as forças que atuam num sistema. Ao empurrarmos uma mesa, podemos ou não movê-la, dependendo da direção e da força do empurrão. Um empurrão ou tração entre dois

objetos que possa ou não resultar em movimento é chamado de força (HAMILL et al., 1999).

Forças e Torque:

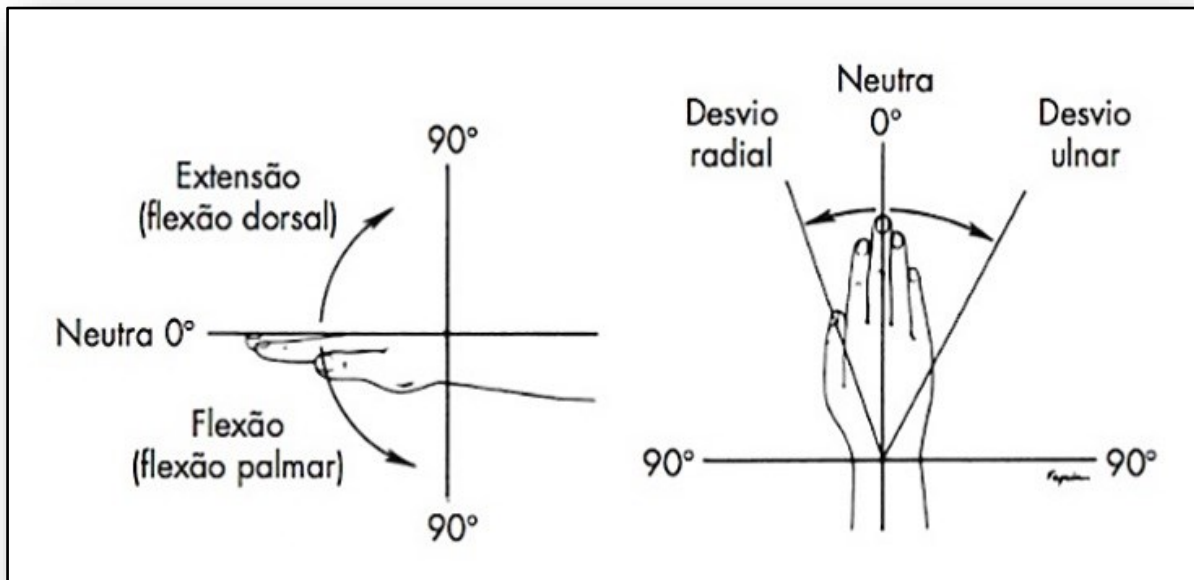
Conforme Oliveira (2018), pode-se compreender e explicar a força em tracionar como tensão ou pressão, quando esse movimento se faz a partir de um “empurrão”. São as linhas de tração que indicam a mobilidade que o músculo realiza, por isso devemos saber que cada músculo representa uma atividade analisada, ou seja, as ações musculares.

A origem do posicionamento, a introdução de um músculo e o sentido das fibras é que indicam a força que o músculo vai produzir. O resultado da força emprega um processo chamado composição vetorial, que é, por exemplo, quando uma força única pode ser determinada em duas ou mais forças. Essa junção leva a um exato efeito da força original e esse processo é denominado resolução vetorial, no qual são fornecidos meios de conhecimento de como a força roda e translada os elementos corporais, levando ao processo de rotação, compressão, desvio ou corte nas regiões articulares (OLIVEIRA, 2018).

2.3 PUNHO E MÃO

Os movimentos do punho são definidos em dois graus de liberdade: flexão-extensão e desvio ulnar-radial. Quando ocorre o movimento do punho que o afasta do corpo, este é denominado de desvio ou abdução radial, ou ainda desvio lateral. Já o movimento do punho que o aproxima do corpo é definido como desvio ou abdução ulnar, ou ainda desvio medial (OLIVEIRA, 2018). Ainda de acordo com Oliveira (2018), as articulações que compõem o punho proporcionam uma grande mobilidade da mão e uma ótima estabilidade estrutural no punho, o que permite um grau extenso de função. Apesar do punho normalmente ser classificado como uma articulação condilar, ele apresenta uma área muito complexa de 15 ossos, 17 articulações e um extenso sistema ligamentar. Na Figura 2 são demonstrados o movimento de extensão e flexão e o desvio radial e desvio ulnar a partir de uma posição neutra.

Figura 2 – Amplitude do punho



Fonte: Floyd (2011, p. 164)

As mãos são possivelmente a parte do corpo mais utilizada por oferecerem os meios mais eficazes para a realização de tarefas complexas, dada a sua capacidade de realizar tarefas especializadas que requerem destreza, manuseabilidade e sensibilidade tátil. Portanto, as mãos são frequentemente expostas a diferentes ambientes (CHENG et al., 2014).

Os músculos flexores da mão são mais utilizados nas atividades diárias que envolvem movimentos de preensão, garra ou pinça, enquanto os músculos extensores raramente exercem muita força. Por esse motivo, os músculos flexores extrínsecos da mão têm mais do que o dobro da força dos músculos extensores mais fortes (HALL, 2016).

A quantidade de força demandada para realização de atividades com ferramentas manuais depende das características das ferramentas: tamanho, forma, peso, tipo de empunhadura, características da superfície de contato e do objeto manuseado (BRASIL, 2017). Ainda de acordo com BRASIL (2017), as empunhaduras ou cabos ovais ou cilíndricas das facas deve ter diâmetro entre 30 e 40 mm, com comprimento mínimo de 100 mm, sendo melhor entre 115 e 120 mm a fim de proporcionar maior domínio da ferramenta. Em atividades que há necessidade do uso de luvas, recomenda-se aumentar o comprimento do cabo em 10 mm, devido a redução da sensibilidade tátil que acarretará maior esforço.

Utiliza-se então a Análise Ergonômica do Trabalho – AET para compreender essas ações descritas pela biomecânica e com isto poder identificar o quanto esses comportamentos interferem na saúde do trabalhador gerando estados alterados e reduzidos de funcionalidade dos membros.

2.4 ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO – AET

Segundo Araújo (2014), a análise ergonômica pode ser entendida como uma metodologia que permite avaliar de maneira exaustiva as atividades dos operadores, nas fases consideradas críticas na utilização de um sistema técnico. A AET é originalmente composta de procedimentos de coleta de dados. Inicialmente partindo da demanda, com a “análise da demanda”, tem-se a compreensão dos processos de trabalho em uma fase exploratório, objetivando entender da demanda da empresa e do problema apresentado.

Num segundo momento a “análise da tarefa” se apresenta e requer uma análise de compreensão sobre o ponto de vista de quem prescreve esta tarefa. Em último plano observa-se a “análise da atividade”, que visa compreender realmente como o trabalho é realizado no seu contexto individual.

Para nortear, regular e delimitar esta análise no âmbito da pessoa jurídica, no Brasil, foi criada a Norma Regulamentadora NR17, (MTP, 2021), que visa estabelecer as diretrizes e os requisitos que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente no trabalho.

Para conduzir esse processo de forma sistemática e obter resultados precisos, a AET deve incorporar ferramentas e instrumentos disponíveis no mercado tecnológico, buscando melhorias e possibilidades avançadas. Nesse sentido, a seleção criteriosa de ferramentas é crucial para uma análise ergonômica eficaz. A seguir, estão incluídas algumas dessas ferramentas que podem ser incorporadas para enriquecer e aprimorar a Análise Ergonômica do Trabalho.

2.4.1 Instrumentos para coleta de dados

Para o melhor entendimento dos mecanismos inerentes ao movimento humano em geral, a realização de uma análise minimamente descritiva possibilita resultados práticos, mas que dependem muito da expertise do avaliador. Entretanto, existem uma

diversidade de métodos utilizados pela biomecânica para abordagem mais sistematizada e precisa a partir de dados objetivos, através do uso de sistema de mensuração. Hoje em dia, existem vários instrumentos de coleta de dados em ergonomia, alguns são chamados de ferramentas e outros constituem dispositivos ou instrumentos para coleta mais objetiva de dados. Esses instrumentos podem ser usados para medir variáveis como força, pressão, temperatura, vibração, movimento, postura e fadiga dos trabalhadores. Eles podem auxiliar na análise e na prevenção de riscos ergonômicos e na melhoria da qualidade e da produtividade do trabalho. Atualmente, o mercado disponibiliza uma série de instrumentos eletrônicos para coleta de dados na análise biomecânica para o contexto da ergonômica, conforme descritos a seguir:

– **Rastreamento Ocular:** Eye track, rastreador ocular vestível projetado para capturar o comportamento de visualização natural em qualquer ambiente do mundo real. O Eye Tracking é uma tecnologia assistiva que permite medir e registrar os movimentos oculares de um indivíduo revelando para onde a atenção visual é dirigida. Com o equipamento, é possível identificar em que áreas a pessoa fixa a sua atenção, por quanto tempo e que ordem segue na sua exploração visual (NGD/LDU, 2023). No escopo da ergonomia física mensurações importantes podem ser registradas, como: a frequência e a duração das piscadas; o desconforto visual ou ofuscamento, definido como excesso de iluminação ou contraste de cores; e o movimento sacádico ou sacadas, este último, de acordo com Lida e Buarque (2016), o olho humano, durante o exame detalhado de diferentes partes de um objeto, não se movimenta continuamente, mas aos “pulos”, de uma fixação para outra. Como instrumento de coleta de dados no campo da ergonomia, temos exemplos, como: “Verificação metodológica para mapeamento visual em estudos de ofuscamento em ambientes de escritório” (GOEDERT; PEREIRA, 2017).

– **Imagens Termográficas:** refere-se ao uso de câmeras térmicas – termografia infravermelha emitida por todos os objetos. O início desta tecnologia é da década de 1950, com aplicações militares. Os atuais módulos de microcâmeras térmicas são extremamente pequenos e permitem inúmeras aplicações. Na análise ergonômica, a câmera térmica é um instrumento que possibilita identificar ambientes frios com manuseio de produtos com baixas temperaturas, o que permite angariar dados para entender o impacto dessas condições no trabalhador. Conforme se observa em Tirloni

et al. (2017), no “*Thermographic Evaluation of the Hands of Pig Slaughterhouse Workers Exposed to Cold Temperatures*”.

– **Câmera de profundidade e software de visão computacional 3D:** Kinect (Microsoft/PrimeSense), sistema capaz de interpretar gestos específicos, tornando as mãos livres do controle de dispositivos eletrônicos, utiliza o método REBA – (Rapid Entire Body Assessment), conforme Fernandes (2014).

– **Eletromiografia (EMG):** os sinais eletromiográficos podem ser obtidos basicamente de duas formas, através de eletrodos intramusculares, o qual configura uma técnica invasiva, ou através de eletrodos de superfície de forma não-invasiva, técnica conhecida como eletromiografia de superfície (CHOWDHURY et al., 2013). A EMG de superfície – normalmente é utilizada de três formas: para avaliação do tempo de ativação e eficiência neuromuscular, para avaliar força muscular e para análise da fadiga. A técnica permite que seja avaliado um único músculo ou um grupo muscular dependendo do aparelho disponível, do método de aplicação dos eletrodos, da metodologia de coleta e do tratamento dado ao sinal eletromiográfico (NODA; MARCHETTI; VILELA-JÚNIOR, 2014). Na eletromiografia de superfície sem fio (*wireless*), existe a possibilidade de coleta de dados sem a restrição física de uma conexão por cabo.

– **Sensores inerciais:** Sistema de Captura de Movimentos por sensores inerciais (Xsens), de acordo com Paulo e Merino (2022), possibilitam a identificação de problemas físicos, ergonômicos e organizacionais, em ambientes e nas suas atividades de trabalho.

– **Dinamometria e Goniometria digital:** equipamentos que permitem medir a intensidade de força e os ângulos por meio de mostrador digital ou transferência de dados sem fio (RF). Podem ser utilizados para a mensuração do trabalhador, antes e depois da jornada de trabalho no intuito de entender parte dos impactos realizados pelo turno laboral.

– **Softwares para análise automática da gravação de vídeo:** softwares que utilizam algoritmos inteligentes para capturar e avaliar o movimento a partir de filmagens 2D. Kinebot (Avaliando cada movimento - ângulo no tempo, percentual de exposição, levantamento de cargas, empurrar/puxar), conforme Souza (2022); Ergo IA (Ergo/IBV) – Instituto de Biomecânica de Valência (2023); Software Deneb – ERGO com simulação interativa 3D, conforme Nayar (1995).

– **Exoesqueletos:** em outra via temos também novas ferramentas de trabalho que vão além da possibilidade de coleta de dados, elas limitam posturas incorretas e auxiliam momentos de extra esforço do trabalhador, a exemplo dos exoesqueletos.

Conforme Human Factors and Ergonomics Society – HFES (2023) e organizado por esta entidade, desde 2015 acontece o evento anual para fomentar este tema, o *ErgoX Symposium*. Há disponibilidade também, do Exoskeleton Report, um endereço eletrônico que permite acessar as tecnologias emergentes na área dos exoesqueletos, dos dispositivos vestíveis e da robótica vestível. Em sua lista de corporações desenvolvedoras consta 131 empresas, com aplicação militar, reabilitação e Indústria. Existem ainda, três organizações com foco no exoesqueleto, ASTM International ET CoE, COST Action CA16116 e Wearable Robotics Association. (EXOSKELETON REPORT, 2023).

Muito se tem desenvolvido nesta área e a Inteligência Artificial evidencia as enormes possibilidades para um futuro próximo, tendo em sua base um mix de implementações, como: Lógica Difusa (*Fuzzy*), *Neuro-Fuzzy*, Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmos Adaptativos, *Machine Learning*, Algoritmos Genéticos, *Deep Learning*, entre outros.

Sistemas com exoesqueletos que auxiliam na caminhada, como o proposto por Slade (2022), o qual por meio de um exoesqueleto de tornozelo portátil permite caminhar mais rapidamente com menos gasto calórico. Exoesqueleto de joelho com inteligência artificial que utiliza eletromiografia de superfície para controle, apresentado por Mingxing (2019), onde a terapia robótica de reabilitação permite a aplicação na recuperação motora de pacientes com Acidente Vascular Cerebral - AVC, são alguns dos exemplos de desenvolvimentos.

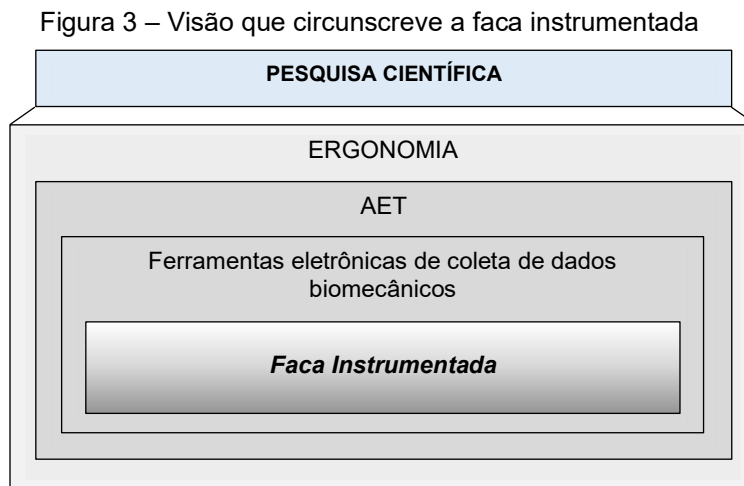
Em comercialização, no campo da reabilitação física, existem modelos disponíveis no mercado, a *RexBionics* (2023) é uma das empresas que disponibiliza representantes em vários continentes.

Para o mundo do trabalho, também existem equipamentos já em fase de comercialização, como é o caso da 6ª geração de ferramentas vestíveis da empresa *GermanBionic*, com os modelos *Apogee* e *Cray X*, que possibilitam ganho de agilidade, redução da fadiga e oferecem suporte para duas regiões do corpo – levantamento e caminhada, com apoio para até 30kg (66lbs) de compensação de levantamento de peso (GERMAN BIONIC SYSTEMS GMBH, 2023).

Após apresentado alguns recursos para aplicação do método e evidenciado com isto, algumas das possibilidades para coleta de dados, exibe-se na sequência a pesquisa do estado da arte de instrumentação de facas.

2.4.2 Facas instrumentadas como ferramenta para coleta de dados

Na Figura 3 apresenta-se uma visão ampliada do posicionamento da faca instrumentada no contexto da pesquisa científica.



Fonte: Autor

2.4.2.1 Tipos de instrumentação

1. Busca na literatura internacional

A revisão sistemática que será apresentada teve como objetivo identificar as características e as variáveis mensuradas de facas instrumentadas, e determinar como deveriam ser projetadas. Este estudo propôs as seguintes perguntas específicas de pesquisa:

- Quais são as características das ferramentas de corte manual instrumentadas?
 - A ferramenta foi a mesma ou diferente da utilizada na empresa pesquisada?
 - A transmissão de dados era com fio ou sem fio?
 - Teve alteração no peso da ferramenta?
 - Qual o ambiente de coleta de dados?
- Quais variáveis podem ser obtidas por esses instrumentos?
- Como as ferramentas de corte manual instrumentadas devem ser projetadas?

2. Procedimentos

Estratégia de pesquisa

As buscas foram realizadas em seis bancos de dados eletrônicos em periódicos internacionais nas áreas de Engenharia e Ciências da Saúde: Pubmed (Medline), Web of Science, Science direct, Scopus, EBSCO (Medline complete) e Compendex (Engineering Village); na língua inglesa, a primeira investigação com publicações de janeiro de 2000 a março de 2019 e a segunda busca, de março de 2019 a maio de 2023. Registros adicionais foram identificados na etapa de triagem destas pesquisas, por meio da análise das referências dos artigos incluídos para elegibilidade.

Os princípios do PICO foram usados (população, intervenção, comparação e resultados) para agrupar os termos de pesquisa. Como este estudo não foi uma pesquisa clínica, foram considerados três princípios e foram utilizados dois operadores booleanos (OR, AND): população (“meat processing industry” OR “meat processing plant” OR “meat industry” OR “meat packing” OR “meat cutting” OR “slaughterhouse” OR “abattoir”) AND intervenção (“cutting” OR “tool” OR “hand” OR “handle” OR “knife” OR “sharp”) AND resultados (“force” OR “effort” OR “exertion” OR “strength” OR “upper limb” OR “musculoskeletal disorders” OR “ergonomics”).

Os termos de busca foram definidos com base na lista de termos utilizados no MeSH Database (NCBI, 2019). Os estudos foram coletados em bancos de dados de março de 2019 e maio de 2023, respectivamente, sendo exploradas as raízes da palavra e encontradas todas as variantes dos termos (singular / plural, pretérito, gerúndio, adjetivo comparativo e superlativo; quando possível). Para a área disciplinar foram utilizados os seguintes filtros: ergonomia, medicina, engenharia (industrial, biomédica, eletroeletrônica, manufatura e mecânica), robótica, profissões da saúde, ciência dos materiais, multidisciplinar, e saúde pública ambiental e ocupacional, conforme disponibilidade no banco de dados.

Crítérios de inclusão e exclusão

Os estudos elegíveis continham os critérios: (1) estudo realizado com ferramenta de corte manual; (2) a ferramenta deve ser uma faca instrumentada; (3) escrito em inglês; (4) artigos de texto completo publicados em periódicos revisados por pares; e (5) com humanos adultos (+19 anos).

Os critérios de exclusão foram estudos que utilizaram aparelho com lâmina ou faca, e não ferramenta manual; aqueles que abordaram o corte de carne com robôs; e, por fim, não houve estudos com tarefa manual de corte com faca. Os resultados da busca foram exportados para o software básico EndNote® online, de onde foram retiradas as duplicadas, a extração dos dados foi obtida na íntegra após análise da possível elegibilidade dos artigos.

Análise de estudo

Em relação à elegibilidade dos estudos, o processo de revisão da primeira busca ocorreu por meio da análise dos títulos, palavras-chave e leitura dos resumos por dois revisores de forma independente no software básico EndNote® online. Em caso de dúvida quanto à elegibilidade, o texto completo foi revisado. Nos casos de divergência entre os dois revisores, a decisão foi tomada por consenso ou um terceiro pesquisador providenciou nova revisão e a decisão foi tomada por arbitragem. Em relação à elegibilidade dos estudos para a segunda investigação, o processo de revisão ocorreu por meio da análise dos títulos, palavras-chave e leitura dos resumos pelo pesquisador.

Extração de dados

Dois revisores independentes realizaram o processo de extração e revisão dos dados da primeira busca, nos casos de discordância; o consenso foi alcançado por meio de discussão entre eles ou por meio de arbitragem com um terceiro revisor. O processo de extração dos dados da segunda investigação foi realizado pelo pesquisador.

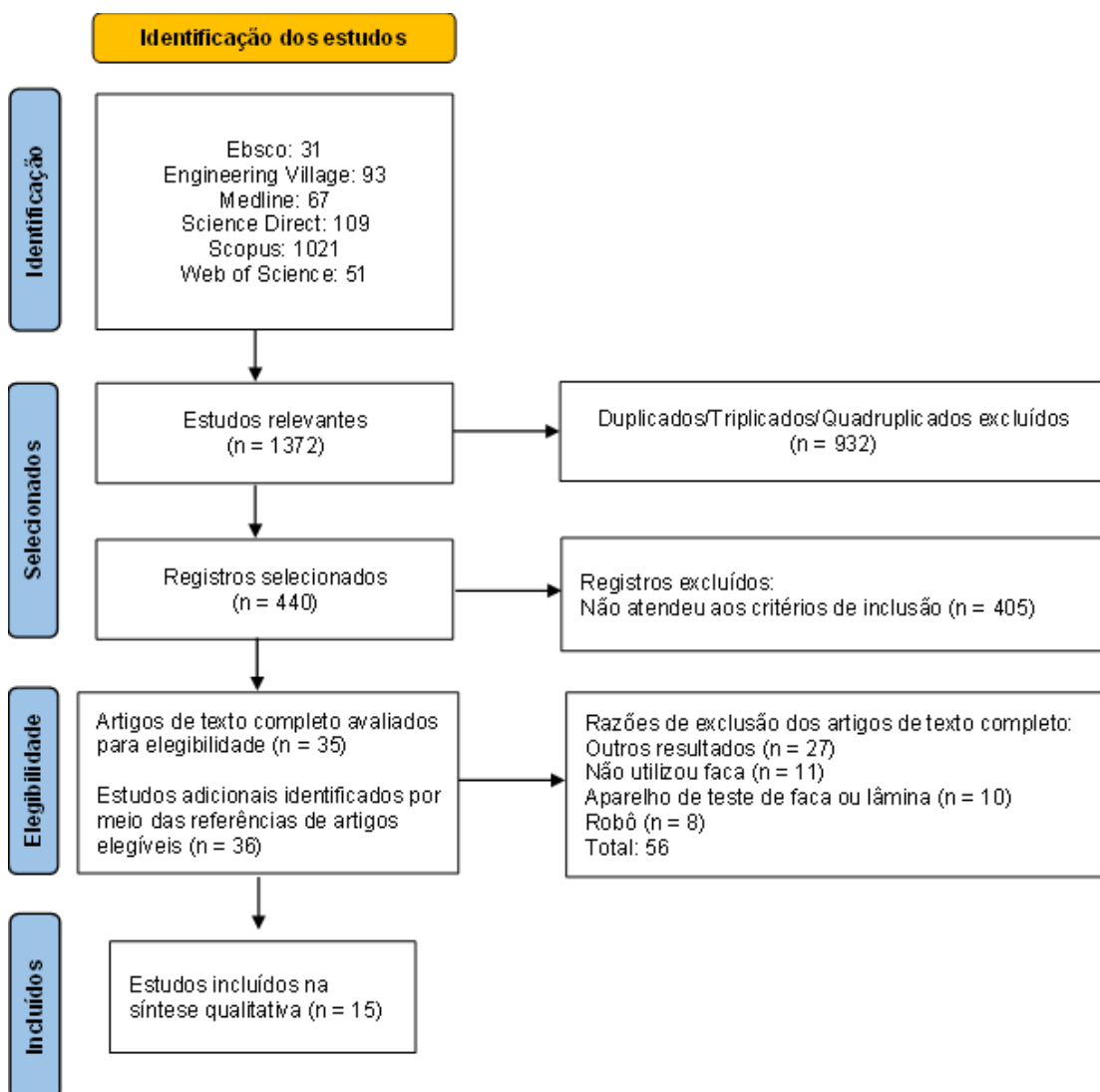
As seguintes características do estudo foram extraídas e descritas: nomes dos autores dos artigos, ano de publicação; país onde o estudo foi realizado; desenho e objetivo do estudo; características dos participantes; ambiente de coleta de dados (laboratório ou empresa); qual produto estava cortando; tipo de faca de corte manual (as mesmas utilizadas pelos trabalhadores da empresa, sem fio ou não, peso); as grandezas medidas pela faca; acompanhamento e resultados.

Os dados deste estudo foram apresentados de forma descritiva e seguiram a Declaração PRISMA para fluxograma de relatórios (Moher et al., 2009) e a lista de verificação do NIH para revisões sistemáticas (NIH, 2018).

3. Os Achados

O resultado da pesquisa incluiu 1372 estudos potencialmente elegíveis. Primeiramente, foram excluídos 932 artigos duplicados/triplicados-/quaduplicados e, dos 440 artigos restantes, 35 foram considerados elegíveis com base na revisão dos títulos, palavras-chave e resumos. Estudos adicionais (36) foram incluídos após busca nas referências dos artigos elegíveis, totalizando 71 textos completos para avaliação. Após a revisão destes, 56 estudos foram inelegíveis, encerrando o processo com 15 estudos para avaliação da qualidade (Figura 4).

Figura 4 – Diagrama de fluxo do processo de revisão sistemática



Fonte: Adaptado de Moher (2009)

As coletas dos 15 estudos finais foram realizadas em laboratório (7), frigoríficos e abatedouros (6), e em ambos os ambientes (2), envolveram cinco tipos de faca

instrumentada, adicionalmente, incluídos quatro países: Estados Unidos, Nova Zelândia, Dinamarca e Israel (Tabela 1). Nesta revisão, dois tipos de desenho de estudos (metodologia) foram os mais encontrados, porém a maioria eram estudos de intervenção controlados (9) (como randomizado, um ensaio randomizado, um ensaio clínico (controle) randomizado - RCT), (Tabela 1). Cinco tipos de facas foram identificados pelo estudo, os quais serão detalhados posteriormente no Quadro 1.

Tabela 1 – Características da metodologia dos estudos incluídos na revisão

Autor/Ano	Ambiente de coleta de dados	País/Local da coleta de dados	Tipo de faca instrumentada (IK)	Desenho do estudo (metodologia)	
				IC	ET
Murphy et al., 2000	Laboratório	EUA	A		x
McGorry et al., 2000	Laboratório/Frigorífico Aves	EUA /NR	A		x
McGorry, 2001	Laboratório	EUA	A	x	
Juul-Kristensen et al. 2002	Frigorífico Aves	NR	C		x
McGorry et al., 2003	Frigorífico	Nova Zelândia	A	x	
Waddell et al., 2003	Frigorífico Aves	EUA	D		x
Dempsey et al., 2004	Frigorífico Suínos	NR	A		x
McGorry et al., 2004	Laboratório/Frigorífico	EUA/NR	A	x	
McGorry et al., 2004a	Laboratório	EUA	A	x	
McGorry et al., 2005	Frigorífico	Nova Zelândia	A	x	
McGorry et al., 2005a	Frigorífico Ovinos	Nova Zelândia	A	x	
Pontonnier, et al., 2011	Laboratório	Dinamarca	B	x	
Pontonnier, et al., 2012	Laboratório	Dinamarca	B	x	
Pontonnier, et al., 2014	Laboratório	Dinamarca	B	x	
Zoran, et al., 2015	Laboratório	Israel	E		x

Fonte: Autor. IK – Instrumented Knife; IC – Intervenção controlados; ET – Estudos transversais; NR – Não relatado

Identificadas

Cinco facas instrumentadas foram encontradas na revisão, sendo a IK-A a mais utilizada nas pesquisas (9) e somente ela passou por um processo de validação, descrito em Murphy et al. (2000). Todas as facas utilizavam algum tipo de ligação elétrica via cabo ou fios e não guardavam total semelhança com a ferramenta do dia a dia do trabalhador.

Quando da existência de algum módulo preso ao corpo do usuário da faca, nenhum estudo citou a duração da bateria (horas e/ou dias) ou algum tipo de transmissão por radiofrequência. O Quadro 1 apresenta as características das ferramentas e foram extraídas dos artigos que se encontram referenciados no rodapé do quadro.

Quadro 1 – Características das facas instrumentadas utilizadas nos artigos incluídos na revisão sistemática

Variáveis	IK-A	IK-B	IK-C	IK-D	IK-E
Objetivo	Produzir um dispositivo portátil para a medição da frequência e magnitude das forças reativas aplicadas à ou pela mão durante uma tarefa manual.	Medir a força.	Medir a força.	Medir a força e o torque.	Protótipo de proteção contra corte acidental
Instrumentado	Núcleo da faca. Faca de desossar usada na indústria de processamento de carne.	Faca. Parte instrumentada entre o cabo e a lâmina.	Núcleo do cabo da faca.	Lâmina. Sensor externo adicionado à lâmina, aumento de 2,5 cm.	Faca com sensoreamento por fibra óptica e sistema retrátil de lâmina
Peso inicial	NR	0,348 - 0,748kg (pesos calculados da faca real).	NR	NR	NR
Peso final	Aumento de peso: 130-133 (mg) (Murphy et al., 2000). O peso da faca era imperceptível para o usuário. 59g mais pesado (McGorry, 2001).	0,948 kg (0,2 - 0,6 mais pesado do que uma faca real).	NR	Um transdutor monolítico: 1,9 oz = 53,9g. Peso total = NR.	NR
Comprimento da faca	24,5cm	25,9 cm	NR	NR	NR
Lâmina	Removível 15cm.	Um tipo de formato comum de faca com 6,5cm.	Removível	Uma faca de corte normal. Removível.	Retrátil por acionamento
Cabo	Poliuretano sem estrias de dedo (liso); removível; cabos de vários tamanhos e formas podem ser montados no núcleo do punho.	O diâmetro do cabo era semelhante as facas usadas nos matadouros dinamarqueses. Comprimento - 13,0cm.	Removível	Removível	USB

Continua

Sensor	Victorinox 40515, Ibach, Suíça; 2 pares de medidores de tensão fixados na lâmina; 6 medidores de tensão no cabo da faca; o núcleo do punho foi fabricado a partir de barra hexagonal de 15,6 mm (aço inoxidável 14-4).	Sensor de força 3D (FS62000, AMTI, Watertown, MA, EUA). Comprimento - 6,4 cm.	Transdutores extensômetros de ponte completa.	Sensor de força-torque de seis transdutores ATI Industries (Assurance Technologies, Inc., Garner, NC).	Fios de fibra óptica identificam a diferença entre a pele humana e os alimentos
Cabo com fio elétrico	O cabo foi preso ao braço do trabalhador. O comprimento do cabo foi ajustado de acordo com a preferência do trabalhador, mas não mencionou a faixa de comprimento.	Havia, mas o comprimento não foi relatado.	Havia, mas o comprimento não foi relatado.	O comprimento do cabo era de 6,1m.	Cabo Serial
Bateria	6 pilhas alcalinas padrão AA no pacote anexado ao cinto de proteção do abdômen dos trabalhadores alimentam a unidade.	NR	NR	NR	Via cabo
Limite da força (alcance)	Max. 700 N para a força de "pega".	NR	NR	(ATI Mini força de 20 lb / torque de 40 pol-lb); Todas as resoluções do transdutor estavam abaixo de 0,96 onças com capacidades máximas de detecção de 60 libras em Fz e 20 libras em Fx e Fy.	NR
Saída do sensor	Para um conversor A/D e depois para um coletor de dados.	Para um conversor A/D de 12 bits, Nidaq 6024, National Instruments, Austin, TX, EUA)	Para um coletor de dados.	Todos os canais analógicos do EWAS foram conectados a uma placa CIO-DAS16 A / D de 16 canais e um amplificador SSH da Computer Boards, Inc. (Middleboro, MA).	UART via FTDI-230

Continua

Amplificação e amostragem	50Hz e 100Hz	Os sinais da força foram filtrados por um passa-baixa (10,5 Hz) e amplificado 2.000 vezes. Amostrado em 60 Hz.	Um amplificador portátil (Universidade de Aalborg, Dinamarca). O divisor de tensão foi conectado a um registrador de dados (Logger Teknologi HB, Akarp, Suécia). Amostras de 20 Hz.	Amostrado a 1KHz	CCD com porta SPI p/ receber dados das fibras
Software	Linguagem BASIC e C. Registra e exibe em tempo real os dados de força e frequência.	Programa LabView 8.2 (National Instruments, Austin, TX, EUA).	NR	LabView	Microcontrolador ATmega 328P
Calibração	Com peso conhecido; 12 pesos calibrados (0,45-72,8 kg).	NR	Com peso de 2 kg a uma distância predeterminada do cabo da faca.	NR	NR
Validação da ferramenta	Capacidade de sobrecarga; Sensibilidade (contagens / unidades); Linearidade (% de FS); Repetibilidade (% de erro); Histerese (% de erro); Frequência ressonante (Hz).	NR	NR	NR	Protótipo

Fonte: Autor. IK = Instrumented Knife (faca instrumentada); NR = não relatado; Referencias: IK-A (McGorry et al., 2000; 2001; 2005; Murphy et al., 2000); IK-B (Pontonnier et al., 2011; 2014); IK-C (Juul Kristensen et al., 2002; Madeleine et al., 1999); IK-D (Waddell et al., 2003) and IK-E (Zoran et al., 2015).

A Tabela 2 mostra os principais resultados dos estudos analisados e as referidas facas instrumentalizadas - IK (Instrumented Knife).

Tabela 2 – Descrição dos estudos apresentados na revisão

Autor/Ano	Instrumentos/Procedimentos
Murphy et al., 2000	Avaliador de tarefa manual (MTE) = Ferramentas instrumentadas: faca de desossar (IK-A), par de alicates pequenos e cabo em formato de chave de fenda. Osciloscópio digital.
McGorry et al., 2000	<p>Experimento 1 - uma grande faca de desossa usada na indústria de processamento de carne; 15 cortes em cada um dos quatro materiais = espessuras das tiras de <i>nylon</i> - 0,254, 0,38, 0,508 e 1,59 mm. 5min de descanso entre as tentativas, a faca foi afiada 25 x de cada lado da lâmina contra uma pedra de amolar.</p> <p>Experiência 2 - IK-A; Três tentativas.</p> <p>Aquisições - 10 Hz por 30 s, Pós processamento - 45 s.</p>
McGorry, 2001	IK-A. Experiência: 2 x 2 Tarefa de corte de precisão: 10 e 15 cm de largura; Espessura da laje de argila: grossa (1,9cm) e fina (1,25cm). 4 cortes verticais na laje para todos os ensaios. Nenhuma instrução sobre velocidade de corte.
Juul-Kristensen et al. 2002	IK-C; eletromiografia de superfície (EMG); eletrogoniômetro; câmera filmadora (15 min em cada uma das duas tarefas); uma escala para medir a força muscular (1: leve – 5: próximo ao máximo).
McGorry et al., 2003	IK-A; eletromiogramas de superfície (EMG); testador de afiação de faca. Experiência: 3 x 2 repetições (análise). Três grupos de afiação: nítido, médio e opaco. 10 facas de trabalho.
Waddell et al., 2003	EWAS - Ergonomic Work Assessment System: eletrogoniômetro; eletrodos de superfície (EMG), IK-D e hardware de processamento de sinal. Experiência: dois cortes de asas. Dois cortes macios.
Dempsey and McGorry, 2004	IK-A; aparelhos: fita métrica e câmera de vídeo; computador. Experiência: Três ciclos da tarefa de desossa do ombro.
McGorry et al., 2004 (força)	<p>Dinamômetro manual; IK-A (identificador de teste).</p> <p>Experimento 1 - Quatro condições de teste. Período de aquisição de dados de 4 s. Para apertar a alça ou dinamômetro com a mesma força aplicada durante a tarefa anterior. Experimento 2 - 3 traçados na argila durante cada uma das 144 tentativas. Em 4 sessões. Experimento 3 - 9 ensaios (3 repetições x 3 afiações da lâmina)</p> <p>Após as últimas repetições: agarra o cabo da faca com a mesma força da operação anterior de corte de carne 2x.</p>
McGorry al., 2004a (Estação trabalho)	IK-A; goniômetro; Desenho experimental: 3 x 3 x 2 x 2 x 2; - Ângulo de superfície (0 °, 30 °, 60 °) - Alturas de superfície: alta (altura do cotovelo), média (12,5 cm abaixo da altura do cotovelo) e baixa (25 cm abaixo da altura do cotovelo); - Ângulo da faca (0 °, 30 °) - Complexidade do corte (simples e complexo) - Ritmo de trabalho (ritmo próprio e de produção).

McGorry et al., 2005	IK-A; aparelho - testador de nitidez de faca; 10 facas de desossar. Experiência: 2 tentativas; Processo de nitidez: 1, 3, 5 e 7 passa pela lixa; Duas facas por cortador de carne. Carne: cortada em tiras de 3 cm de largura, 25 cm de comprimento e 2 cm de espessura. 2 tentativas em cada nível de nitidez.
McGorry et al., 2005a	IK - A Experiência: 3 x 3. Ângulos das lâminas: 20 °, 30 ° e 45 °; Níveis de acabamento da lâmina: grosso - 5 passes em pedras de grão 400; liso - 10 passagens em pedras de grão 600 e polido - 10 passagens em pedras de grão 900.
Pontonnier, et al., 2011	IK-B; e eletromiografia de superfície (EMG). Experiência: 20 segundos - tarefa de 10 ciclos em duas direções de corte: 1) flexão do braço e, 2) uma combinação de rotação interna e abdução do braço.
Pontonnier, et al., 2012	IK-B; e eletromiografia de superfície (EMG) e Osciloscópio. Experiência: 4 tentativas - 20s cada; 4 alturas (0 cm, 10 cm, 20 cm e 30 cm abaixo da altura do cotovelo) e; 2 direções de corte: 1) flexão do braço e, 2) uma combinação de rotação interna e abdução do braço.
Pontonnier, et al., 2014	IK-B; Sensor de força 3D; transdutor de força, eletromiografia de superfície (EMG); sistema de captura de movimento de marcador ativo; e modelo musculoesquelético. Experiência: 4 tentativas - 20s cada; 4 alturas (0 cm, 10 cm, 20 cm e 30 cm abaixo da altura do cotovelo) e; 2 direções de corte: 1) flexão do braço e, 2) uma combinação de rotação interna e abdução do braço.
Zoran, et al., 2015	IK-E; Sistema de fibras ópticas, que estão inseridas no interior da lâmina e em direção a aresta de corte, para leitura da cor da pele e acionamento de sistema retrátil de lâmina, via servomotor e controlado por PWM, advinda de um microcontrolador. Sistema de fibra óptica alimenta CCD, que está conectado via SPI no microcontrolador.

Fonte: Autor

Características e dados observados nos estudos:

Força de preensão

A força de preensão (desvio padrão) variou entre os estudos encontrados, o pico foi de 71,2 (20,8) N (McGorry et al., 2004a) e 130,9 (26,5) N (Dempsey et al., 2004), além disso, a força de preensão média foi de 52,7 (15,7) N (McGorry et al., 2004a), 55,2 (16,2) N (McGorry et al., 2004), e 39,9 (4,4) N (Dempsey et al., 2004). O mesmo aconteceu com o momento de pico do corte, foi 16,2 (3,1) Nm (Dempsey et al., 2004), 8,94 (2,07) Nm (McGorry et al., 2004a) e o momento médio do corte foi de 4,0 (0,6) Nm (Dempsey et al., 2004) e 6,30 (1,38) Nm (McGorry et al., 2004a). Além disso, o força de preensão média durante a tarefa no matadouro de suínos foram entre 11 e 35% da força de preensão voluntária máxima (Dempsey et al., 2004).

Para McGorry (2001), a faixa de trabalho ultrapassa 700N para forças de preensão e 28 e 16 Nm para os dois eixos de momento aplicados, sendo os limites superiores dessas variáveis maiores do que os estudos apresentados. As forças da faca podem variar entre as diferenças por local, fazendo a mesma tarefa de corte

de carne, tarefas, diferenças dentro do assunto por corte e corte por local (Waddell et al., 2003). Resultados corroborantes os momentos de corte médio e máximo foram 4,7 e 17,2 Nm para o desossa dos ombros, 3,5 e 12,9 Nm para o acabamento das costelas, e 2,3 e 10,6 Nm para o corte do lombo, respectivamente (McGorry et al., 2003).

O estudo de Juul-Kristensen et al. (2002) também descobriram que havia uma diferença entre diferentes processos de produção para fazer a mesma tarefa (corte no frango). Eles estabelecem que as forças de corte foram significativamente maiores durante a tarefa de corte na produção em comparação com a tarefa de corte isolada, no entanto, foi mostrado um coeficiente de variação pequeno intra-indivíduo durante os 50 cortes em tarefa de corte.

McGorry (2001) descobriu que a força de prensão e o momento aplicado durante as fases iniciais (25%) do corte da argila foram maiores para o alto tarefa de precisão do que para a tarefa de baixa precisão, independentemente do nível de espessura do corte de argila. Por outro lado, McGorry et al (2000) verificaram que a espessura do material a ser cortado tinha um efeito significativo no pico de torque médio.

Diferentes fatores interferem na força aplicada; um deles é o ritmo do trabalho. McGorry et al. (2004a) certificou que o ritmo de produção exige uma força de aperto de 58,9 (14,6) N e momento de corte de 6,79 (1,40) Nm em comparação com 46,6 (14,4) N e 5,80 (1,20) Nm para o ritmo próprio da tarefa, respectivamente. Outro fator é o nível de experiência dos trabalhadores na tarefa. Para McGorry et al. (2000), trabalhadores experientes gastaram menos tempo aplicando torque do que trabalhadores menos experientes, mas não houve diferenças entre os grupos no número de ciclos de corte por tentativa (30 s).

Força de corte

Pontonnier et al. (2014) verificaram que a amplitude da força de corte foi de 18-67N. Já no estudo de Juul-Kristensen et al. em 2002, às forças de corte estimadas durante a desossa manual foram de 6,25N e 20,71N (níveis médios e de pico).

Fatores relacionados à tarefa e à pessoa influenciam a potência necessário para executar a tarefa (McGorry et al., 2000), as mesmas diferenças foram observadas entre as plantas para o mesmo corte (Waddell et al., 2003). Em um desenvolvimento de equipamento para mensuração de corte, segundo McGorry et al.

(2005), as forças de corte para a malha de fibra e a carne foram muito semelhantes, porém a força necessária para cortar a malha aumentou com o número de passagens pela lixa de embotamento.

McGorry et al. (2004a) analisaram a força de corte aplicada em diferentes combinações de configuração da estação de trabalho e ângulo da lâmina. Os resultados mostraram que com uma lâmina inclinada a força de prensão necessária foi significativamente maior, 54,9 (16,1) N, do que quando uma lâmina reta foi usada, 50,5 (15,0) N. Da mesma forma, a diferença significativa também foi encontrada para o efeito da complexidade do corte, o corte complexo foi de 49,8 (14) N vs. operação de corte simples 55,5 (16,8) N.

Postura

As configurações das estações de trabalho e a direção que o corte é realizado afeta a postura de trabalho. Um estudo identificou que as posições extremas da mão no desvio ulnar eram maiores no corte do que na desossa mecânica ($p > 0,05$) (Juul-Kristensen et al. 2002).

Em relação à direção de corte realizada na abdução do ombro, houve uma demanda entre 7 e 30% das capacidades articulares (Pontonnier et al., 2014). A diminuição da altura da bancada tende a diminuir os níveis de ativação muscular, exceto para o deltoideus medialis (Pontonnier et al., 2012).

Analisando a postura durante a tarefa de corte em quatro alturas da bancada, Pontonnier et al. (2014) descobriram que os desvios padrão da amplitude de movimento eram grandes, sublinhando os notáveis movimentos diferentes de um sujeito para outro, especialmente para rotação e flexão do ombro. Waddell et al. (2003) comprovaram que em uma tarefa de corte a atividade dos músculos flexores e extensores do antebraço foram significativamente menores quando comparados a outra tarefa, mas a amplitude total de movimento nesta tarefa foi maior.

A altura ideal da bancada para a tarefa de corte de carne que requer força de aprox. 50 N deve ser entre 20 e 30 cm abaixo da altura do cotovelo do trabalhador (Pontonnier et al., 2014). A altura da superfície teve um efeito significativo nos requisitos de força de prensão, mas a magnitude da diferença foi em torno de 2 N (McGorry et al., 2004a).

Afiação da faca

Conforme relatado por McGorry et al. (2005), a afiação afeta a exposição à força, mas também a eficiência de corte, em relação ao tempo de corte. Verificou-se que o fio da lâmina afeta as forças de prensão, os momentos de corte e o tempo de corte, com lâminas mais afiadas exigindo pico e momentos de corte médios estatisticamente significativamente mais baixos e forças de prensão do que facas cegas (McGorry et al., 2003). Portanto, os esforços para fornecer e manter lâminas afiadas podem ter um impacto significativo na exposição à força (McGorry et al., 2003).

McGorry et al. (2005) analisaram duas tarefas e em uma delas descobriram que a qualidade do acabamento da lâmina, diminuiu o tempo de corte, a força média e de pico de prensão e momento de corte, todavia, este resultado não foi generalizado. Isso corrobora com os achados de Waddell et al., (2003) onde os resultados da força da faca variaram entre as tarefas analisadas nas mesmas condições. Dempsey e McGorry (2004) verificaram variação considerável entre os trabalhadores nas diferenças de afiação entre a leitura inicial e as leituras de 2 e 5 horas, e isso poderia levar a diferentes níveis de exposição.

Análise

Os principais indicadores da qualidade de um instrumento de medida são a confiabilidade e a validade das medidas (Kimberlin e Winterstein, 2008), no entanto, os resultados deste estudo apresentaram que apenas uma faca foi submetida a ambos os processos (IK-A). A validade é a medida em que um instrumento mede o que pretende medir, porém requer que seja confiável (corretamente calibrado) (Kimberlin e Winterstein, 2008). Vale ressaltar que dois estudos mencionaram a realização da calibração da faca, mas não referiram como o fizeram.

De acordo com McGorry et al. (2001), a falta de dados de campo é devida, em parte, à atual inadequação da instrumentação de medição e à aparente falta de uma ampla disseminação. Os resultados mostraram que a IK-A foi a mais utilizado em artigos (n = 9), mas em um curto período de 2000-2005, além disso os estudos experimentais foram classificados como regulares. Evidenciando que estudos mais robustos são necessários para generalização dos dados e com uma melhor descrição das ferramentas utilizadas. Em relação à inadequação da faca, todas possuíam um cabo com fio elétrico, mesmo um dos estudos mais recente (Pontonnier et al., 2014).

Neste sentido as ferramentas de corte manual instrumentadas deveriam ser projetadas considerando alguns pontos basilares: A não descaracterização visual da ferramenta, ou seja, manter o aspecto original da faca. Ao embarcar um sistema eletrônico, em uma ferramenta, não deve haver acréscimo de peso ou mudança de centro de massa. Outra questão imprescindível para esta abordagem é a utilização da transmissão de dados sem fio e o carregamento de bateria por indução magnética.

Westgaard e Winkel (1997) argumentam que a principal desvantagem da realização de pesquisas em campo é que a investigação experimental *in loco* é menos controlada que em laboratório, devido a numerosos fatores exógenos que escapam ao controle do pesquisador. No campo da pesquisa teríamos uma instrumentação totalmente associada a ferramenta de trabalho e imperceptível pelo trabalhador, sendo assim, estudos mais profundos e isentos de variáveis adjacentes poderiam ser realizados.

Desfecho

Cinco facas com cabo instrumentados foram encontradas nesta revisão sistemática, a coleta de dados foi realizada em laboratório e fábrica de processamento de carne. Ressalta-se que apenas uma faca foi submetida a processo de validação e que os artigos apresentavam informações técnicas incompletas sobre as facas.

Embora tenha sido limitado o número de estudos sobre faca instrumentada, bem como, facas instrumentadas, alguns destes tentaram fornecer dados sobre os efeitos de afiação, força, momento de corte e pega.

Das facas apresentadas nos artigos, embora tenha-se feito uma classificação para tentar obter os detalhes de cada instrumentação, a totalidade dos artigos encontrados não considerou as influências que o trabalhador está sujeito quando não utiliza a mesma ferramenta do dia a dia para a coleta de dados.

O uso de novas tecnologias poderia promover o desenvolvimento de uma faca com transmissão de dados sem fio de baixo custo, onde a instrumentação seria imperceptível pelo usuário, devido a nenhuma alteração física, mantendo as características da faca original utilizada pelo trabalhador.

Portanto, uma faca instrumentada ou cabo poderia ser desenvolvida atendendo aos requisitos do presente estudo, bem como a condução de estudos futuros com esta faca instrumentada em frigoríficos e/ou abatedouros. Os estudos achados mostraram que é imperativo se aprofundar no conhecimento sobre a força

de corte e a relação com os riscos de desenvolver DORT, além do uso de luvas, a temperatura ambiente do local de trabalho, a experiência do trabalhador, os efeitos do treinamento de desossa, a frequência de uso do amolador de facas para mantê-las afiadas e os efeitos no aumento das ações técnicas (AT).

3 INSTRUMENTALIZAÇÃO DE FACAS

3.1 HISTÓRICO E ADEQUAÇÃO DO PROJETO

Durante o período de mestrado do autor, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas - UFSC, foram desenvolvidos uma instrumentação eletrônica e um cabo de faca, com o objetivo de propor laboratorialmente a viabilidade de um sistema embarcado, que não alterasse o peso, o centro de gravidade e as características visuais da ferramenta. Para esta nova abordagem há necessidade de alterações primordiais para se ter êxito nas coletas em campo.

3.1.1 Item 1 – Cabo original da faca

Conforme Anexo A, os cabos das facas de frigoríficos são produzidos a partir de um polímero, o polipropileno (PP) injetado. O polipropileno é uma resina termoplástica, de baixa densidade, de origem do gás propileno que é subproduto da refinação do petróleo.

As lâminas recebem o cabo em PP e no polipropileno é adicionado um produto antibacteriano (Microban®). A injeção do cabo ocorre no processo final de fabricação da faca. Para evitar a formação de folgas ou frestas entre as partes e a retenção de resíduos, além de facilitar a limpeza, o cabo é injetado diretamente sobre a espiga da própria lâmina.

O cabo desenvolvido à época (mestrado) embora tivesse a mesma forma de um cabo utilizado em frigoríficos, pois foi idealizado a partir da digitalização por luz estruturada de um cabo original, não possuía o mesmo material antibacteriano e de certificação, visto que, o objetivo era o desenvolvimento laboratorial da viabilidade de propor um sistema embarcado.

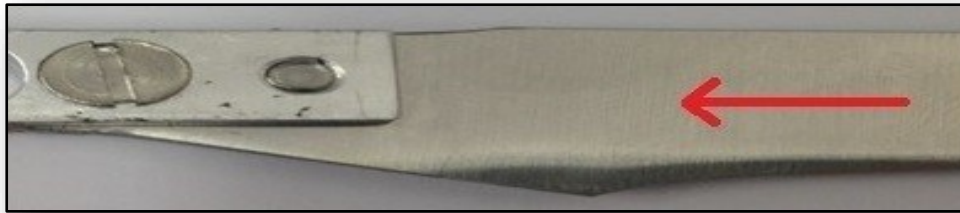
3.1.2 Item 2 – Blindagem térmica da célula de carga (transdutor)

Outro ponto importante e não abordado na dissertação é o isolamento térmico, entre a lâmina metálica e a célula de carga, fator também primordial para utilização da faca no chão de fábrica, onde o contato permanente com peças resfriadas e a variação constante da temperatura sobre a lâmina pode influenciar a estabilidade do transdutor.

Conforme Anexo – C, que explica a composição da estrutura de uma célula de carga e seu funcionamento, cabe entender, também, que as propagações térmicas oriundas da parte externa, por condução, poderão influenciar o sistema de forma negativa, causando imprecisões nas aquisições de dados.

Neste sentido, o ambiente de frigorífico é um local de grande amplitude térmica para a ferramenta faca, visto que, em determinado momento esta ferramenta se encontra cortando uma peça resfriada em baixa temperatura e em seguida pode estar sendo higienizada a mais de 80°C. Sendo assim, a inserção de algum tipo de bloqueio mecânico térmico se apresenta como uma possibilidade de solução para barrar a difusão térmica oriunda da lâmina da faca em direção ao transdutor (Figura 5).

Figura 5 – Sentido da condução térmica entre a lâmina e a célula de carga na estrutura do cabo



Fonte: Adaptado de Tirloni (2016)

3.1.3 Item 3 – Unidade de medida inercial

No que tange a mensuração sobre o movimento espacial, há necessidade de implementar um sensor inercial, que tenha além do acelerômetro já desenvolvido no mestrado, um giroscópio. Com isto os movimentos de rotação (de gravidade zero) serão mensurados.

De acordo com o Anexo – D, atualmente existem módulos inerciais configuráveis, compostos de acelerômetros e giroscópios que atendem funções específicas. Conforme o tipo de aplicação terá uma quantidade de eixos, resposta em frequência, resolução, limite de detecção (sensibilidade), percentual de não linearidade, tipo de polaridade de saída, sensibilidade transversal, imunidade a ruído, tamanho e consumo de energia.

Para captar o movimento realizado pelo trabalhador, que empunha a faca, se faz obrigatório a compreensão dos parâmetros mínimos necessários para que o módulo inercial consiga registrar com fidelidade o movimento. A busca por trabalhos científicos realizados, no que concerne ao movimento dos membros superiores,

apontou o modelo MPU6050 da empresa *Invensense* como possível solução de aplicação. Alguns trabalhos realizados com este módulo:

- “Implementação de uma luva microcontrolada para a captura de gestos” (LONGARETTI, 2015);
- “Interface gráfica para a monitorização biomecânica de tenistas – IGRAFBioTenist” (GOMES, 2015);
- “Sistema para avaliação de desempenho de membros superiores de atletas de natação” (BARDELI JUNIOR, 2016); e
- “Desenvolvimento de um sistema de *biofeedback* para reabilitação de membro superior para pacientes pós acidente vascular cerebral” (FRANCISCO, 2019).

3.1.4 Item 4 – Comunicação e Aplicativo (APP)

Com relação a comunicação de dados sem fio, o sistema proposto na dissertação estava limitado a um receptor específico (casado c/ transmissor), limitando, em muito, as possibilidades de acoplamento com aparelhos móveis, do tipo: smartphones, tablets, entre outros, visto a obrigatoriedade de porta USB para conexão do receptor, por se tratar de um sistema proprietário. O sistema ora sugerido é nativo *Bluetooth/Wi-Fi* podendo ser recebido por qualquer equipamento do tipo *Android*.

Atualmente, três são os Sistemas Operacionais (SO) para dispositivos móveis mais utilizados, *Android da Google*, *IOS da Apple* e *Windows Phone da Microsoft*.

O sistema *Android* é o mais popularizado e que permite maior facilidade de modificações. De acordo com a pesquisa *Nielsen Mobile Retail Index* publicada em 2014, o sistema operacional *Android* estava presente em 91,6% dos aparelhos comercializados no primeiro semestre daquele ano no Brasil. Em segundo lugar o *IOS da Apple* com 2% do *market share*² e o *Windows Phone* com 1,8% dos aparelhos (MOREIRA, 2014).

Um estudo mais recente analisando dados internos de três plataformas de comércio eletrônico, registrou no Brasil, no período entre maio de 2016 e maio de 2017, acessos via o sistema *Android* 79,56%, *IOS* 19,24% e *Windows Phone* 1,15%

²grau de participação de uma empresa no mercado em termos das vendas de um determinado produto.

(E-Commerce Brasil, 2017). Em 2020, no Brasil, o Google em parceria com a consultoria *Bain & Company* revelou que de cada 10 smartphones, 9 utilizam o SO Android (CARDOSO, 2020).

3.1.5 Item 5 – Hardware e Firmware

Para desenvolver uma nova versão da instrumentalização será necessário projetar novo hardware, mais robusto e que possa facilitar a gestão dos periféricos internos e a comunicação externa. Com um microcontrolador de maior velocidade e maior quantidade de portas de comunicação o projeto eletrônico poderá prever a implementação de protocolos de comunicação para uso de rede Wi-Fi ou Bluetooth (Classic ou BLE). A gestão dos módulos eletrônicos internos, como o: carregamento de bateria, central inercial, sensor de temperatura e transdutor de força, também fica facilitada por protocolos do tipo SPI e I²C, implementados em novo algoritmo.

Um novo firmware (software embarcado) será desenvolvido para esta aplicação, em virtude das mudanças na plataforma de processamento de dados com a troca do microcontrolador e a comunicação com os periféricos (memória, módulo de rádio frequência – RF, sistema de gerenciamento de recarga da bateria).

4 MÉTODO

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O enquadramento desta pesquisa pode ser definido nos seguintes aspectos: do ponto de vista da sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigido à solução de problemas específicos (GIL, 2002). Do ponto de vista da forma de abordagem trata-se de uma pesquisa quantitativa que considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las (GIL, 2002). Quanto aos fins é uma pesquisa explicativa, segundo Gil (2007) este tipo de pesquisa preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. No que tange aos meios de investigação é uma pesquisa de campo, sendo a investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo (MORESI, 2003).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo estão apresentados os procedimentos para instrumentalização de facas, que guarda a mesma sequência, por itens, contextualizada no capítulo 3. E o método para validação da coleta de dados em ambiente real da atividade de desossa em frigorífico.

4.2.1 Instrumentalização

4.2.1.1 *Proposta de ações*

Roteiro das ações que visaram implementar robustez às características da ferramenta faca e promover estabilidade e fidelidade nos dados adquiridos (Quadro 2).

Quadro 2 – Roteiro das ações necessárias à viabilidade da ferramenta para uso em campo

Item	Objetivo	Etapa	Atividades
1	Inserir a instrumentação eletrônica no cabo original da faca.	Definir qual modelo de faca (verificar as restrições com relação ao peso, tamanho e força aplicada).	Verificar com o frigorífico qual faca está sendo utilizada no dia a dia.
2	Definir tipo (forma) de bloqueio térmico a ser utilizado entre a lâmina e a célula de carga.	Escolher material e testar possibilidades com relação a resistência mecânica e térmica.	Verificar com o frigorífico qual a temperatura utilizada para higienização das facas (esterilização).
3	Definir qual tipo de sensor para mensuração nos 6 graus de liberdade.	Verificar forma de comunicação com o microcontrolador.	Verificar tempos e movimentos das ações de desossa no frigorífico.
4	Escolher aplicativo para dispositivos móveis (APP) para recebimento e gravação de dados.	Definir formato de dados, quantidade de amostras por segundo e forma de recebimento (identificar tipo de bluetooth).	Verificar e simular <i>modus operandi</i> da futura coleta.
5	Desenvolver novo Hardware e Firmware	Aprimorar os conhecimentos com o sistema de processamento e periféricos.	Implementar código

Fonte: Autor

Duas facas foram instrumentadas, sendo do mesmo modelo, porém com larguras diferentes, uma mais estreita e outra no tamanho original de fábrica. A faca mais estreita foi desbastada pelo próprio setor do frigorífico onde foram coletados os dados, para se assemelhar as utilizadas na linha de produção, quando em meia vida de uso.

As facas foram fornecidas pelo frigorífico, possuem cabos iguais e com diâmetro (perímetro) de 33mm de altura por 27mm de largura. Marca: Mundial e Modelo: 5515-6 (lâmina com 15 cm e cabo com 13 cm de comprimento, e peso de 103 gramas). As facas foram recebidas pelo pesquisador, para inserção da instrumentação, anteriormente às visitas realizadas para coleta de dados.

4.2.1.2 Execução do roteiro das ações necessárias à viabilidade da ferramenta para uso em campo

Item 1 – Proposta de solução para o cabo da faca: utilizar o cabo original para inserir a instrumentação na faca, assegura ao projeto a não propagação de bactérias pelo interior do cabo e garante a originalidade das ranhuras da pega do instrumento.

Considerando a exigência de subtração de material para acessar o interior do cabo é imperativo que se utilize duas facas do mesmo modelo, para obter um cabo com dois lados simétricos. Sendo assim, utilizou-se 4 facas (Figura 6) para se obter duas unidades completas instrumentadas.

Figura 6 – Modelo de facas novas e originais utilizado para o estudo



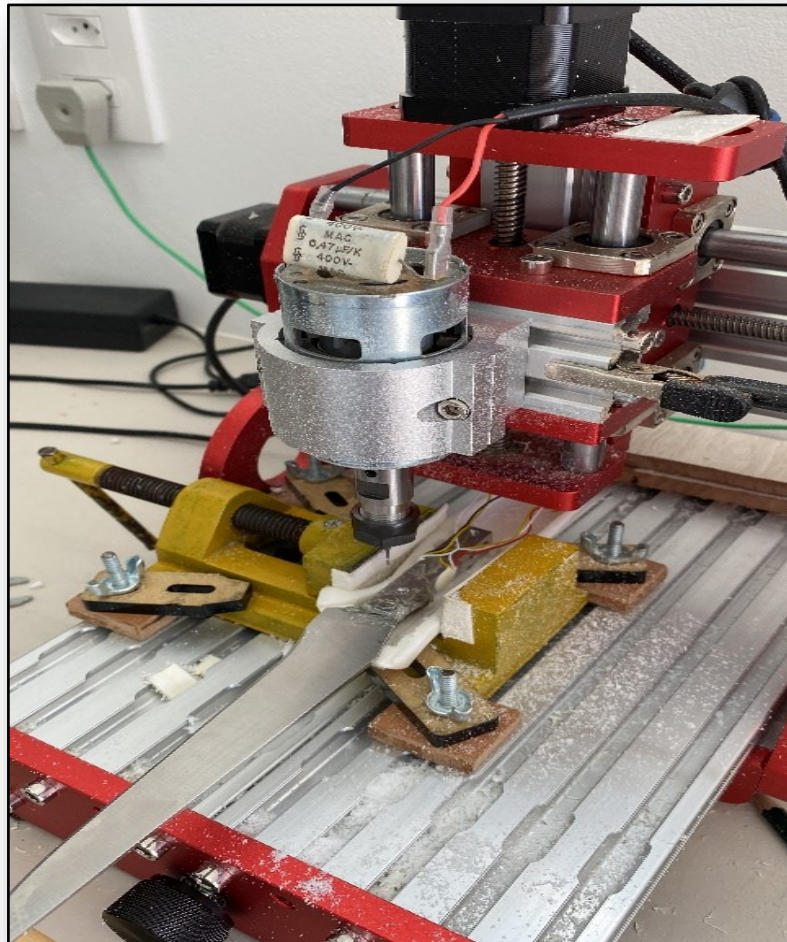
Fonte: Autor

Para inserção da instrumentação no interior do cabo, a retirada do material interno necessita seguir restrições considerando as reentrâncias necessárias para fixação: da célula de carga, da Placa de Circuito Impresso (PCI) de instrumentação, da bateria de alimentação e da bobina do carregamento de bateria por indução.

Considera-se também as espessuras mínimas das paredes, de modo a atender à força máxima de pega, referenciada no Anexo - B. O cumprimento deste requisito pode ser simulado pelo programa *Solidworks Simulation* para o material Polipropileno. Todavia, é imprescindível primeiramente escanear o cabo e atribuir as características do material.

Para permitir a inserção do sólido no interior do cabo, a nuvem de pontos adquirida no escaneamento pode ser manipulada pelos programas computacionais *3DMaxStudio* e *SolidWorks* (TIRLONI, 2016). Com as dimensões definidas do sólido, o volume necessário para a cavidade pode ser exportado em código específico para desbaste em equipamento do tipo Controle Numérico Computadorizada (CNC) ou *Router 3D* (Figura 7).

Figura 7 – Processo de acabamento das bordas do cabo para fechamento

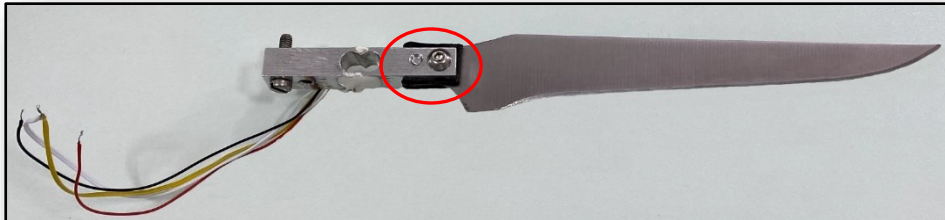


Fonte: Autor

Item 2 – Proposta de solução para bloqueio térmico entre o transdutor e a espiga da lâmina: por se tratar de local com pouquíssimo espaço disponível, o cabo da faca, a possibilidade construída foi a inserção de mancais de politetrafluoretileno (PTFE) entre os parafusos metálicos e a célula de carga, mantendo a resistência mecânica internamente e criando isolamento térmico e elétrico.

Foi inserido também, um material isolante entre a parte interna do garfo do transdutor e as laterais da espiga da haste metálica. O material utilizado foi uma placa com 0,6mm de espessura de poliuretano (PU) com dureza de 80 *Shore A*, conforme sinalizado na Figura 8.

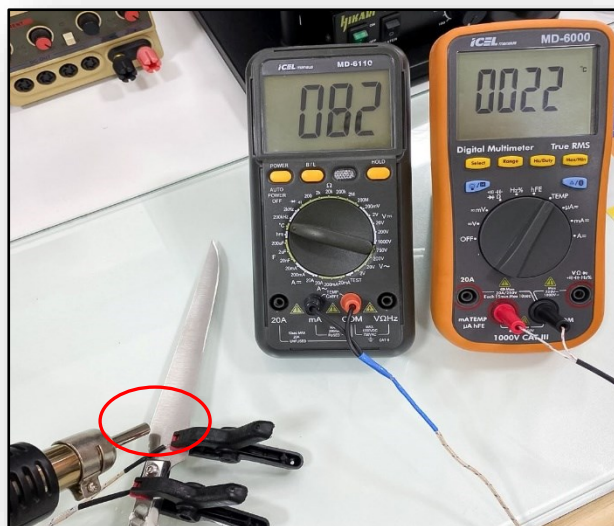
Figura 8 – Material isolante entre a célula de carga e a espiga da lâmina da faca



Fonte: Autor

Nos testes realizados para comprovação do isolamento térmico, a temperatura da lâmina chegou próxima dos 90°C. A Figura 9 apresenta um dos momentos, durante os testes, que o termômetro digital amarelo (direita) registra a temperatura da célula de carga e o termômetro à esquerda marca a temperatura da lâmina. No canto inferior esquerdo, sinalizado na figura, pode-se ver o soprador de ar quente sobre a lâmina.

Figura 9 – Teste de isolamento térmico

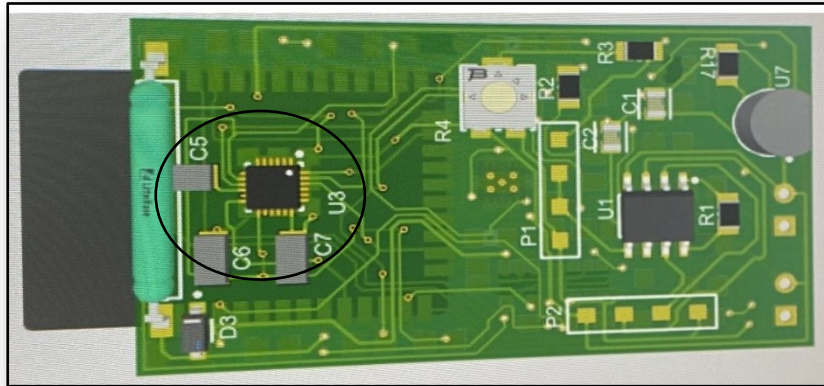


Fonte: Autor

Item 3 – Proposta de solução para captura do movimento com 6 graus de liberdade: para não impactar no projeto de instrumentalização da faca, no que concerne ao peso, tamanho físico, consumo de energia e protocolo de comunicação, identificou-se (Figura 10) o módulo MPU6050 (ou seu sucessor) como possível

solução de mensuração, em virtude de atender as características de desempenho (sensibilidade e resolução) necessárias à aquisição dos movimentos dos membros superiores.

Figura 10 – Placa de circuito impresso com módulo inercial sinalizado

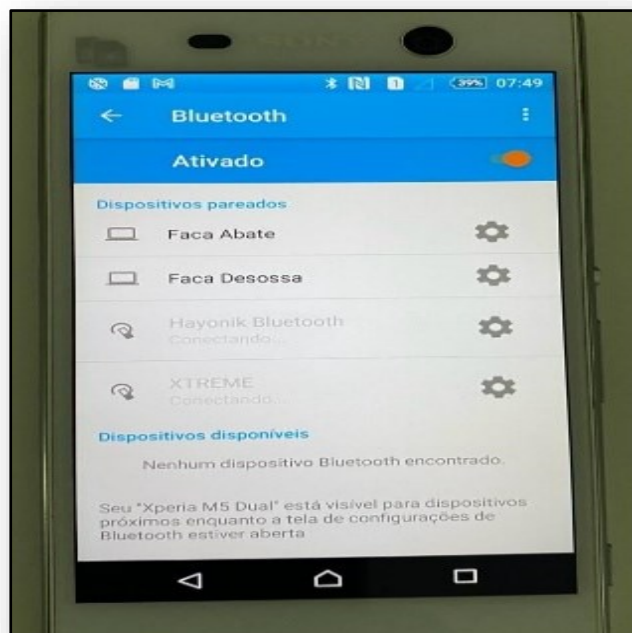


Fonte: Autor

Item 4 – Proposta de solução para o Aplicativo e o Sistema Operacional do receptor de dados: pelo quantitativo de usuários, pela facilidade e a ausência de custos para disponibilização do *APP* em dispositivos móveis compatíveis, se justifica a escolha do sistema operacional *Android* como base para o aplicativo (Figura 11).

O aplicativo escolhido e que atende as possibilidades de captura e salvamento de dados foi o *Serial Bluetooth Terminal 1.45* com acesso pela *Google Play Store*.

Figura 11 – Facas no *smartphone*



Fonte: Autor

Item 5 – Proposta de solução para o Hardware e Firmware: nesta nova versão da instrumentação (Figura 12) foi necessário desenvolver um hardware mais amplo para facilitar a gestão dos periféricos e da comunicação externa. Com o atual projeto eletrônico é possível implementar protocolos de comunicação para uso da rede Wi-Fi ou Bluetooth (Classic ou BLE). A gestão dos módulos eletrônicos internos, como o: carregamento de bateria, central inercial, sensor de temperatura e transdutor de força, também foi facilitada por protocolos do tipo SPI e I²C, implementados em novo algoritmo.

Figura 12 – Facas instrumentadas e prontas para o fechamento do cabo

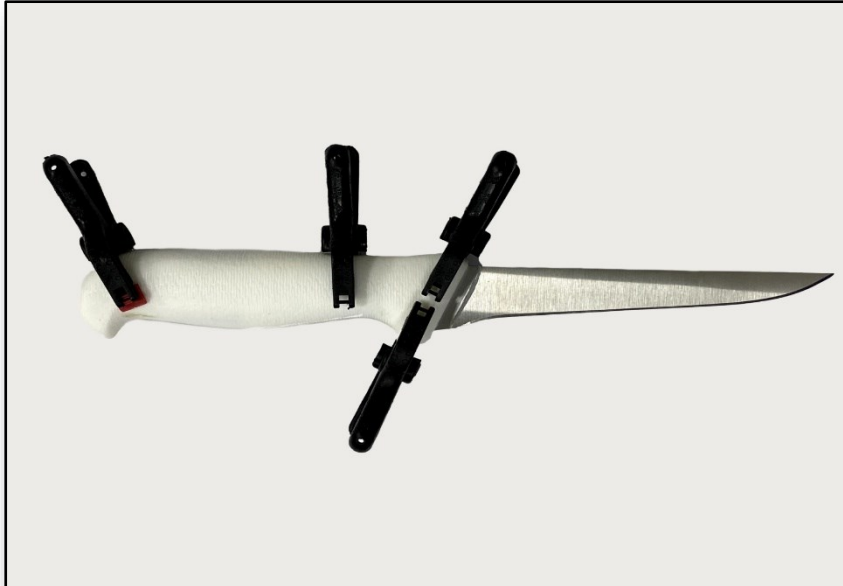


Fonte: Autor

4.2.1.3 Finalização das modificações e testes

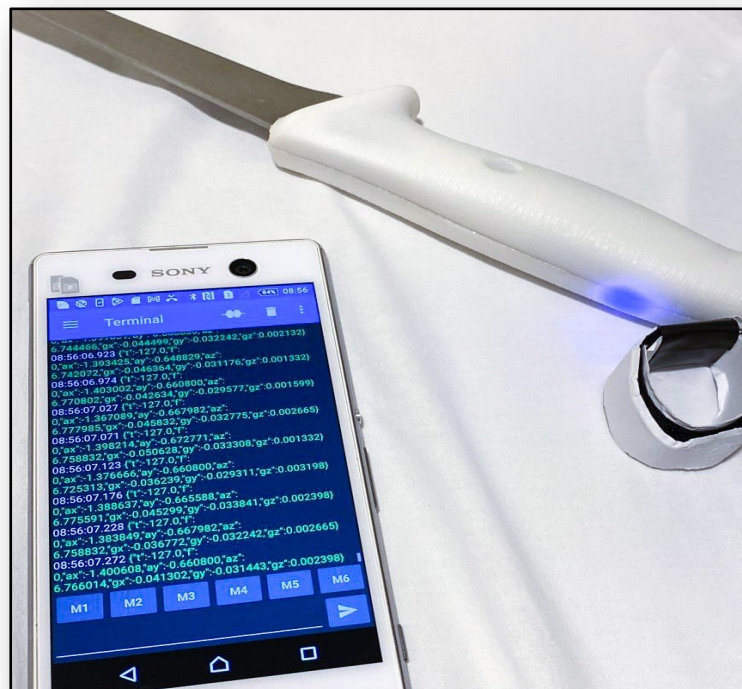
Após realizar todas as alterações necessárias, possíveis de serem vislumbradas com antecedência, apresenta-se nas Figuras 13 e 14 o momento final da sequência do desenvolvimento e teste.

Figura 13 – Cura do fechamento da faca



Fonte: Autor

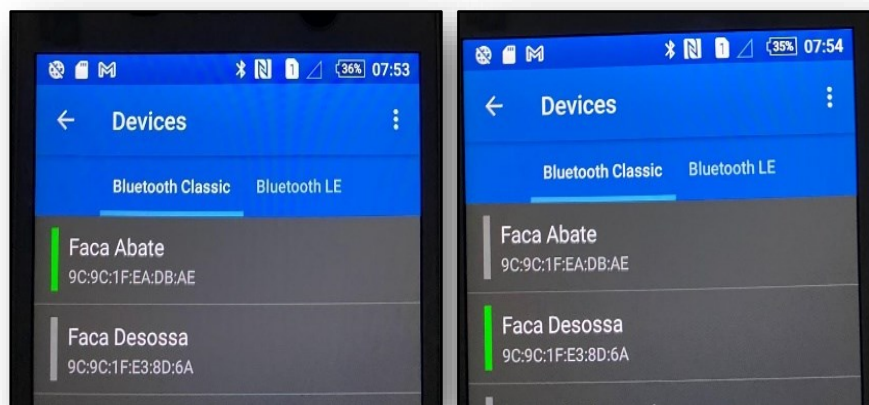
Figura 14 – Conferindo o funcionamento e recepção de dados



Fonte: Autor

As facas foram programadas no firmware como “Faca Abate e Faca Desossa” Figura 15, a título de facilitar a identificação durante o pareamento na coleta de dados. A faca de abate é similar a faca de desossa quando no final da vida útil desta, sendo assim, a faca mais estreita recebeu o rótulo de “Abate” e a mais larga “Desossa”. Todavia, vale frisar que todas as duas facas foram utilizadas na desossa. A pulseira magnética é utilizada para manter a faca desligada e em outros momentos também verificar, via Leds (verde e vermelho), se o sistema de gerenciamento e carregamento de bateria, por indução, está funcionando corretamente.

Figura 15 – Facas reconhecidas e habilitadas no aplicativo de coleta no celular



Fonte: Autor

4.2.1.4 Especificação final da faca

- Marca: Mundial e Modelo: 5515-6 (lâmina com 15 cm e cabo com 13 cm de comprimento, com diâmetro (perímetro) de 3,3 cm de altura por 2,7 cm de largura e peso de 103 gramas (original)).
- Instrumentação eletrônica com microcontrolador, memória, módulo inercial, sensor de temperatura e amplificador de instrumentação (Tirloni – 2016/2023), inserida no interior do cabo com transdutor (célula de carga) de força máxima de 10 Kgf (98,1 N), Resolução de 1g/1g e Firmware 8.1.2.
- Carregamento de bateria por indução magnética.
- Transmissão de dados via RF (Rádio Frequência – Bluetooth, Classe 2: potência máxima de 2,5 mW, alcance de até 10 metros).
- Sensor inercial com 6 graus de liberdade (deslocamento linear e angular para cada um dos 3 eixos) $\pm 500^\circ/\text{seg.}$ para giroscópio e $\pm 4g$ para acelerômetro.

- Sensor de temperatura da haste metálica (lâmina da faca) -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, com índice de repetitividade de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C e $+85^{\circ}\text{C}$.
- Transmissão dos dados a cada 50 milissegundos (20 amostras por segundo), com hora atual: da força aplicada sobre a lâmina, do movimento espacial da faca (com 6 graus de liberdade) e da temperatura da lâmina.
- Peso da faca com instrumentação: 108 gramas
- Condições de uso:
 - Duração da bateria no modo pareado e transmitindo dados = 20 minutos;
 - Duração do carregamento automático de bateria = 40 minutos;
 - Totalmente protegido contra penetração de poeira e protegido contra jatos d'água (IP-65);
 - Protegido contra efeitos elétricos e de temperatura, na espiga metálica.
- Acuracidade de ± 50 gramas (exatidão de $\pm 0,5\%$ de faixa de zero, conforme Apêndice C). Célula de carga que compõem a faca passou por teste de linearidade, conforme Apêndice B.

O Quadro 3 apresenta a seqüência e o formato dos dados brutos enviados pela faca a cada 50 milissegundos. A amostra exemplificada, a seguir, tem o período aproximado total de um segundo de dados distribuídos nesta ordem: tempo decorrido, temperatura, intensidade de força (em 12 bits - 4096), acelerômetro x, y, z (posição) e giroscópio x, y, z (rotacional).

Quadro 3 – Exemplo de dados brutos enviados pela faca durante um segundo

Hora	Min	Seg milisseg	Temp	Força	Posição X	Posição Y	Posição Z	Rotacional X	Rotacional Y	Rotacional Z
9	59	29,557	t	17,1	f	0	ax -0,924162 ay -5,521029 az 2,710236	gx -2,462913 gy 1,385871 gz 0,673084		
9	59	29,599	t	17,1	f	0	ax 1,450886 ay -7,924808 az -7,022193	gx 1,910802 gy -0,261133 gz 2,073344		
9	59	29,651	t	17,1	f	1381	ax 8,267179 ay -5,726931 az -5,576096	gx 4,708658 gy -1,110083 gz 1,468208		
9	59	29,703	t	17,1	f	1232	ax 6,062119 ay -10,85292 az 1,103727	gx 7,133201 gy -2,303568 gz 0,870533		
9	59	29,748	t	17,1	f	665	ax 6,631939 ay -6,665458 az 4,338294	gx 6,506214 gy -2,738701 gz -0,569697		
9	59	29,8	t	17,1	f	189	ax 2,966416 ay -12,0572 az 0,122104	gx 3,954303 gy -1,230524 gz -1,930254		
9	59	29,852	t	17,1	f	883	ax -7,735666 ay -20,18551 az -1,661576	gx 1,999002 gy -1,756521 gz -1,015755		
9	59	29,905	t	17,1	f	625	ax -7,37893 ay -24,28439 az -6,617573	gx 0,158545 gy -0,698398 gz -0,301902		
9	59	29,949	t	17,1	f	0	ax 0,581791 ay -16,52478 az 0,148441	gx -3,359825 gy -0,230757 gz -1,468475		
9	59	30,001	t	17,1	f	0	ax 1,417367 ay -18,60055 az -7,93199	gx -1,498851 gy -0,059421 gz 0,154015		
9	59	30,054	t	17	f	0	ax -11,66455 ay 9,385271 az 7,94875	gx -1,28728 gy -1,174567 gz 4,20238		
9	59	30,1	t	17	f	0	ax -4,252102 ay -7,848193 az -3,811569	gx -1,366153 gy -0,622456 gz 1,528695		
9	59	30,165	t	17	f	0	ax 0,052672 ay -4,458004 az -1,134852	gx -1,484196 gy 0,300836 gz 2,162343		
9	59	30,2	t	17	f	0	ax 3,009511 ay 2,296039 az 0,124498	gx 0,516937 gy -0,157479 gz -0,047697		
9	59	30,253	t	17	f	0	ax 1,620875 ay 4,223372 az 2,980781	gx -0,516404 gy 1,159645 gz 0,782867		
9	59	30,305	t	17	f	507	ax 7,601591 ay -18,48563 az 2,724602	gx 0,349066 gy 0,632315 gz 0,337608		
9	59	30,349	t	17	f	778	ax 7,57286 ay -8,195353 az 12,327744	gx 2,475969 gy 0,331213 gz -3,32785		
9	59	30,401	t	17	f	0	ax -9,471462 ay -27,53332 az 6,426037	gx 5,599442 gy -2,884456 gz 2,02325		
9	59	30,454	t	17	f	0	ax -7,819463 ay -24,83745 az -4,201824	gx 0,815375 gy -0,896113 gz -0,870799		
9	59	30,501	t	17	f	0	ax -8,5473 ay -16,05791 az -2,782062	gx -1,826334 gy 0,621923 gz 1,654466		

Fonte: Autor. Hora; Minuto; Segundos milissegundos; Força (12 bits); Posição (X, Y, Z); Rotação (X, Y, Z)

4.2.1.5 *Tolerância na medição*

Em virtude de não existir a possibilidade de mensurar a força calibrada em todas as partes da aresta de corte, visto que, a faca é uma alavanca interpotente, logo, com Vantagem Mecânica ≤ 1 , sendo assim a maior sensibilidade está próxima ao cabo e a menor na ponta da faca. Como não se sabe qual parte da lâmina é solicitada durante a tarefa de corte, o valor de calibração foi fixado no centro da lâmina e existe uma variação (para este projeto) de $\pm 5\%$ para as extremidades, positiva próxima ao cabo e negativa na ponta da faca. Nos Apêndices C e D estão apresentados a forma de ajuste da plataforma de calibração, por meio de peso padrão e a conferência de calibração da faca.

Obs.: Foi encontrado o percentual de $\pm 5\%$ durante o processo de montagem e testes da célula de carga na espiga da lâmina, sendo linear o comportamento.

4.2.1.6 *Custos do projeto*

Para a instrumentalização de duas facas foram necessárias 20 semanas entre o início do desenho da célula de carga e a calibração final das ferramentas. Este intervalo de tempo é relativo em virtude da disponibilidade: dos materiais e componentes, do acesso aos equipamentos para calibração e testes, bem como, da mão-de-obra na execução dos serviços e do acesso ao laboratório de desenvolvimento. Condensando todo o tempo dispensado sobre o projeto chega-se ao quantitativo de 400 horas de pesquisa e desenvolvimento na fase específica dos protótipos.

Vários foram os tipos de materiais e componentes eletrônicos necessários para a instrumentalização, desde a chapa de alumínio com liga e têmpera específica para o comportamento “mola” do transdutor, até agentes químicos necessários à modificação estrutural do polipropileno (cabo), a título de permitir o uso de adesivo químico de colagem. Muitos foram os detalhes que impactaram no tempo da pesquisa, visto, a tentativa de encontrar as mais variadas soluções a custo acessível. O Quadro 4 apresenta os valores investidos em materiais, componentes, equipamentos, serviços e gastos extras.

Quadro 4 – Síntese do valores aplicados com a instrumentalização

Atividade	Valor aproximado
Materiais e Componentes	R\$ 3.800,00
Serviços terceirizados de mecânica	R\$ 2.800,00
Serviços terceirizados de hardware	R\$ 2.700,00
Serviços terceirizados de firmware	R\$ 3.500,00
Equipamentos específicos para desenvolvimento do projeto	R\$ 14.000,00
Outros gastos (laboratório, licenças de uso, viagens)	R\$ 12.000,00
TOTAL	R\$ 38.300,00

Fonte: Autor

4.2.2 As coletas

4.2.2.1 Ambiente da pesquisa

O ambiente desta pesquisa envolveu frigoríficos, com código nacional de atividade econômica (CNAE) de nº 1012-1/03. A atividade especificada é o abate de suínos. O frigorífico da pesquisa fica localizado no sul do Brasil e contava com aproximadamente 2.030 trabalhadores entre áreas produtivas e administrativas, com volume de abate em torno de 2.740 suínos por dia.

O estudo ocorreu em etapas e no setor de desossa. Após a liberação do acesso, oportunizado pela empresa, foram feitas quatro investidas de coleta de dados em momentos distintos.

As coletas aconteceram no início da jornada de trabalho do frigorífico e os participantes foram selecionados pela técnica de amostragem intencional. Conforme Prodanov e Freitas (2013), consiste em selecionar um subgrupo que possa ser representativo de toda a população. Os trabalhadores foram selecionados de acordo com a atividade que realizavam no setor de desossa suína.

A atividade de desossa de pernil, retirada do osso fêmur, foi escolhida por ser a atividade de maior complexidade e com maior número de trabalhadores. O pernil é a parte traseira do animal, composto de pernil direito e esquerdo. Durante os dias das coletas as partes dos suínos que circulavam nas esteiras pertenciam a animais com

peso bruto total aproximado de 120 Kg e após a extração das vísceras em torno de 80 Kg. A peça de pernil, para desossa, pesava entre 12 Kg e 14 Kg.

A desossa de anqueta também foi coletada, corresponde a retirada do osso anqueta. O osso anqueta também pertence a região do pernil.

Inicialmente foram programados capturar 3 ciclos de desossa por trabalhador, na Figura 16 pode-se visualizar a sala de desossa onde aconteceram as coletas de dados.

Figura 16 – Sala de desossa, com linhas de produção da retirada do osso fêmur, anqueta e suan



Fonte: Autor

4.2.2.2 *Crítérios para selecionamento dos trabalhadores*

Crítérios de inclusão:

- Sexo masculino;
- Realizar a atividade de desossa de pernil;
- Estar na faixa etária de 18 a 50 anos;
- Desejar participar do estudo e assinar o TCLE.

Crítérios de exclusão:

- Sexo feminino;
- Não trabalhar na atividade de desossa de pernil;

Não estar enquadrado na faixa etária determinada;
 Neuropatias Traumáticas;
 Doenças Neurológicas;
 Cirurgia há menos de 12 meses nos membros superiores.

4.2.2.3 Aspectos éticos

Os participantes foram orientados sobre os procedimentos do estudo de acordo com as normas previstas. Todas as informações estavam descritas no Termo de Consentimento Livre Esclarecido – TCLE, relacionado no Apêndice A. O Projeto tem o registro CAAE: 71039923.0.0000.0121. O Número do Parecer: 6.173.427

4.2.2.4 Procedimentos para coleta de dados - Etapa 1 e 2

As etapas 1 e 2 apresentadas no Quadro 5 acontecem simultaneamente, são priorizadas no sentido de não acrescentar nenhuma nova variável ao modo de operação do trabalhador. É possível também, identificar os dois locais distintos onde são realizadas as tarefas.

Quadro 5 – Síntese das ações durante o processo de aquisição de dados nas etapas 1 e 2

Sequência	Atividades	Local	
	Etapa 1	Frigorífico	Laboratório
1	Calibração da faca		X
2	Higienização da faca	X	
3	Seleção das atividades de desossa	X	
4	Afiação e amolação da faca	X	
5	Recepção e salvamento dos dados de um ciclo de atividade	X	
6	Questionamento ao trabalhador sobre a faca utilizada	X	
7	Extração e formatação dos dados		X
8	Conferência da calibração da faca após a coleta		X
	Etapa 2 – Observação e Registro		
1	do ambiente de coleta de dados	X	
2	no comportamento da ferramenta	X	
3	no modo de operação do trabalhador	X	

Fonte: Autor. Obs: as etapas 1 e 2 acontecem simultaneamente.

Etapa 1 – Execução preliminar

1. Calibração da faca – utilizou-se uma célula de carga binocular, com resolução de 50g em 50g, tipo comercial e calibrada com pesos padrão (50 gramas, 100 gramas e 150 gramas). Verificou-se a calibração da faca em três pontos distintos e com a força sendo aplicada na aresta de corte da lâmina (na área limítrofe do cabo, na área central da haste metálica e na ponta da faca), com recepção simultânea dos dados pelo aplicativo, em uma grandeza de 12 bits (4096), ou seja, de 0 a 4095 intervalos. Identificou-se o percentual de diferença existente entre o centro e as extremidades, aferiu-se a diferença entre os três pontos calculando a média. Foram executadas 3 repetições de leitura para cada posição na aresta da lâmina.

Apesar da especificação da faca no item 4.2.1.4 fazer referência a célula de carga para 10 Kgf de valor de pico (projeto eletromecânico), quando associada a eletrônica e ao tipo de alavanca (interpotente) que a faca está submetida, acabam surgindo algumas limitações na amplificação do sinal para manter a linearidade de resposta. Conseqüentemente, as facas quando calibradas para receberem até 3 Kgf de valor máximo, a sensibilidade inicial foi de 50 gramas. Quando em 6 Kgf de força máxima, a sensibilidade inicial subiu para 260 gramas e quando foi calibrada para 8,5 Kgf de máxima força, a sensibilidade inicial ficou em 1,8 Kgf.

Sendo assim, limitações podem surgir, no registro da frequência de corte, se a amplitude de sensibilidade não estiver abarcando todas as intensidades de força que a tarefa solicita.

2. Higienização – a faca foi higienizada na entrada da linha de produção, com sabão líquido e água, os mesmos utilizados pelo trabalhador, na sequência foi aplicado um bactericida de amplo espectro e rápida ação (Biguanida 2%), também disponível na entrada do ambiente laboral.
3. Seleção das atividades de desossa – foram as atividades disponíveis no ambiente de trabalho naquele momento da coleta. A princípio dois tipos de desossa, a de fêmur e a de anqueta.
4. Afição e amolação da faca – as facas instrumentadas são novas e necessitaram apenas de amolação (endireitar o fio) pelo trabalhador, por

meio de chairas (estriada e/ou lisa), anteriormente ao início da atividade de desossa. A chaira estriada é primeiramente utilizada em lâminas que possuem contato frequente com o osso e na sequência utiliza-se a chaira lisa.

Obs: A fabricante Tramontina recomenda que o comprimento da chaira seja 5 cm maior que o comprimento da lâmina.

5. Recepção e salvamento dos dados de um ciclo de atividade – observado o pequeno espaço existente entre os trabalhadores, na linha de produção, houve necessidade de receber os dados por meio de um smartphone (*APP – Serial Bluetooth*). Os dados tiveram o formato de hora, minuto, segundo e milissegundos (HH:mm:ss.SSS) com *buffer size* de 200 KB. As informações foram gravadas em cartão micro-SD, no próprio dispositivo. A cada início do ciclo de atividade de desossa foi solicitado ao aplicativo o enlace de comunicação com a faca, que por sua vez, está sempre aguardando o pareamento com o aparato receptor.
6. Questionamento ao trabalhador sobre a faca utilizada – após utilizar a faca instrumentada o trabalhador foi questionado sobre a percepção no manuseio do novo instrumento. A pergunta: “Percebeu alguma diferença com relação a faca utilizada anteriormente?”.
7. Extração e formatação dos dados – os caracteres estão no formato *txt* (UTF-8) e posteriormente disponibilizados via 4G ou WiFi para o *Drive* do pesquisador. A formatação dos dados aconteceu via planilha eletrônica.
8. Conferência da calibração da faca após a coleta – conferido cada faca, verificado histerese e sensibilidade.

Etapa 2

Os procedimentos apresentados a seguir nortearam as ações durante as quatro visitas e possuíram o enfoque sobre as variáveis do local de coleta de dados, sobre: o ambiente, o manuseador da ferramenta e a própria ferramenta.

Conheceu-se as características que podem interferir na coleta de dados no ambiente de trabalho:

- I. Avaliou-se as características do local que delinearão a sequência das ações e que puderam impactar na coleta de dados. (ambiente e registro geral).
- II. Observou-se o comportamento da faca instrumentada, quando manuseada por diversos trabalhadores e os diferentes modos de operação, com peças de carnes variadas (ponto de vista da instrumentação).
- III. Entendeu-se as limitações para a coleta de dados com relação ao trabalhador (modo de operação).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AS COLETAS

O escopo a seguir foi delineado no item 4.2.2 do método. Foram capturados, ao todo, aproximadamente 140 ciclos de desossa, que tiveram como força máxima 8,1 Kgf e temperatura mínima de 15,2 °C.

Primeira visita

- I. Do ponto de vista geral: os trabalhadores estão no seu fluxo normal laboral, entre uma peça e outra de carne que se movimenta na esteira, o pesquisador entrega a faca instrumentada ao operário. Ele testa a afiação da faca na peça de carne que se aproxima e conforme a sua percepção de esforço, inicia a desossa ou chaira a faca antes de começar a tarefa. Ao iniciar, os movimentos são curtos e rápidos, e de difícil percepção visual do que está sendo cortado. Somente com a filmagem é possível descrever a posição da mão sobre a faca. Os ciclos na desossa de pernil tinham duração de 52 segundos cada.
- II. Do ponto de vista da instrumentação: iniciou-se a coleta com a faca mais estreita, visto ser a mais semelhante das utilizadas na linha de produção, pois a maioria desta bancada estava em meia vida para menos, conforme mostrado na Figura 17. As facas instrumentadas estavam inicialmente calibradas para 3 Kgf ($\pm 0,15$) Kgf, de força máxima e com sensibilidade inicial a partir de 50 gramas. Após iniciar a coleta com o primeiro trabalhador, antes que ele finalizasse o primeiro ciclo, a faca parou de enviar dados. Habilitada a segunda faca (a mais larga) as coletas seguiram normalmente até a aquisição de dados do sexto trabalhador (18 ciclos no total), onde naquele momento o cabo não resistiu a torção da espiga da lâmina e apresentou sinais de abertura entre os dois lados da ferramenta.
- III. Sob a ótica do trabalhador: questionado sobre a percepção da ferramenta, após o uso, foi perguntado: “Percebeu alguma diferença com relação a faca utilizada anteriormente?”, conforme descrito no método, no item 4.2.2.4.

T1 – “Sim, mas não sei dizer se por ser nova, mas senti a faca um pouco mais mole.”

T2 – “Sim, essa faca é melhor de fio, a anterior é mais fina para fazer os contornos e as curvas.”

T3 – “Sim, essa é melhor porque faz o desenho do osso.”

T4 – “Sim, essa é um pouco mais mole e é mais larga.”

T5 – “Sim, ela tem mais corte, mas é muito grossa.”

T6 – “Sim, ela é mais maleável e com a lâmina mais grossa, fio mais fino e corre melhor pelo osso.”

Figura 17 – Processo de desgaste NATURAL da faca pelo uso

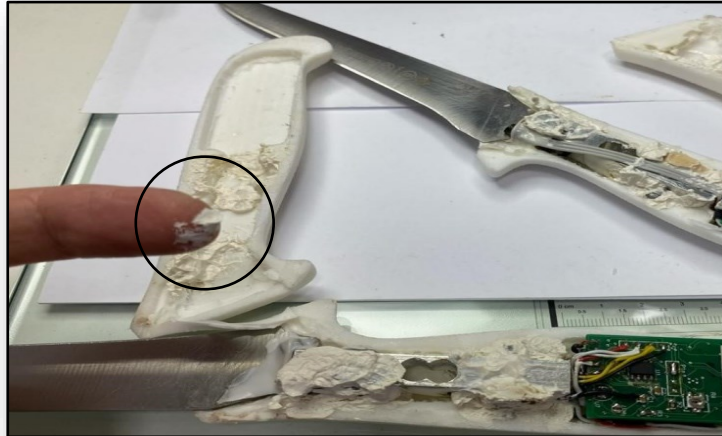


Fonte: Autor

Encerramento da coleta: as duas facas foram recolhidas e retornaram ao laboratório para reanálise e modificações. A faca mais estreita teve um problema no circuito de liga/desliga. Na faca mais larga, a resina utilizada em um segundo estágio de aplicação, não obteve a cura total, conforme sinalizado na Figura 18, por estar em espaço confinado e sem possibilidade de exaustão dos gases, com isto não resistiu aos momentos de torção durante o uso.

As respostas das entrevistas foram utilizadas para direcionar esta etapa da instrumentalização ao desenvolvimento da rigidez do transdutor e do tipo de fulcro no cabo da faca. Houve a necessidade de fabricação de novos transdutores em virtude do rompimento, um durante o uso e o outro no momento da reabertura da faca.

Figura 18 – Resina sem solidificação



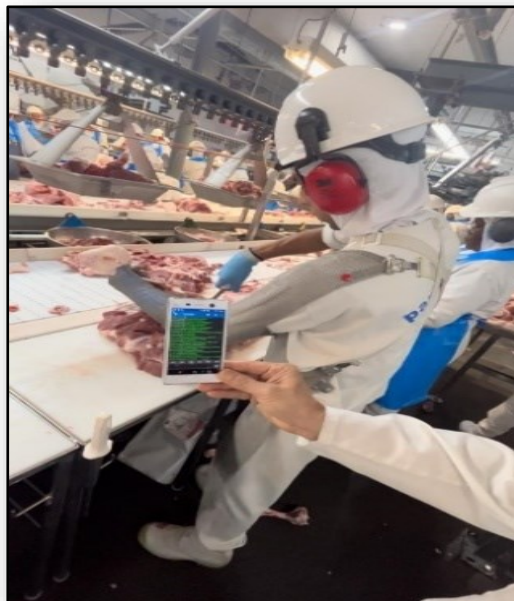
Fonte: Autor

A forma de ancoragem da célula de carga no cabo foi modificada com a inserção de 2 parafusos e cola bicomponente.

Segunda visita

- I. Nesta nova oportunidade foram dispendidos 03 dias de coletas, sendo capturados 20 momentos distintos, 12 com a faca mais larga (36 ciclos) e 08 com a faca mais estreita (24 ciclos). Perfazendo um total de 60 ciclos de captura. Todas as coletas foram filmadas para posterior análise do comportamento da faca e dos dados obtidos (Figura 19).

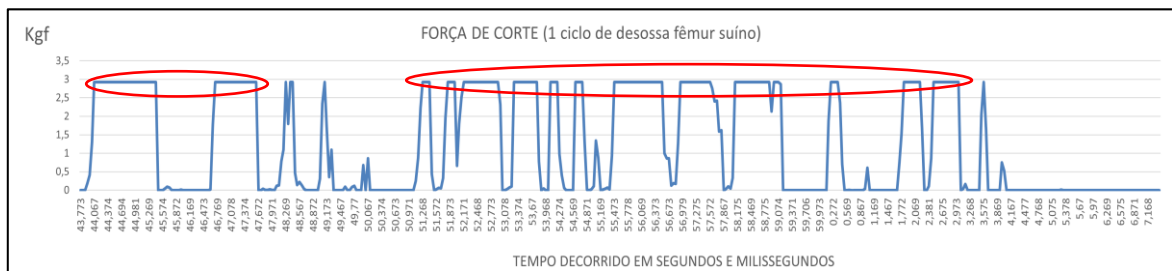
Figura 19 – APP do celular recebendo dados da atividade do trabalhador na linha produção de desossa de pernil suíno



Fonte: Autor

- II. As facas coletaram todos os dados, porém o limite de intensidade de força máxima estava em 3 Kgf (faixa de operação), ou seja, inferior a força exercida pelos trabalhadores, conforme sinalizado na Figura 20. Este parâmetro, inferior ao necessário, se deu em virtude do receio, pelo pesquisador, em detrimento da sensibilidade inicial para registrar os pequenos movimentos, por se tratar de algo inédito.

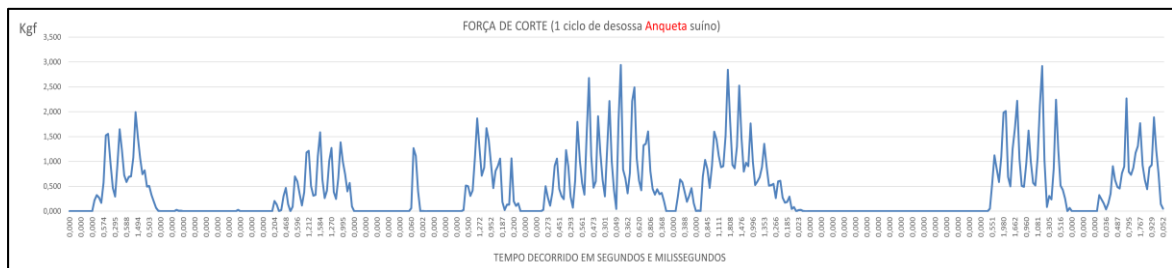
Figura 20 – Gráfico da coleta de força com valores saturados em 3 Kgf, faca larga



Fonte: Autor

Na coleta de desossa de anqueta a força exercida foi menor, logo os valores registrados permaneceram dentro da faixa de calibração da faca (Figura 21).

Figura 21 – Gráfico da coleta de força com todos os valores registrados, faca estreita



Fonte: Autor

- III. Trabalhadores que iniciavam a tarefa com a empunhadura da faca, corretamente, ou seja, com o polegar no botão da faca (Anexo – A), em algum momento do ciclo de corte deslocavam o polegar para o dorso da lâmina, conforme Figura 22, o que pode dar ao trabalhador a percepção de menos esforço despendido, pois diminui o tamanho da alavanca. Todavia, isto diminui a força que o transdutor recebe através da lâmina e registra um valor menor ou nenhum, de força exercida, influenciando diretamente na fidelidade dos dados adquiridos.

Figura 22 – Polegar no dorso da lâmina e mão desencaixada do cabo



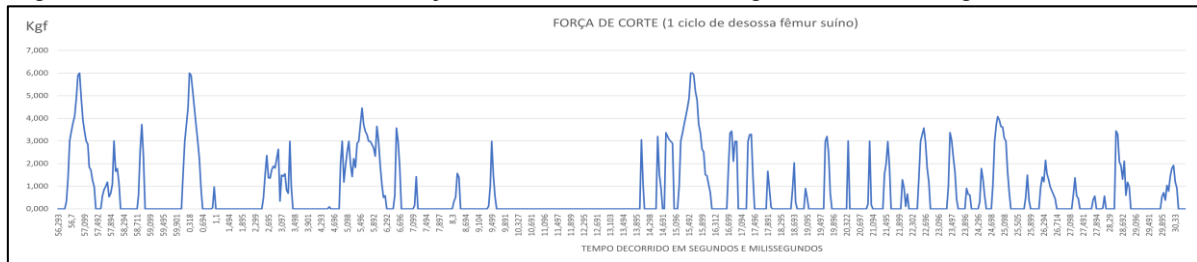
Fonte: Autor

Encerramento da coleta: as facas foram revisadas e testadas no laboratório, após a coleta, para tentar identificar possíveis desvios no padrão de captura dos dados. Não houve modificação no comportamento das facas, tanto do transdutor (sensibilidade e histerese), quanto do hardware (carregamento de bateria, sistema de liga/desliga, sinalização dos leds, integridade dos dados). As facas foram recalibradas para o dobro de registro da força máxima anterior, que era de 3 Kgf e agora passou para 6 Kgf. Este parâmetro foi adotado em virtude da saturação das forças no final de cada ação de corte.

Terceira visita

- I. Nesta terceira abordagem, em 02 dias de coletas, foram registrados 16 trabalhadores com a faca mais larga e executando 3 ciclos cada (48 ciclos no total). A faca mais estreita não foi utilizada devido instabilidade no sistema de carregamento de bateria, apresentado momentos antes da coleta.
- II. A força máxima de registro estava calibrada para 6 Kgf ($\pm 0,3$) Kgf. De acordo com a Figura 23 pode-se observar todos os valores registrados dentro da amplitude disponível (0 a 6 Kgf).

Figura 23 – Gráfico da coleta de força com todos os valores registrados, faca larga



Fonte: Autor

No entanto, outras coletas ainda saturaram o limite máximo de calibração da faca (Figura 24), logo, ter dobrado a amplitude de recepção da força máxima ainda não foi suficiente para registrar todas as forças dos trabalhadores.

Figura 24 – Gráfico da coleta de força com valor, em algum momento, saturado em 6 Kg, faca larga



Fonte: Autor

- III. Na entrega da faca ao trabalhador foi solicitado que ele não colocasse o polegar adiante do cabo. Todavia analisando os dados gerados pela faca e os vídeos foi possível confirmar a existência, em alguns momentos, do polegar sobre o dorso da lâmina. Ainda na análise do vídeo e posteriormente confirmando, *in loco* em outra coleta, constatou-se que o polegar só vai para a posição sobre o dorso da lâmina quando o movimento é de afastamento da mão em relação ao corpo do trabalhador, provavelmente indicando maior eficácia no corte.

Encerramento da coleta: as facas foram revisadas e testadas no laboratório, não houve modificação no comportamento da faca mais larga, tanto do transdutor (sensibilidade e histerese), quanto do hardware (carregamento de bateria, sistema de liga/desliga, sinalização dos leds, integridade dos dados).

A faca mais estreita, visto a instabilidade no carregamento de bateria, já mencionada anteriormente, passou por ajustes e voltou a funcionar.

Para a próxima visita foi planejado a captura total das forças máximas dos trabalhadores da atividade de desossa de pernil, no entanto, na tentativa de aumentar a faixa de força coletada, durante o processo de calibração da faca mais larga, os extensômetros que compõem o transdutor célula de carga não resistiram a força máxima de 10 Kgf e romperam, deixando a faca inutilizada.

A faca mais estreita foi calibrada para 8,5 Kgf ($\pm 0,42$) Kgf, a maior faixa possível de registro, considerando o projeto (mecânico e eletrônico) da instrumentação e sacrificando a sensibilidade inicial da ferramenta para 1,8 kgf.

Quarta visita

- I. Nesta última abordagem, em 1 período de coleta, foram registrados 11 trabalhadores, com 1 ciclo de cada e com a faca mais estreita (11 ciclos no total).
- II. Com a sensibilidade inicial reduzida, mesmo assim foi possível mensurar todas as forças máximas das desossas de fêmur executadas por 11 trabalhadores. Conforme pode ser visto no Quadro 6.
- III. Na entrega da faca ao trabalhador foi solicitado, novamente, que ele não colocasse o polegar adiante do cabo.

Encerramento da coleta: para os trabalhadores, a faca mais estreita tinha maior semelhança com a faca utilizada no dia a dia, no que concerne a largura da lâmina, visto que, a maioria das facas da linha de produção estavam além da meia vida. A faca foi revisada e testada no laboratório após a coleta de dados. Não houve modificação no comportamento da faca em relação a sua calibração antes da coleta.

Quadro 6 – Forças máximas na desossa

Trabalhador	Força Máxima em Kgf
1	6,9
2	6,5
3	7,7
4	5,7
5	6,5
6	8,1
7	6,9
8	6,6
9	6,3
10	7,4
11	6,3
Média de força máxima (Kgf)	
6,8	

Fonte: Autor

5.2 ANÁLISE DAS FILMAGENS E OS DADOS DA FACA

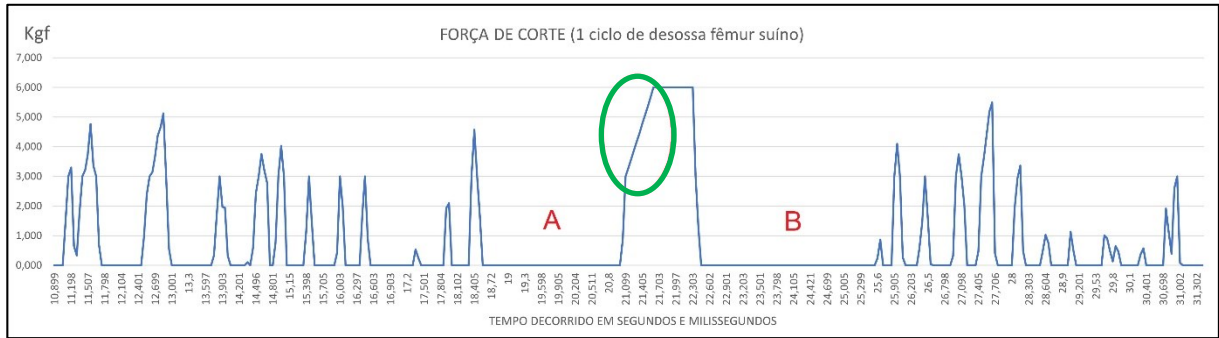
Na sequência apresenta-se a importância da associação dos dados adquiridos com as imagens registradas, para identificar as variáveis que estão atuando no momento da coleta.

Ao analisar a Figura 25, constatou-se que no primeiro intervalo “A” não houve força adquirida pela faca instrumentada, pois nesse momento o trabalhador estava realizando a ação técnica de virar a peça de pernil na bancada.

No mesmo ciclo de análise, verificou-se que a inserção total da faca no pernil, durante o movimento de corte, foi responsável pela diminuição da velocidade no aumento da intensidade de força (círculo verde).

O próximo intervalo “B” não existe na prática, visto que neste momento, no vídeo, se observam dois movimentos de corte. Nesta hora é possível notar, de acordo com a imagem na Figura 26, no círculo preto, 1/3 da parte do cabo não coberta pela mão, o que denota a mão do trabalhador bem adiantada em direção a lâmina e no círculo vermelho, o trabalhador apoiar o polegar sobre o dorso da lâmina, com isto anulando a força sobre o transdutor.

Figura 25 – Momento de menor velocidade no aumento da força, faca larga



Fonte: Autor

Figura 26 – Uso incorreto da faca e a anulação da força aplicada ao cabo



Fonte: Autor

Este momento de associação entre o vídeo e os dados gerados pela faca é importante para elucidar qualquer dúvida sobre a aquisição da intensidade de força pelo instrumento, esclarecendo que, qualquer solicitação sobre a lâmina está sendo registrada desde que não se tenha nenhuma interferência pelo usuário e que a faca esteja calibrada com sensibilidade para toda a amplitude de forças demandadas pelo trabalhador.

Obs: a indisponibilidade de um sistema operacional sendo executado no firmware da faca dificulta as alterações de capacidades que poderiam estar sendo feitas via software (aplicativo).

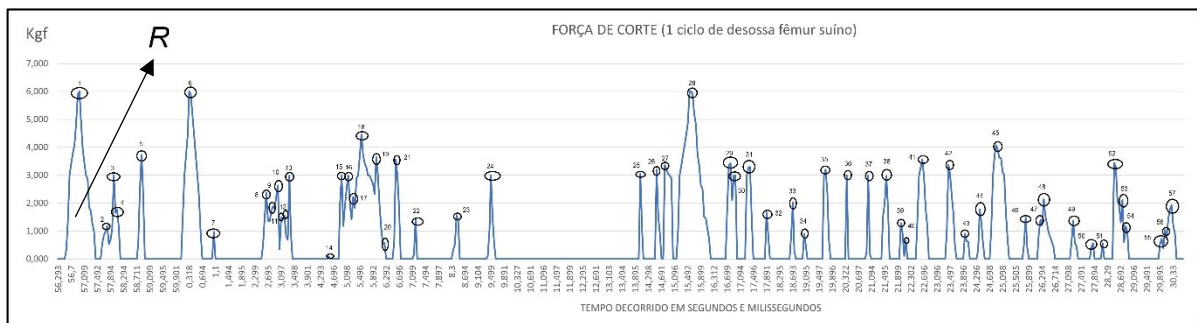
5.3 AS POSSIBILIDADES DOS DADOS NA ANÁLISE ERGONÔMICA

Apresenta-se as possibilidades com a ferramenta manual para coleta de dados na análise ergonômica:

Observa-se nos dados adquiridos, de acordo com as Figuras 21 e 23, que a força exercida para desossa de anqueta é bem inferior à solicitada para desossa do osso fêmur, respectivamente, o que possibilitaria a seleção de trabalhadores com menor força física para executar esta tarefa.

Com os dados da faca é possível saber a frequência de corte de cada ciclo, bem como a força total exercida durante a atividade.

Figura 27 – Valores de intensidade de força e frequência das ações de corte, faca larga



Fonte: Autor

Conforme o gráfico na Figura 27 pode-se observar todos os momentos em que aconteceu algum dispêndio de força do trabalhador com relação a mão da faca.

Foram 57 ações de corte em um ciclo ativo com duração de 34,3 segundos. Embora o objetivo deste trabalho seja analisar e apresentar as possibilidades da ferramenta, sabe-se, que as 57 ações de corte em apenas 34,3 segundos estão muito acima do que preconiza publicações, como a de Kilbom (1994), na sua metapesquisa de estudos existentes, o qual, concluiu que a quantidade de 25 a 33 movimentos por minuto não deveria ser extrapolado quando se deseja evitar danos para os tendões, ou ainda em Couto (2006), com 15 mil movimentos por jornada (31 por minuto).

Ainda analisando a Figura 27, somando-se todos os picos de força dos momentos de corte (círculos no gráfico) tem-se um total de 144,4 Kgf de força exercida no ciclo. Caso calculássemos, para o exemplo da Figura 27, a integral da área da força despendida, ou seja, área interna do gráfico ($F(y)$) menos a área externa ($G(y)$), teríamos o valor total da força (área R no gráfico), conforme equação (2) e não apenas

o pico, embora apenas o somatório dos picos de força já nos sugere um valor expressivo de esforço.

$$R = \int_0^6 (fy - gy) dy \text{ sendo: } f \geq g \quad \forall y \in [0,6] \quad (2)$$

Outra possibilidade é conhecer o tempo total, em um ciclo de desossa, em que o trabalhador esteja executando alguma força. No exemplo da Figura 27 o tempo foi de 14,3 segundos para um ciclo com duração de 34,3 segundos (41,7%). O que nos dá uma noção de esforço gasto quando comparado 144,4 Kgf despendidos em menos de 15 segundos, somente com a mão da faca.

Com estes quantitativos e o tempo de duração da jornada líquida de trabalho é possível obter o valor total da força despendida por este trabalhador em um turno. Apenas a título de ilustração, se um trabalhador tem sua jornada líquida de 438 minutos e dispende 166,2 Kgf por minuto na desossa de pernil, totaliza aproximadamente 72,8 toneladas de força exercida com a mão da faca.

Com relação ao valor médio de 6,8 Kgf, das forças máximas adquiridas entre os 11 trabalhadores na quarta visita, é um valor que orbita aos achados na busca do estado da arte com os pesquisadores, Pontonnier et al. (2014) com 67 N (6,83 Kgf) e McGorry et al. (2004a) com 55,5 N (5,66 Kgf).

Embora as intensidades de força sejam similares aos achados, no entanto, é fato que cada tipo de atividade desenvolvida no frigorífico e cada espécie animal (aves, suínos, bovinos, entre outros) necessita o dispêndio de força específica e diferenciada. No estudo de Juul-Kristensen et al. em 2002, com frangos, às forças de corte estimadas durante a desossa manual foram de 6,25 N (0,6 Kgf) e 20,71 N (2,1 Kgf), níveis médio e de pico.

Todavia a ferramenta aqui proposta não tem o objetivo, apenas de mensurar forças e frequências para pesquisa científica, mas também, fomentar para que este instrumento seja um agente presente na linha de produção. Em resposta à pergunta de pesquisa formulada na introdução deste trabalho: “Como a faca instrumentada elaborada neste estudo pode contribuir na análise biomecânica com trabalhadores que utilizam essa ferramenta em frigoríficos?”.

Três são as possibilidades imediatas:

- mapear as forças necessárias para cada tipo de atividade desenvolvida e com isto permitir a equalização da distribuição das tarefas em função do biotipo do trabalhador, uma vez que a partir do mapeamento se sabe qual tipo de tarefa necessita maior ou menor esforço.
- encontrar a forma mais eficiente de executar cada tarefa, no caso, identificando o trabalhador que executa menos esforço físico (menos força exercida) com o menor número de AT (baixa frequência de corte), assim possibilitando a partir desta identificação, a criação de um modelo para treinamento dos trabalhadores, resultando na uniformização da execução das tarefas (nas ações de corte e do ciclo).
- identificar a necessidade de nova afiação da ferramenta por meio da quantidade de peças de carnes trabalhadas, em virtude da identificação de um padrão no aumento da solicitação de força de corte, em conjunto com a padronização no processo de afiação.

Todas essas questões são possibilidades tangíveis para a ferramenta de coleta de dados biomecânicos que aqui se apresenta e que podem alterar significativamente a gestão do ambiente de trabalho, com isto, agregando valor positivo nas ações de bem-estar e saúde do trabalhador, e eficiência no ambiente laboral.

A temperatura da lâmina e os movimentos em seis graus de liberdade também foram variáveis registradas. Com relação a temperatura, o menor valor anotado nas quatro visitas efetuadas no frigorífico foi de 15,2 °C. Como a lâmina da faca não fica em contato todo o tempo com a peça de carne, a temperatura registrada acaba sendo, em grande parte, uma média entre o ar que circula no ambiente e a temperatura das peças resfriadas, visto que, a mão do trabalhador que segura a faca está envolta por luvas e o cabo da faca é de material antitérmico, logo, não interferindo na propagação de calor à lâmina.

A mensuração da temperatura da lâmina, embora não seja um dado biomecânico, é uma variável importante a ser considerada quando associada a maior ou menor facilidade em cortar o produto, visto ser inversamente proporcional a intensidade de força de corte que o trabalhador necessita despende. Todavia, ainda é imperativo difundir a mensuração da força como primeira variável a ser trabalhada nos frigoríficos.

Central inercial: no que tange aos movimentos executados pela mão que empunha a faca, a ideia inicial era associar a posição espacial das ações de flexão/extensão, adução/abdução de punho e pronação/supinação do antebraço, com os seis graus de liberdade registrados pela faca $(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z)$ e com isto identificar o grupo muscular atuante.

Os dados da orientação espacial registrada pela faca são fornecidos no formato de 16 bits (2 registradores de 8 bits), portanto necessitam de referência e conversão para um sistema de coordenadas tridimensionais e ortogonais entre si.

Cabe aqui um parêntese para entender como esta representação pode ser feita, visto que, existem diferentes formas de representar a rotação e a orientação espacial.

A representação comumente utilizada é por meio dos ângulos de rotação em eixos cartesianos, que estão geralmente associados ao sistema de referências do ambiente, e os eixos representam a vertical e as horizontais.

No entanto para o corpo humano, devido ao movimento de cada articulação, é necessário utilizar como referência o segmento corporal e não o eixo vertical. Sendo assim, ao se rotacionar um destes sistemas coordenados em relação a outro que se mantém fixo, podem ser definidos até 3 ângulos entre os eixos destes sistemas. Estes ângulos recebem o nome de Ângulos de Euler, conforme divulgado por Pio (1966), são vastamente utilizados para o estudo da cinemática e dinâmica de corpos rígidos.

Os ângulos de Euler são mais apropriados para representar a rotação de cada articulação, todavia os ângulos de Euler são afetados pela ordem das rotações em cada eixo e diferentes ordens de rotação geram diferentes posições finais. Outra restrição é a perda de um grau de liberdade quando dois dos três eixos estão em paralelo, limitando a identificação a um espaço bidimensional, o que é chamado de “*Gimbal Lock* dos ângulos”.

Uma alternativa seria a utilização do quatérnio “ q ”, com o emprego de graus na parte escalar e coordenadas esféricas para a parte vetorial, apresentado na equação (3).

$$q = w + q_1i + q_2j + q_3k \quad (3)$$

Conforme Santiago (2009), a utilização dos quatérnios para descrever os movimentos de rotação de uma articulação humana é a forma mais próxima do que

realmente acontece, com isto, é possível utilizar os quatérnions para comparar os padrões de movimentos em diversas atividades humanas, uma vez que são mais sensíveis para detectar pequenos movimentos de rotação.

Contudo, no movimento com a faca empunhada existe uma ação composta de vários segmentos do corpo do trabalhador, o que necessitaria também da varredura da posição do braço e antebraço, bem como o sincronismo de dados entre esses sensores externos, localizados nos membros superiores, e os dados enviados pela faca.

O ambiente laboral de frigorífico é extremamente complexo para fixação de algum equipamento ao corpo do trabalhador, principalmente, em se tratando de identificadores de posição espacial, onde o ponto de referência deve-se manter intacto durante a coleta de dados. O trabalhador utiliza várias camadas de proteção, luvas antitérmicas, nitrílicas e anticortes com malha de aço de punho longo, que se estende até o ombro. Junta-se a isto, um ambiente de pouquíssimo espaço entre os trabalhadores durante o manuseio da faca e a necessidade de higienização de todo o ferramental que é inserido naquele local. Sendo assim esta parte de associação dos dados com o corpo humano, em campo, ainda carece de outras análises futuras.

Entretanto, é possível associar o início (F_i) e o fim (F_f) de cada força de corte com a posição espacial ($a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z$), atualmente disponível nos dados da faca. Com isso, desenvolveu-se uma expressão (4) que representa a variabilidade de postura da mão (S) entre as mesmas ações de corte (A_c), de diferentes ciclos (C), do mesmo trabalhador (T_b).

$$S \Rightarrow \begin{bmatrix} T_{b1}; A_{c1}; C_1 = [F_i(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z); F_f(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z)] \\ T_{b1}; A_{c1}; C_2 = [F_i(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z); F_f(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z)] \\ T_{b1}; A_{c1}; C_3 = [F_i(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z); F_f(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z)] \\ \vdots \\ T_{b1}; A_{c1}; C_n = [F_i(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z); F_f(a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z)] \end{bmatrix} \quad (4)$$

Fonte: Autor. *Trabalhador* (T_b); *Ação corte* (A_c); *Ciclo* (C_n); *Força inicial* (F_i); *Força final* (F_f); *Posição espacial* ($a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z$)

Sabendo-se que “ A_c ” está limitado ao número de ações de corte que uma peça de carne necessita ter para ser comercializada e “ C_n ” restrito ao tamanho da amostra de ciclos coletados, pode-se futuramente associar essa variabilidade de postura da mão na contribuição do desenvolvimento ou não de DORT. Isso poderia resultar em

um modelo de treinamento que considera prioritariamente o bem-estar do trabalhador, inclusive agregando outras variáveis já difundidas neste trabalho, como a força total de ciclo e a frequência de corte.

6 CONCLUSÃO

Propor uma ferramenta de aquisição de dados igual a utilizada no dia a dia do trabalhador, utilizando as atividades de desossa para identificar o comportamento da instrumentalização, complementando com entrevistas e posteriormente avaliando os dados adquiridos por meio da comparação entre duas facas instrumentadas e os vídeos gravados foi o tema a ser perseguido neste desenvolvimento.

As entrevistas registradas inicialmente com os trabalhadores apontaram características importantes e que foram consideradas durante o processo da coleta/instrumentalização/coleta, traduzidas para o ambiente de desenvolvimento como a rigidez do transdutor e o tipo de fulcro no cabo da faca. Essas entrevistas foram realizadas apenas durante a primeira visita ao frigorífico, a título de nortear o pesquisador sobre a percepção do trabalhador na relação com a faca instrumentada.

O registro da coleta por vídeo contribuiu na identificação dos movimentos executados pela faca e do posicionamento da mão do trabalhador, com isto auxiliando o pesquisador na identificação de variáveis que podem estar interferindo na aquisição de dados e na definição de limites mínimos de sensibilidade, resolução e força máxima.

A instrumentalização de duas facas foi fundamental para poder comparar, ainda em laboratório, possíveis diferenças de hardware, de resistência mecânica, de calibração, blindagem térmica e impermeabilização, e posteriormente em campo, recolher dados que possibilitaram a checagem entre ambas e legitimar os dados encontrados.

Os dados de intensidade e frequência de força foram os pontos mais críticos a serem trabalhados. Alguns detalhes necessitam melhoras, a utilização de um sistema operacional como *firmware* é um deles. Ter a possibilidade de alterar as configurações eletrônicas da faca via software, durante as coletas, é de extremo valor para o pesquisador em campo. Embora a intensidade de força possa ser registrada em qualquer momento da atividade, há necessidade de entender qual a amplitude de força que a tarefa desenvolvida requer de sensibilidade mínima e máxima.

Outra questão que gerou preocupação surgiu durante a primeira coleta de dados com os trabalhadores. Devido aos impactos mecânicos e de torção da lâmina entre os ossos, durante a desossa das peças de carne, o cabo apresentou sinais de abertura indicando que a fixação do transdutor de força, que ancora a espiga da

lâmina, estava se desprendendo do conjunto. Este incidente comprometeu a integridade física da faca ocasionando danos ao dispositivo. A situação foi enfrentada por meio da remontagem do equipamento com dois novos transdutores, que precisaram ser fabricados. Isso implicou em novas visitas ao frigorífico e coletas adicionais precisaram ser realizadas.

Esta ocorrência destacou a importância da robustez e da durabilidade dos equipamentos utilizados em ambientes laborais críticos, como é o caso dos frigoríficos. A necessidade de substituição dos transdutores e dos custos associados também ressaltam a complexidade da implementação de tecnologias de medição em ambientes reais de trabalho, onde condições adversas podem impactar diretamente na eficácia e na continuidade das coletas de dados. Essa experiência ressalta a importância de realizar testes exaustivos e de garantir que as ferramentas instrumentadas sejam robustas.

O ineditismo do pacote de dados apresentado neste trabalho, com a frequência de corte e intensidade de força de corte, com a temperatura e os movimentos em três dimensões, permite uma análise científica única e exclusiva para as demandas que se apresentam no dia a dia em abatedouros e frigoríficos.

No campo da comunidade científica outras teses são factíveis com o uso desta ferramenta para novas descobertas. Saber quanto de força de corte, um trabalhador executou no final da sua jornada de trabalho, quantos movimentos de corte por ciclo, quanto de força mínima e ações de corte cada tarefa necessita, quais e quantos são os modos diferentes de operação pelos trabalhadores, permite um olhar diferenciado sobre a forma de gestão das demandas nos frigoríficos.

Uma ferramenta pode e deve ser desenvolvida para este fim. Uma faca com maior alcance no registro da intensidade de força e que possa servir para o empregador descobrir qual a forma eficiente de executar o serviço de desossa, treinar os trabalhadores em estágio de experiência e distribuir melhor os biotipos para cada tipo de tarefa, definindo qual trabalhador tem as características apropriadas em relação a força solicitada para execução do trabalho.

As possibilidades inéditas aqui apresentadas, com dados quantitativos, permitirão em um futuro não longe a revisão de regras e normas para um novo cenário laboral.

REFERÊNCIAS

ACAR, C. e SHKEL, A.M. Experimental evaluation and comparative analysis of commercial variable-capacitance MEMS accelerometers. **Journal of Micromechanics and Microengineering**. Institute of Physics Pub., v.13, pp. 634-645, 2003.

ARAÚJO, G. M. Normas regulamentadoras comentadas e ilustradas: legislação de segurança e saúde no trabalho. Giovanni Moraes Araújo: Virtual, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC) (Brasil). **Beef report 2023**. Perfil da Pecuária no Brasil. 2023. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/catpub/impressos/>>. Acesso em: 18 junho 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14280**: (ABNT, 2001) cadastro de acidente do trabalho - Procedimento e classificação. Rio de Janeiro – RJ, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2014). **NBR ISO 11228-3** Ergonomia – Movimentação Manual – Parte 3: Movimentação e cargas leves e alta frequência de repetição. Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUÇÃO ANIMAL (ABPA) (Brasil). **Relatório Anual 2023**. 2023. Disponível em: <[https:// https://abpa-br.org/mercados/#relatorios](https://abpa-br.org/mercados/#relatorios)>. Acesso em: 17 julho 2023.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA (IEA). Definition and Applications. 2020. Disponível em: <https://iea.cc> . Acesso em: 17 março 2023.

BARDELI JUNIOR, E., COELHO, L. D. S., FREIRE, R. Z., DIOGO, R. A. Sistema para avaliação de desempenho de membros superiores de atletas de natação. XXI Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2016.

Disponível em:

<https://plataforma.swge.com.br/PROCEEDINGS/PDF/CBA20160760.pdf> . Acesso em: 16 outubro 2020.

BEEBY, S., ENSELL, G., KRAFT, M. e WHITE, N. **MEMS mechanical sensors**. Artech House, Inc, 2004.

BORG, G. Escalas de Borg para a dor e esforço percebido. Manole: São Paulo, 2000.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NR-36**: (ABNT, 2013) Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência - MTP. **NR-17 – ERGONOMIA**. 2021. Disponível em:

https://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria_mtp_423_2021.htm>. Acesso em: 18 julho 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Portaria MTE n. 555, de 18 de abril de 2013. Norma Regulamentadora 36. Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados**. 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-36-atualizada-2022.pdf>>. Acesso em: 01 abril 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Microdados RAIS e CAGED**. 2023. Disponível em: <<https://bi.mte.gov.br/bgcaged/login.php>>. Acesso em: 16 junho 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação da Norma Regulamentadora nº 36: Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados. Brasília – DF (2017). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacaosocial/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr36_manual_nr_36_compilado.pdf> Acesso em: 25 de junho de 2023..

BRUSAMARELLO, V. **Células de Carga**. UFRGS. 2009. Disponível em: <<https://chasqueweb.ufrgs.br/~valner.brusamarello/eleinst/ufrgs7.pdf>>.

CARDOSO, B., 9 em cada 10 brasileiros usam celular Android, diz relatório do Google. **Techtudo**. 2020. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/09/9-em-cada-10-brasileiros-usam-celular-android-diz-relatorio-do-google.ghtml>. Acesso em: 4 outubro 2022.

CHENG, C. C.; SHIH, Y. C.; TSAI, Y. J.; CHI, C. F. The influence of cooling forearm/hand and gender on estimation of handgrip strength. *Ergonomics*, 57, n. 10, p. 1499-1511, 2014.

CHOWDHURY, S. K. et al. Discrete wavelet transform analysis of surface electromyography for the fatigue assessment of neck and shoulder muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Elsevier, v. 23, n. 5, p. 995-1003, 2013.

DEMPSEY PG, MCGORRY RW. Investigation of a Pork Shoulder Deboning Operation. *J Occup Environ Hyg*. 2004; 1:167-72.

DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES. National Heart, Lung, and Blood Institute (NIH). Study Quality Assessment Tools [Internet]. U.S.; 2018. Disponível em: <https://www.nhlbi.nih.gov/healthtopics/study-quality-assessment-tools> Acesso em: 16 março 2018.

E-COMMERCE BRASIL. Pesquisa mostra sistemas operacionais e navegadores mais utilizados por e-consumidores. 2017. Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/pesquisa-mostrasistemas-operacionais-e-navegadores-mais-utilizados-por-econsumidores/>. Acesso em: 16 outubro 2022.

ERGO IA – Instituto de Biomecânica de Valência – IBV, Revista de Biomecânica N°69 (2022). Disponível em: <<https://www.ibv.org/revista/RB69/>>. Acesso em: 9 janeiro 2023.

EXOSKELETON REPORT, 2023. Disponível em: <[Exoskeleton Report](#)>. Acesso em: 06 março 2023.

FERNANDES, P. M. V., Reconhecimento de postura segundo a metodologia REBA usando câmera de profundidade. Monografia. UFM. 2014. Disponível em: <<https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3507/1/VALERIA-FERNANDES.pdf>>. Acesso em: 28 setembro 2022.

FERREIRA, Mário César. A ergonomia da atividade se interessa pela qualidade de vida no trabalho?: Reflexões empíricas e teóricas. Cad. psicol. soc. trab. [online]. 2008, vol.11, n.1 [citado 2023-08-20], pp. 83-99 . Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-37172008000100007&lng=pt&nrm=iso>. ISSN 1516-3717. Acesso em: janeiro de 2023.

FLOYD, R. T. Manual de cinesiologia estrutural. 16. ed. Barueri: Manole, 2011.

FRANCISCO, M. Desenvolvimento de um sistema de biofeedback para reabilitação de membro superior para pacientes pós acidente vascular cerebral. Graduação em Engenharia Eletrônica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197002/TCC_MAICON_FRANCISCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 setembro 2020.

GERMAN BIONICS SYSTEMS GMBH, 2023. Disponível em: <https://germanbionic.com/en/> Acesso em: 26 março 2023.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

_____. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOEDERT, S. G., PEREIRA, F. O. R., Verificação metodológica para mapeamento visual em estudos de ofuscamento em ambientes de escritório. XIV ENCAC 2017; X ELACAC 2017. Disponível em: <<https://ngd.ufsc.br/wp-content/uploads/2019/09/Verificac%CC%A7a%CC%83o-metodolo%CC%81gica-para-mapeamento-visual-em-estudos-de-ofuscamento-em-ambientes-de-escrito%CC%81rio.pdf>>. Acesso em: 03 dezembro 2022.

GOMES, A. F. N., GABRIEL, J., TAVARES, J. M. R. S. IGRAFBIOTENIST – Interface Gráfica de Monitorização Biomecânica de Tenistas. Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2015. Lisboa, PT. Disponível em: https://web.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/artigos/CMN_2015_submission_162.pdf. Acesso em: 16 outubro 2020.

HALL, S., J. Biomecânica básica. Revisão técnica Eliane Ferreira. – 7. ed. – Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

HAMILL J, KNUTZEN KM. Bases biomecânicas do movimento humano. Manole: São Paulo, 1999.

HFES - Human Factors and Ergonomics Society. *ErgoX Symposium*. Disponível em: [2023 ErgoX Symposium \(hfes.org\)](https://www.hfes.org/2023-ergox-symposium)>. Acesso em: 26 março 2023.

HUBAULT, F. Do que a ergonomia pode fazer análise? In: DANIELLOU, F. (Coord.). A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. p. 105-140.

HSIANG, S.; MCGORRY, R. & BEZVERKHNY, I. The use of Taguchi's methods for the evaluation of industrial knife design. **Ergonomics**. Vol.40, n.4, p. 476-490. 1997.

IBGE 2023 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores IBGE; Estatística da Produção Pecuária. Jan. – Mar. 2023. Disponível em: [epp_2023_1tri.pdf \(ibge.gov.br\)](https://ibge.gov.br/indicadores/estatistica-da-producao-pecuaria). Acesso em: 24 julho 2023.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2ª ed. Edgard Blücher. São Paulo – SP, 2005.

IIDA, I.; BUARQUE, L. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Blucher, 2016.

INSS - Instituto Nacional do Seguro Social. Observatório de Segurança e Saúde no trabalho. Tratamento e análise: SmartLab. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acesso em: 27 julho 2023.

JUUL-KRISTENSEN, B., FALLENTIN, N., HANSSON, G. A., MADELEINE, P., ANDERSEN, J. H. e EKDAHL, C. Physical workload during manual and mechanical deboning of poultry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 29: 107–115, 2002.

KAAJAKARI, V. **Practical MEMS**: analysis and design of microsystems, MEMS sensors, electronics, actuators, rf mems, optical MEMS, and microfluidic systems. Small Gear Publishing, 2009.

KIMBERLIN C L, WINTERSTEIN AG. Validity and reliability of measurement instruments used in research. *Am J Health Syst Pharm*. 2008;65(23):2276-84.

LONGARETTI, D. Implementação de uma luva microcontrolada para a captura de gestos. Universidade Federal do Pampa. 2015. Alegrete, RS.

Disponível em: <https://sites.unipampa.edu.br/gama/files/2019/07/implementacao-deuma-luva-microcontrolada-para-a-captura-de-gestos.pdf>. Acesso em: outubro 2020.

MADELEINE P, LUNDAGER B, VOIGT M, ARENDT-NIELSEN L. Shoulder muscle co-ordination during chronic and acute experimental neck-shoulder pain. An occupational pain study. *Eur J Appl Physiol*. 1999; 79:127-40.

MARANHÃO A. C. ME. **Facas Artesanais & Cia**. Acutelaria.com. Brasília – DF, 2015. Disponível em: <http://www.acutelaria.com/#!tipos-laminas-e-fios/cn30>>.

MARSOT, J., CLAUDON, L. e JACQMIN, M. Assessment of knife sharpness by means of a cutting force measuring system. **Applied Ergonomics**, 38: 83–89, 2007.

McCARTHY, C. T., ANNAIDH, A. N. e GILCHRIST, M. D. On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part II – Analysis of blade geometry. **Engineering Fracture Mechanics**, 77: 437–451, 2010.

McCARTHY, C. T., HUSSEY, M. e GILCHRIST, M. D. On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I – indentation experiments. **Engineering Fracture Mechanics**, 74: 2205–2224, 2007.

McGORRY, R. W. A system for the measurement of grip forces and applied moments during hand tool use. **Applied Ergonomics**, 32: 271– 279, 2001.

McGORRY, R.W., DOWD, P.C. e DEMPSEY, P.G. Cutting moments and grip forces in meat cutting operations and the effect of knife sharpness. **Applied Ergonomics**, 34: 375–382, 2003.

McGORRY, R.W., DOWD, P.C. e DEMPSEY, P.G. The effect of blade finish and blade edge angle on forces used in meat cutting operations. **Applied Ergonomics**, 36: 71–77, 2005a.

McGORRY, R.W., DOWD, P.C. e DEMPSEY, P.G. A technique for field measurements of knife sharpness. **Applied Ergonomics**, 36: 635–640, 2005.

McGORRY, R., YOUNG, S. L., MURPHY, P. e BROGMUS, G. Experimental appraisal of a manual task evaluator. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 25: 265–274, 2000.

McGORRY RW, DEMPSEY PG, CASEY JS. The Effect of Force Distribution and Magnitude at the Hand-Tool Interface on the Accuracy of Grip Force Estimates. **J Occup Rehabil**. 2004;14(4):255-66.

McGORRY, R.W., DEMPSEY, P.G. e O'BRIEN, N. V. The effect of workstation and task variables on forces applied during simulated meat cutting. **Ergonomics**, Vol. 47, N° 15, 1640–1656, 2004a.

MENDES, F. B. et al., Proposta de uma ferramenta metodológica para incorporação de robô colaborativo em frigorífico. XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP. 2019. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_297_1677_38560.pdf>. Acesso em: 09 janeiro 2023.

MINGXING L. W. C., XILUN D. J. W., Knee exoskeleton enhanced with artificial intelligence to provide assistance-as-needed. *Rev Sci Instrum* 1 September 2019; 90 (9): 094101. <https://doi.org/10.1063/1.5091660>

MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG. The PRISMA Group Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7):2009. e1000097. Disponível em: <http://prismastatement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram> Acesso em: 18 março 2018.

MONTMOLLIN, M. org. (1995). Vocabulaire de l'ergonomie. Octares Editions, Toulouse, França.

MONTMOLLIN, M.; DARSES, F. de. A ergonomia. 2ª Edição. Lisboa: Instituto Piaget, 2011.

MOREIRA, T., Nielsen Mobile Retail Index. 91,6% dos smartphones vendidos são Android. **Go2web**. 2014. Disponível em: <https://www.go2web.com.br/es-ES/blog/916-dos-smartphones-vendidos-sao-android.html>. Acesso em: 23 setembro 2022.

MORESI, E. A. D. **Metodologia da Pesquisa**. Universidade Católica de Brasília – UCB, 2003. Disponível em: <[http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MetodologiaPesquisaMoresi2003.p df](http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MetodologiaPesquisaMoresi2003.pdf) >.

MUCHERONI, M. F./USP. Capítulo 9 – Cinemática do Movimento Espacial dos Corpos Rígidos. Laboratório de Dinâmica. 2009. Disponível em: <http://www2.eesc.usp.br/labdin/>.

MUNDIAL SA. **Perfil da Empresa**. Sobre a Mundial. 2011. Disponível em: <<http://mundial-sa.com.br/#/sobre-a-mundial/perfil>>.

MURPHY, P., Mc GORRY, R., TEARE, P. e BROGMUS, G. Design and performance of a manual task evaluator. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 25: 257–264, 2000.

NATIONAL SANITATION FOUNDATION – NSF. **Mission, Values and History**. The Public Health and Safety Organization. 2015. Disponível em: <<http://www.nsf.org/about-nsf/mission-values-history/>>.

NAYAR, N. "Deneb/ERGO-a simulation based human factors tool," Winter Simulation Conference Proceedings, 1995., Arlington, VA, USA, 1995, pp. 427-431, doi: 10.1109/WSC.1995.478769.

NGD/LDU. Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade: UFSC, 2023. Disponível em: https://ngd.ufsc.br/eye_tracking/. Acesso em: 31 maio 2023.

NODA, D. K. G., MARCHETTI, P. H., VILELA JUNIOR, G. DE B.
A ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE EM ESTUDOS RELATIVOS À
PRODUÇÃO DE FORÇA. Revista Cpaqv - Centro de Pesquisas Avançadas em
Qualidade de Vida, [S.l.], v. 6, n. 3, p.1-25, jan. 2014.

OLIVEIRA, J. A. V. **Cutelaria Artesanal**. SP, 2012. Disponível em:
<http://www.cutelariaartesanal.com.br/downloads/Parte_001.pdf>.

OLIVEIRA, M. De S. Ciências morfofuncionais do aparelho locomotor – membros superiores, cabeça e tronco. Editora e Distribuidora Educacional S.A., Londrina, 2018.

OLIVEIRA NETO, J. A. O. **Sistema Massa-Mola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 2008. Disponível em:
<<http://docslide.com.br/documents/trabalho-sistema-massa-mola.html>>. Acesso em: 24 julho 2020.

PAULO, I. I., MERINO, E. A. D., "Aplicabilidade do sistema de captura de movimentos por sensores inerciais (Xsens) para fins ergonômicos: um estudo multicasos", p. 559-574 . In: **Anais do 18º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia e o 18º Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces e Interação Humano-Computador**. São Paulo: Blucher, 2022. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/18ergodesignusihc2022-36. Disponível em:
<<https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/18ergodesignusihc2022/36.pdf>>. Acesso em: 1 janeiro 2023.

PEDOTT, A., METROLOGIA E ENSAIOS Incerteza de Medição, 2012 UFRGS. Disponível em:
http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/387_incerteza_de_medicao.pdf
Acesso em: 18 julho 2022.

PIO, R., "Euler angle transformations," in IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 11, no. 4, pp. 707-715, October 1966, doi: 10.1109/TAC.1966.1098430. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1098430>>. Acesso em: 27 julho 2022.

PONTONNIER C, DE ZEE M, SAMANI A, DUMONT G, MADELEINE P. Meat cutting tasks analysis using 3D instrumented knife and motion capture. IFMBE Proc. 2011; 34:144-147.

PONTONNIER C, DE ZEE M, SAMANI A, DUMONT G, MADELEINE P. Cutting force and EMG recording for ergonomics assessment of meat cutting tasks: influence of the workbench height and the cutting direction on muscle activation levels. In: ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA2012) 2012;1-10.

PONTONNIER C, DE ZEE M, SAMANI A, DUMONT G, MADELEINE P. Strengths and limitations of a musculoskeletal model for an analysis of simulated meat cutting tasks. *Appl Ergon*. 2014; 45:592-600.

PORTO, N. A. G. Frigoríficos: a banalização do sofrimento dos trabalhadores. *Le Monde Diplomatique*, 2021. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/frigorificos-a-banalizacao-do-sofrimento-dos-trabalhadores/>. Acesso em: 12 junho 2023.

PRATES, R. O., BARBOSA, S. D. J. **Avaliação de interfaces de usuário: conceitos e métodos**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 23, 2003, Campinas. Anais... Campinas: SBC, 2003.

PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C. De, *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*, 2ª Ed., Novo Hamburgo - RS, Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo - ASPEUR Universidade Feevale, 2013.

PUBMED – NCBI. MeSH Database. 2019. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>. Acesso em: 9 janeiro 2022.

REILLY, G. A., McCORMACK, B. A. O. e TAYLOR, D. Cutting sharpness measurement: a critical review. *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, 261–267, 2004.

REIS, D. C. DOS, TIRLONI, A. S., MORO, A. R. P., Reduced Work Pace in a Poultry Slaughterhouse. **Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)**, [S.L.], p. 439-444, 2021. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_55. Acesso em: 3 dezembro 2022.

REIS, D. C. dos, TIRLONI, A. S., MORO, A. R. P., Effectiveness of Reduced Work Pace to Decrease the Risk of Work-Related Musculoskeletal Disorders in a Chicken Slaughterhouse. **Advances In Physical, Social & Occupational Ergonomics**, [S.L.], p. 313-319, 2021a. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-80713-9_40. Acesso em: 3 dezembro 2022.

REX BIONICS. Rehabilitation. 2023. Disponível em: <https://www.rexbionics.com/>. Acesso em: 20 fevereiro 2023.

ROYLANCE, L. M. e ANGELL, J. B. A batch-fabricated silicon accelerometer. **IEEE Transactions on Electron Devices**, v. 26, n. 12, pp. 1911-1917, dezembro, 1979.

SANTIAGO, P. R. P., Rotações tridimensionais em biomecânica via quatérnions: aplicação na análise dos movimentos esportivos, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100404/santiago_prp_dr_rcla.pdf;sequence=1>. Acesso em: 1 abril 2022.

SARDÁ, S. E., RUIZ, R. C., KIRTSCHIG, G., Tutela jurídica da saúde dos empregados de frigoríficos: considerações dos serviços públicos. ARTIGO DE REVISÃO. 2009. Doi: 10.11606/issn.2317-0190.v16i2a103057. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/actafisiatrica/article/view/103057/101341>. Acesso em: 1 abril 2023.

SIGEVIS – Sistema Integrado de Gestão Ergonômica e Vigilância em Saúde em Empresas de Abate e Processamento de Carnes. UFSC. <https://sigevis.paginas.ufsc.br>. Acesso em: 27 julho 2023.

SILVEIRA, L. S., MERINO, E. A. D., TRIERWEILLER, A. C., de AZEVEDO, B. M. e CRUZ, R. M. **Investigação da usabilidade de faca para desossa de carne bovina.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro – RJ, 2008.

SLADE, P., KOCHENDERFER, M. J., DELP, S. L. *et al.* Personalizing exoskeleton assistance while walking in the real world. *Nature* **610**, 277–282 (2022). Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05191-1>> Acesso em: 1 janeiro 2023.

SOUZA, F. A. de. Utilização de plataforma giratória como ação de melhoria biomecânica em uma atividade de paletização de sacos: estudo de caso... In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. Anais...São José dos Campos(SP) Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/abergo2022/520918-UTILIZACAO-DE-PLATAFORMA-GIRATORIA-COMO-ACAO-DE-MELHORIA-BIOMECANICA-EM-UMA-ATIVIDADE-DE-PALETIZACAO-DE-SACOS--ES>> . Acesso em: 19 junho 2023.

TIMOSHENKO, S. P. **Resistência dos Materiais.** Traduzido da 3ª ed. Volume 2. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro – RJ, 1977.

TIMOSHENKO, S. P. **Resistência dos Materiais.** Traduzido da 3ª ed. Volume 1. Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro – RJ, 1978.

TIRLONI, A. S. et al. Exertion perception when performing cutting tasks in poultry slaughterhouses: Risk assessment of developing musculoskeletal disorders. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 24, p. 9534, 2020.

TIRLONI, A. S., REIS, D. C., IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NOS ACIDENTES E DOENÇAS DO TRABALHO EM ABATEDOUROS BRASILEIROS: 2019-2020, XXIII Congresso Brasileiro de Ergonomia - ABERGO 2023. Florianópolis – SC.

TIRLONI, A. S., REIS, D.C.D., RAMOS, E., MORO, A.R.P., Thermographic Evaluation of the Hands of Pig Slaughterhouse Workers Exposed to Cold Temperatures. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Jul 26;14(8):838. doi: 10.3390/ijerph14080838. PMID: 28933764; PMCID: PMC5580542. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28933764/>. Acesso em: 23 setembro 2022.

TIRLONI, A. S., REIS, D. C., SANTOS, J. B., REIS, P. F., BARBOSA, A., MORO, A. R. P. Body discomfort in poultry slaughterhouse workers. **Journal Article - IOS Press**, 2012.

TIRLONI, S. F. Instrumentação de uma faca de desossa: medição da força aplicada e dos movimentos realizados. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TORMENA JUNIOR, O. **Método de auto-calibração para tríades de sensores utilizadas em aplicações de estimação de atitude**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

TORRES, H. L. F. Sensores Inerciais – Parte 2, 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/sensores-inerciais-parte-1/> Acesso em: 23 setembro 2020.

TRAMONTINA. **Institucional**. Carlos Barbosa – RS, 2015. Disponível em: <http://www.tramontina.com.br/institucional/a-tramontina>.

TRAMONTINA. **Manual Técnico**. Profissional Master. 2014. Disponível em: <http://www.tramontina.com.br/download-arquivos>.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO – 4ª REGIÃO. Nº 51 – Adicional Faca – Frigorífico. Precedentes do TRT da 4ª Região, 2009. Porto Alegre – RS. Disponível em: <https://www.trt4.jus.br/portais/trt4/precedentes-do-trt>. Acesso em: 18 julho 2023.

WADDELL, D. E., WYVILL, C., GREGOR, R. J. Upper extremity kinematics in poultry processing: A comparison between two different cutting tasks. **Journal of Applied Biomechanics**, 19, 168-177. 2003.

WESTGAARD, R. H., WINKEL, J. Ergonomic intervention research for improved musculoskeletal health: a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 20: 463–500, 1997.

WIEDENHOFT, A. G. **Desenvolvimento de uma bancada de teste para torque de parafusos para implantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13666/000652105.pdf?sequence=1>.

WISNER, A. Por dentro do trabalho: ergonomia: método & técnica. São Paulo: FTD: Oboré, 1987.

ZIVI S/A CUTELARIA. **Manual Técnico para Frigoríficos**. 2001.

Disponível em:

<<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/facas-mundial.pdf>>.

ZORAN, A. et al. Cutting Edge Vision: Metal Embedded Optics for Smart Knives. CHI 2015, Crossings, Seoul, Korea. Disponível em: <[Cutting Edge Vision | Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems](#)>. Acesso em: 28 setembro 2022.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre Esclarecido



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O TCLE respeita a resolução nº466/2012

Título da Pesquisa: Utilização de uma faca instrumentada para análise da atividade de desossa em um frigorífico de suínos

Nome do Pesquisador Principal ou Orientador: Antônio Renato Pereira Moro

Nome do Pesquisador assistente/aluno: Salvador Francisco Tirloni

Sr(a) foi selecionado(a) e está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada: Utilização de uma faca instrumentada para análise da atividade de desossa em um frigorífico de suínos, que tem como objetivo analisar a frequência e força de corte de trabalhadores da atividade de desossa, em um frigorífico de suínos, utilizando uma faca instrumentada, com a justificativa de validar os dados adquiridos pela instrumentação.

A pesquisa é integrada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e terá duração de 6 meses, com o término previsto para novembro de 2023.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em responder as perguntas a serem realizadas sob a forma de entrevista individual, filmagens realizando a atividade ocupacional e utilização de uma faca instrumentada, na qual o(a) Sr(a) tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para o(a) Sr(a). Antes de decidir se deseja participar (de livre e espontânea vontade) você deverá ler e compreender todo o conteúdo deste Termo, e em caso de dúvidas faça perguntas para esclarecimento. Ao final, caso decida participar, você será solicitado a assiná-lo.

Serão realizadas filmagens dos seus membros superiores (braços) durante a sua execução das atividades ocupacionais com intuito de comparar os dados gravados pela faca e o movimento realizado na atividade. O(a) Sr(a) receberá uma faca, idêntica ao modelo usual, para trabalhar normalmente enquanto serão coletadas informações durante três ciclos de trabalho, aproximadamente 3 minutos.

O(a) Sr(a) não terá nenhum custo ou quaisquer compensações financeiras. Mesmo assim, se surgir, qualquer ressarcimento de despesa necessária será feito pelo pesquisador via depósito bancário. Salientamos que suas respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o seu nome ou qualquer uma das empresas que seja mencionado, em qualquer fase do estudo. O benefício relacionado à sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de Ergonomia.

O possível risco e desconforto que a pesquisa poderá trazer a(o) Sr(a) é o constrangimento de ser entrevistado e a filmagem dos seus membros superiores durante a execução da sua atividade. A fim de evitar ou reduzir efeitos e condições adversas os pesquisadores



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

garantem que suas opiniões e pontos de vista não serão expostos publicamente. As informações coletadas ficarão de posse dos pesquisadores responsáveis e sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo. Em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa será garantido seu direito de indenização ou restituição via depósito bancário.

Os dados coletados serão utilizados apenas NESTA pesquisa e os resultados serão divulgados em eventos e/ou revistas científicas. Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar desse estudo. A qualquer momento você pode se recusar a responder qualquer pergunta ou interromper a participação e retirar seu consentimento, sem penalização alguma. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador.

Sr(a) receberá uma via deste termo onde consta o contato/e-mail do pesquisador responsável, e demais membros da equipe, podendo tirar as suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento. Os pesquisadores responsáveis se comprometem a cumprir todas as exigências contidas na Resolução CNS 466/2012.

ENDEREÇO FÍSICO DO PESQUISADOR: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP). Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas (EPS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico (CTC), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis – SC, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

ENDEREÇO DE CONTATO DO COMITÊ DE ÉTICA: Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, no 222, sala 401, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88.040-400. E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br. Telefone +55 (48)3721-6094. CEPSES-SC cepses@saude.sc.gov.br. Telefone (48) 3212-1644 / 3212-1660.

Sempre que entender necessário obter informações ou esclarecimentos sobre o projeto de pesquisa e a participação no mesmo, o Sr(a) poderá entrar em contato com o pesquisador responsável, acima identificado, e consultar a aprovação do projeto entrando em contato com o comitê de ética.

Desde já agradecemos sua colaboração!

Prof. Antônio Renato Pereira Moro
Pesquisador Responsável
E-mail: renato.moro@ufsc.br

Salvador Francisco Tirloni
Pesquisador - Tel.: (48) 99982-0603
E-mail: salvador@tirloni.com.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Florianópolis, __ de _____ de 2023.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

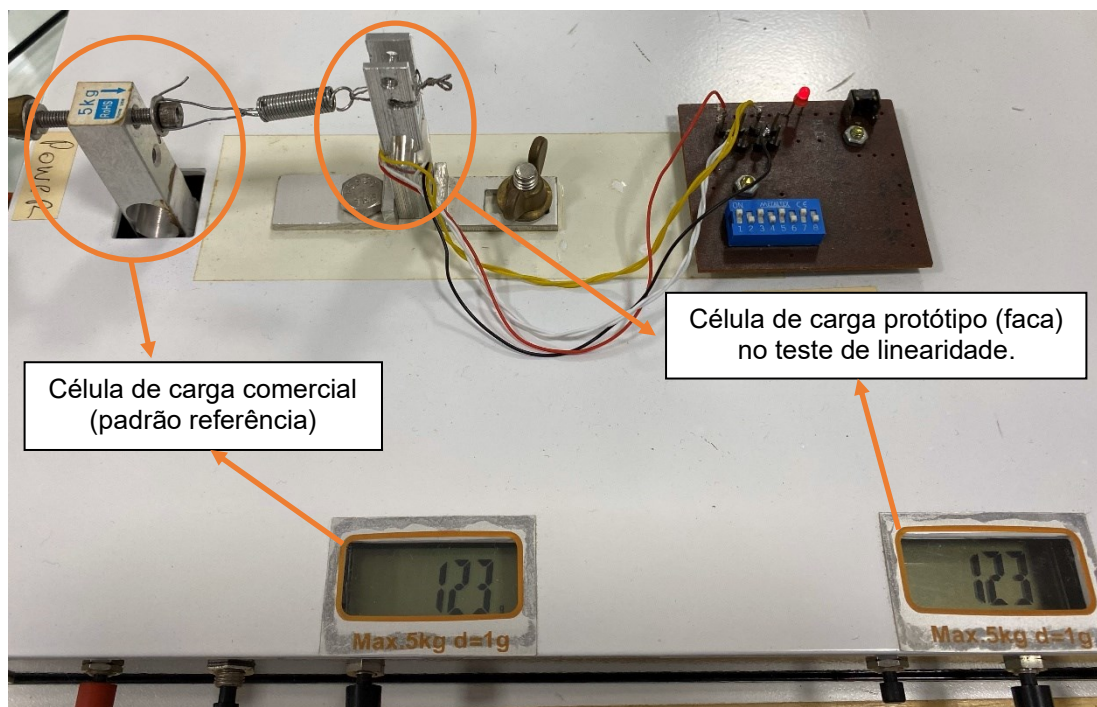
Declaro estar ciente do inteiro teor deste TERMO DE CONSENTIMENTO e estou de acordo em participar do estudo proposto, sabendo que dele poderei desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer punição ou constrangimento.

Participante da Pesquisa: _____

(Assinatura)

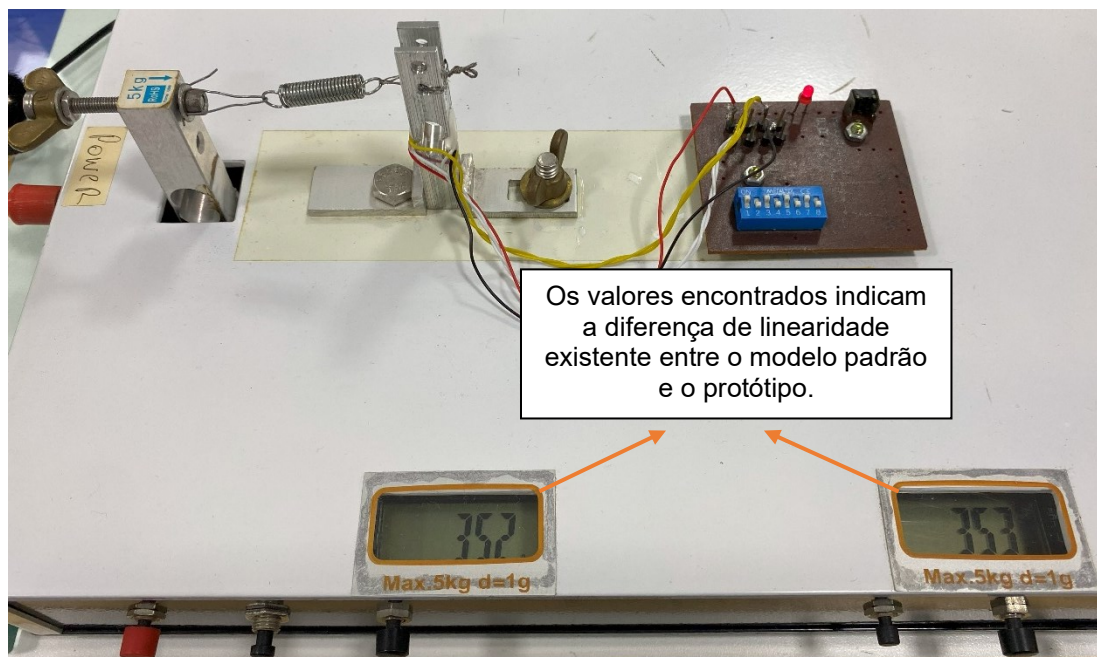
APÊNDICE B – Sistema de Calibração e Teste – SCT

Figura 1 – Conferindo linearidade da célula de carga da faca com modelo padrão comercial



Fonte: Autor

Figura 2 – Comparação de valores entre as células padrão (esquerda) e protótipo (direita)

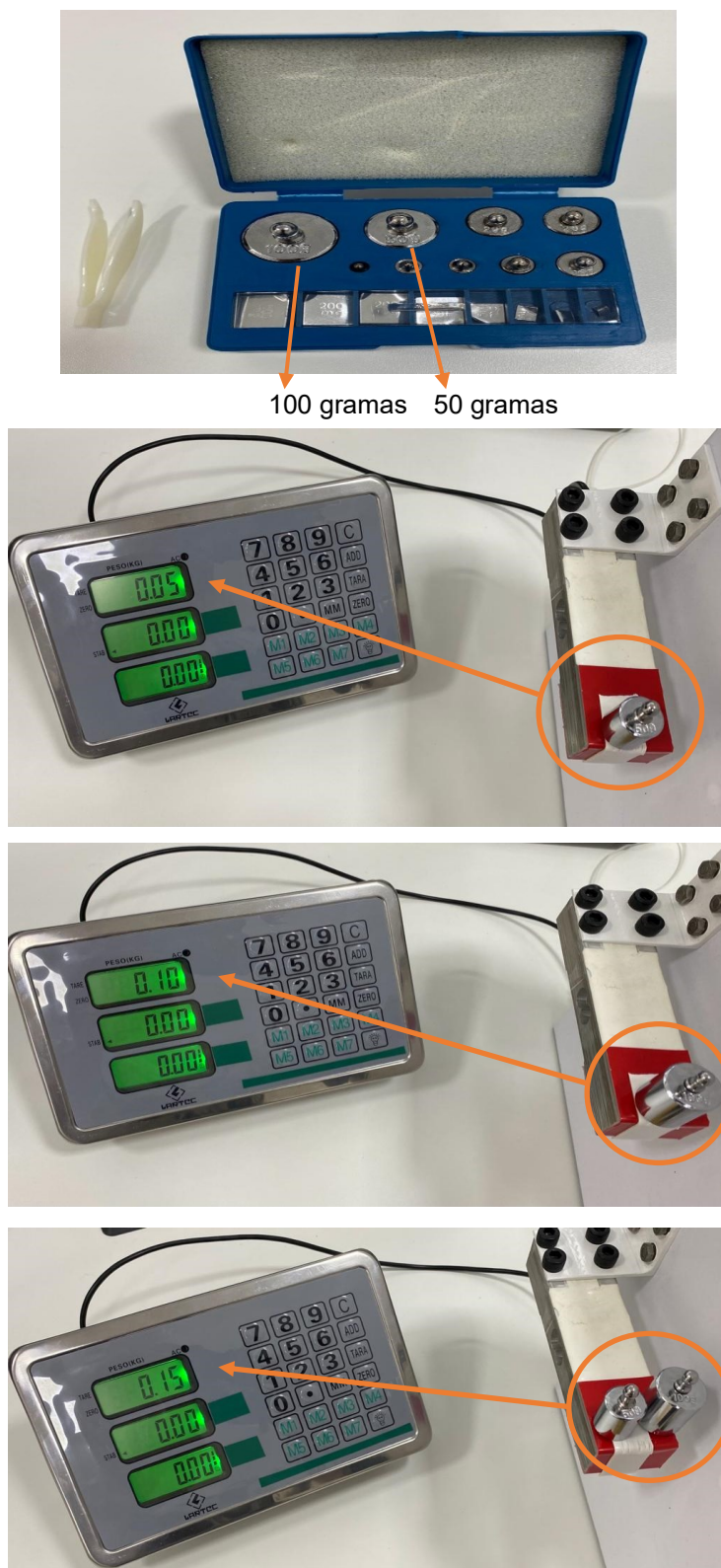


Fonte: Autor

Foram realizadas 10 leituras de 0 a 3 Kgf com menos de 3% de variação.

APÊNDICE C – Conferindo valores da plataforma de calibração

Figura 1 – Pesos Padrão (gramas)



Fonte: Autor

APÊNDICE D – Processo de conferência da faca

Figura 1 – Conferindo valores de calibração da faca (próximo ao cabo) via plataforma e App



Fonte: Autor

Figura 2 – Conferindo valores de calibração da faca (próximo a ponta da lâmina)



Fonte: Autor

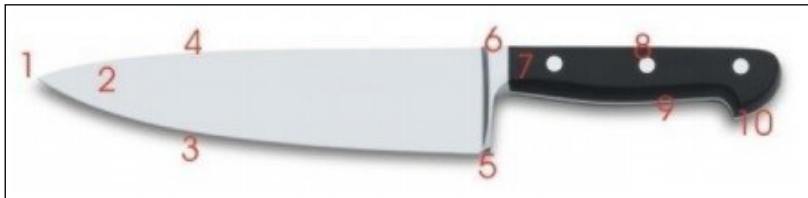
ANEXO A – Faca

Ferramenta manual

Ao longo da história humana, as facas foram produzidas das mais diferentes maneiras em várias sociedades, desde as pedras lascadas pelo homem primitivo, passando pelas facas produzidas a partir de pedaços de meteoritos ricos em ferro, até as facas produzidas nos dias de hoje pela indústria moderna (OLIVEIRA, 2012).

De maneira geral, o processo de fabricação de uma faca atualmente consiste em modelar a lâmina, seja através do processo de forja ou de desbaste, e aplicar um tratamento térmico conhecido como têmpera, que confere dureza ao fio da lâmina. A lâmina então é afiada e cabeada. Não há um consenso ou uniformidade na nomenclatura das partes de uma faca; regionalmente, cada parte da faca pode assumir uma denominação específica (OLIVEIRA, 2012). Na Figura 1 pode-se ver a versão mais popular da nomenclatura.

Figura 1 – Nomenclatura das partes de uma faca



Fonte: Adaptado de Oliveira (2012)

1. ponta; 2. lâmina; 3. gume; 4. dorso; 5. guarda-mão; 6. botão (parte integral da lâmina que distribui a massa do conjunto); 7. talas do cabo; 8. pinos de fixação; 9. espiga (extensão da lâmina ao longo do cabo, em algumas facas pode ficar oculta); 10. talão, ou base (proporciona mais controle e segurança na empunhadura)

Em suma, faca é uma ferramenta manual cortante, composta por cabo e lâmina.

Desenho das ferramentas manuais

Conforme IIDA (2005), o desenho das ferramentas manuais tem uma grande influência sobre a postura no trabalho, ângulo de flexão do punho, distribuição da pressão sobre a mão, carga muscular, fadiga e risco de lesões. Ainda de acordo IIDA (2005), muitas vezes, mudanças de alguns detalhes no desenho podem provocar

efeitos enormes, considerando que certos tipos de profissionais usam a mesma ferramenta de forma contínua, durante meses e anos seguidos.

As principais variáveis a serem consideradas pelo projetista são:

- resultados mecânicos (força, torque, aceleração);
- massa e centro de gravidade;
- forma e dimensões da pega; • possibilidade de mudar o manejo; e
- superfície de contato com as mãos.

Fabricantes nacionais

Dois maiores fabricantes nacionais:

A Mundial S.A. surgiu da unificação de dois grandes grupos – a Eberle, fundada em Caxias do Sul, na Serra Gaúcha, em 1896, e a Zivi-Hercules, que iniciou suas atividades em Porto Alegre, em 1931.

Desde o final de 2003, a denominação do grupo passou a ser Mundial SA Produtos de Consumo. Exporta seus produtos para 87 países, em cinco continentes. No Brasil, tem fábricas localizadas na região Sul, mais precisamente em Porto Alegre, Gravataí e Caxias do Sul (MUNDIAL, 2011).

A Tramontina foi fundada em 1911, na cidade de Carlos Barbosa, Rio Grande do Sul. Hoje, está presente em mais de 120 países, com mais de 18.000 produtos diferentes (TRAMONTINA, 2015).

Fabricação da faca para frigoríficos

De acordo com a fabricante Tramontina, os materiais empregados para fabricação da faca utilizada em frigoríficos são os seguintes:

- cabos produzidos em polipropileno (PP) injetado; e
- lâminas fabricadas com aço inoxidável (aço inox especial DIN 14110). A composição química desse aço, após tratamento térmico, oferece requisitos de estrutura e dureza para uma maior capacidade de corte, durabilidade e resistência à corrosão.

Ainda de acordo com a fabricante, o processo fabril tem o seguinte sequenciamento (lâmina e cabo).

O formato externo/perfil das lâminas é obtido por meio do corte a laser de bobinas de aço inox.

O tratamento térmico - Garante resistência ao desgaste do fio. A mudança de estrutura do aço aumenta a dureza e a resistência das lâminas. O processo de tratamento térmico é totalmente controlado através de medidores de temperatura, de dureza e pela análise da estrutura interna do aço com o auxílio de microscópio.

O tratamento térmico possui três fases:

- 1- têmpera - As lâminas são aquecidas a uma temperatura superior a 1000°C e, depois, resfriadas rapidamente. A lâmina de aço inox fica dura e resistente ao desgaste, porém com baixa resistência a impactos e a flexões. Nesta fase, a estrutura do aço inox ainda precisa ser melhorada, pois algumas de suas partes ainda não estão completamente endurecidas;
- 2- subzero - A melhoria da estrutura é feita através do resfriamento das lâminas a uma temperatura bem inferior a 0°C. As lâminas são congeladas para que o aço inox ganhe uma excelente estabilidade e resistência ao desgaste; e
- 3- revenimento - Soluciona o problema da baixa resistência a impactos e flexões mencionado na fase têmpera. As lâminas são aquecidas a temperaturas não superiores a 300°C, deixando as peças com a dureza entre (55 e 58) HRC (Sistema de medição de dureza). Nesta fase, as lâminas apresentam uma excelente resistência ao desgaste, impactos e flexões. São eliminadas as tensões do aço, geradas nas fases anteriores.

Usinagem - Após o tratamento térmico, as lâminas são submetidas à usinagem, que é dividida em cinco operações:

- 1- desbaste do perfil: melhoria no acabamento do perfil da lâmina;
- 2- desbaste das faces: obtenção dos ângulos nas faces da lâmina;
- 3- satin das faces: acabamento nas faces da lâmina;
- 4- lixamento de cantos vivos: operação de arredondamento dos cantos vivos do perfil oposto ao fio; e
- 5- afiação: operação de abertura do fio.

Um controle dimensional e um monitoramento da qualidade superficial são executados em todos esses processos, evitando o superaquecimento (queima) das

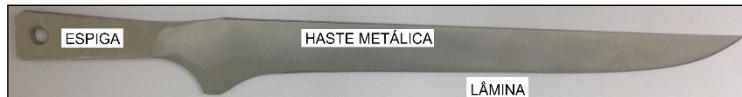
lâminas, que gera alteração da dureza obtida no tratamento térmico e a redução da resistência à corrosão.

Portanto, para não prejudicar as operações executadas anteriormente, a usinagem deve ser realizada com equipamentos, ferramentas e refrigeração adequados.

Injeção do cabo - Ocorre no processo final de fabricação. As lâminas recebem o cabo em PP. No polipropileno, é adicionado um produto antibacteriano (Microban®). Para evitar a formação de folgas ou frestas entre as partes e a retenção de resíduos, além de facilitar a limpeza, o cabo é injetado diretamente sobre a espiga da própria lâmina. Os cabos são produzidos em várias cores, facilitando o controle da limpeza e higiene das facas dentro dos frigoríficos, atendendo às exigências da fiscalização de saúde (TRAMONTINA, 2014).

Na leitura dos manuais técnicos dos dois fabricantes, foram extraídas as nomenclaturas utilizadas para designar as partes da estrutura metálica da faca, conforme Figura 2.

Figura 2 – Decomposição estrutural metálica



Fonte: Tirloni (2016)

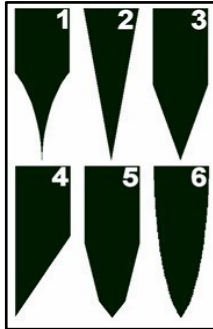
Variáveis do desempenho da faca

A faca é uma ferramenta simples, de baixo custo e as seguintes variáveis influenciam no seu desempenho (HSIANG et al., 1997).

- Comprimento da lâmina: lâminas curtas permitem transmitir maior força na ponta e as lâminas longas aumentam a velocidade de corte na ponta.
- Largura da lâmina: as lâminas estreitas reduzem o atrito com o material cortado e as lâminas largas melhoram o controle sobre o corte.
- Ângulo cabo/lâmina: a angulação entre o cabo e a lâmina melhora a postura e reduz o estresse sobre o punho.
- Perímetro do cabo: perímetros maiores aumentam a área do contato e reduzem as pressões sobre as mãos, mas podem dificultar o controle e reduzir a pressão do corte.

Conforme Maranhão (2015), um exemplo de formatos de gumes pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Tipos de fios (gumes)



Fonte: Adaptado de Maranhão (2015)

1. Côncavo (*Hollow*) – Favorece o corte preciso, sendo muito utilizado em navalhas. Devido ao seu formato, é inadequado para o uso “pesado”.
2. Totalmente Reto (*Full Flat*) – Também favorece um corte preciso, fio e lâmina são únicos, porém não é muito utilizado, pois deixa a lâmina mais frágil.
3. Reto (*V Flat*) – Mais simples e comum, este tipo de fio possui a borda afunilada, que beneficia o corte e melhora sua resistência (a partir deste tipo de fio surgem muitas variações, que podem beneficiar mais o corte ou a resistência).
4. Cinzel/Formão – Como o próprio nome indica, possuem o formato de um cinzel (buril), que também confere um corte preciso. São muito utilizadas na culinária japonesa.
5. Fio Composto (*Double Bevel/Compound*) – Este tipo de fio composto (em ângulos diferentes) beneficia a resistência da lâmina. Sua utilidade maior está no uso pesado.
6. Convexo - Muito utilizado em machados e em alguns facões (ex: kukri), este tipo de fio beneficia o uso pesado (mais resistente).

Operação de afiação

Para Zivi (2001), no momento de afiar uma faca, deve-se saber que a definição do tipo de fio está relacionada ao tipo de operação em que se utilizará a faca. Existem dois principais tipos de afiação com ângulos do fio de 30° ou 15°. A seguir estão descritas as explicações sobre quando utilizar cada tipo de fio:

- fio de 30° possibilita mais durabilidade do fio da faca, pois na região do fio, tem-se uma quantidade maior de material, o que gera uma resistência superior, no momento que a faca sofre uma batida nesta região. Este fio é aconselhado para quando a faca está em frequente contato com o osso, como nos casos de desossa de frangos; e
- fio de 15° possibilita um maior poder de corte da faca, mas a durabilidade do fio diminui em relação ao ângulo de 30°, uma vez que possui menos material

nesta região. Este fio é indicado para operações onde não existe grande risco de contato com osso, por exemplo, na realização de cortes na carne e operações de filetar.

Ainda de acordo com Zivi (2001), cabe a cada frigorífico decidir o tipo de fio a ser usado, conforme estudo de produtividade e relação custo/benefício. Por exemplo, facas com fio de 30° terão durabilidade maior, gerando uma necessidade menor de reafiação. Porém, cada operador terá que exercer maior força para realizar um corte, fazendo com que o trabalho seja menos produtivo e mais cansativo. No caso de fio de 15°, a situação inverte: aumenta o consumo de facas e aumenta a produtividade, no entanto a tarefa é menos cansativa.

A afiação de uma faca é realizada através de duas operações: a afiação propriamente dita e o polimento do fio (ZIVI, 2001).

Afiação pode ser realizada com lixas, pedras, rebolos ou esmeril. A lixa é, dentre todos os processos, o mais produtivo e que gera uma boa qualidade de fio. É importante salientar que quanto menor o grão da lixa, melhor será o fio da faca, contudo, gastam-se mais lixas.

Conforme Zivi (2001), existem lixas produzidas na Suíça com material cerâmico que proporciona uma durabilidade maior da lixa e evita problemas de queima do fio da faca. Este cuidado com a queima do fio define a durabilidade da faca, pois quando o fio é queimado danifica-se a faca e não há como recuperar a estrutura inicial feita no tratamento térmico.

Para Maranhão (2015), a afiação da faca com o polimento do fio tem como objetivo retirar (alinhar) uma pequena rebarba que fica na zona do fio. Para Zivi (2001), quando a faca for bem afiada esta rebarba deve existir, deixando a faca com um bom poder de corte, ou seja, com o corte "suave", fácil de ser executado. Utiliza-se uma polia de feltro com a superfície plana, que elimina possíveis ondulações do fio. Ainda de acordo com Zivi (2001), existem em alguns frigoríficos equipamentos de polimento que usam uma polia de pano. Esse tipo de polia retira a rebarba, mas não alinha o fio da faca, além de ser mais demorado que o processo com polia de feltro.

Em frigoríficos, existe uma rotina de troca de facas durante o expediente de trabalho, quando as facas são reafiadas e esterilizadas, a frequência dessa rotina varia de um frigorífico para outro. É importante salientar que em muitos casos o fio da faca ainda está em condições de uso, porém está com o corte "pesado" (necessita-

se fazer maior esforço para o deslocamento). Dependendo de como estiver a faca, o fio não precisa ser reafiado nas lixas, pois basta um novo polimento para recuperá-lo, deixando o corte "suave" novamente, não gastando a faca. Baseado nisso, Zivi (2001) destaca a importância do operador da afiação estar treinado para conhecer estas situações.

Certificação internacional

A *National Sanitation Foundation* - NSF é uma organização internacional, sem fins lucrativos, que se dedica à segurança da saúde pública e à proteção do meio ambiente, mediante o desenvolvimento de normas específicas.

Desde 1944 a NSF proporciona educação direcionada e serviços a seus associados, homologa e certifica produtos que têm contato direto com alimentos, inspeciona, faz auditorias e avaliações das normas ISO 9000 e ISO 14000, entre outros.

Para os fabricantes Mundial e Tramontina, facas destinadas à aplicação em frigoríficos necessitam da certificação NSF, que representa o reconhecimento de uma organização internacional e independente.

Como as facas são usadas em diversos tipos de carnes, é fundamental que essas avaliações sejam feitas por profissionais especializados, para que a qualidade do produto e dos materiais utilizados seja comprovada (NSF, 2015).

Características da faca

Muitas características permeiam a utilização da ferramenta "faca de desossa". As variáveis envolvidas durante o processo de corte são, de acordo com McCarthy *et al.* (2007), tipos de materiais; ângulo de ataque da ferramenta sob o material; velocidade; gradiente de temperatura ao longo da ferramenta; raio e nitidez da aresta de corte; força aplicada e a dinâmica dessas variáveis no tempo.

De acordo com Silveira *et al.* (2008), a utilização da faca está circunscrita por características físicas e mentais. Os aspectos físicos foram definidos como tipo de pega e textura do cabo, tipo de aço, afiação, inclinação, comprimento e largura da lâmina, massa, frequência de uso, higiene, qualidade, estética, durabilidade, segurança e utilidade. Os aspectos mentais foram definidos como conforto, prazer, satisfação e uso agradável.

Com relação à lâmina de corte são várias as terminologias utilizadas para definir o estado do fio ou gume, entre elas, de acordo com Reilly *et al.* (2004), borda fina, borda rebarba e borda rombuda. Embora os ângulos de afiação sejam diferentes para cada tipo de aplicação, para McCarthy *et al.* (2010), a lâmina torna-se mais afiada à medida que o ângulo de cunha reduz. Para Marsot *et al.* (2007), a força de corte varia de acordo com a inclinação da lâmina, o que corrobora com a existência de formatos variados de lâminas para o tipo de tarefa que se deseja executar. Conforme McGorry *et al.* (2003), a afiação da lâmina tem um significativo impacto na exposição da força de prensão (aperto da mão), momentos de corte e tempos de corte.

Com esta constatação, pode-se compreender por que, conforme Tirloni *et al.* (2012), o treinamento adequado dos chairadores permite realizar a manutenção adequada do fio das facas, possibilitando a redução do esforço necessário para a execução dos cortes, o que também já é previsto pela NBR 14280 (ABNT, 2001), com relação à utilização de um agente com defeito (faca sem corte).

ANEXO B – Dados para instrumentalização

Dados para elaboração do transdutor e modificação estrutural do cabo

A faca quando empunhada pelo usuário descreve uma alavanca do tipo interpotente, pois tem-se o fulcro no punho, a potência na palma da mão e a resistência no bordo de ataque da lâmina.

JuulKristensen et al. (2002) consideraram que a força aplicada pelo ser humano durante as tarefas de desossa orbitam de 6 N (0,61 kgf) a 20 N (2,03 kgf) e algumas variáveis repercutem diretamente nos valores encontrados, como: experiência na tarefa de desossa, idade, altura e massa do trabalhador. Para Madeleine et al. (1999), esta força pode chegar a 30 N (3,05 kgf).

No mesmo estudo de Juul-Kristensen et al. (2002), para a mesma tarefa, porém, para a força de pega da ferramenta foram adquiridas intensidades de 98 N (9,98 kgf) a 108 N (11,00 kgf), que correspondem percentualmente de 31% a 34% da força máxima de pega registrada na pesquisa 315,4 N (32,15 kgf).

Dos dados extraídos das pesquisas, dois valores são importantes para o desenvolvimento da instrumentação da faca: a força aplicada sobre a lâmina e a força de pega no cabo. Esses dois dados nortearão respectivamente o valor máximo necessário para o transdutor de força (célula de carga) e a resistência estrutural interna do cabo, para operação em frigorífico de aves (frangos).

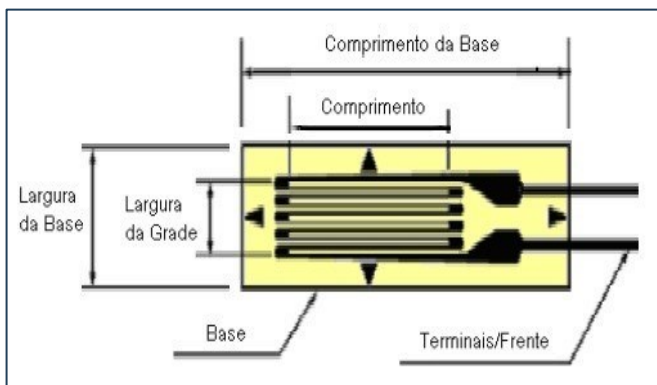
ANEXO C – Blindagem térmica

O transdutor é o componente encarregado de mensuração da força exercida sobre a lâmina da faca. Esta peça é composta de uma parte eletromecânica (extensômetro) e de uma parte estrutural mecânica (elemento mola).

Extensômetro

É um sensor de deformação relativa e a colagem deste componente em uma superfície metálica elástica, sujeita a deformação mecânica, gera no extensômetro uma deformação relativa, acarretando uma variação na resistência elétrica deste componente (Figura 1).

Figura 1 – Extensômetro de resistência elétrica



Fonte: Adaptado de Wiedenhof (2008)

A base é um perfil de epóxi ou poliamida (entre outros materiais), que possui grande elasticidade e tem três funções:

- servir de base para a grade;
- permitir a adesão do sensor à superfície elástica; e
- isolar eletricamente a grade.

Elemento mola: formato estrutural mecânico da superfície metálica elástica

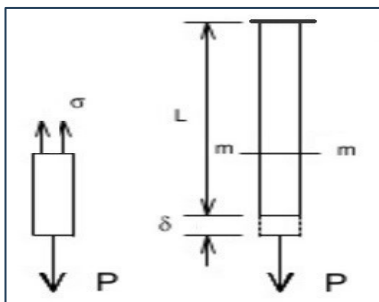
Para cumprir o papel de elasticidade (efeito mola), a superfície que receberá a fixação do elemento resistivo (extensômetro) necessita ser projetada para permanecer dentro da região elástica de deformação.

Conforme Timoshenko (1977), elasticidade é admitir que um corpo é formado de pequenas partículas ou moléculas, sobre as quais estão atuando forças e estas opõem-se a mudanças que forças exteriores tendem a produzir.

Quando aplicada uma carga em uma barra prismática de eixo reto, como mostra a Figura 2, esta sofre um alongamento movendo-se para baixo e só irá parar de deformar-se quando entrar em equilíbrio.

Quando a carga for retirada, a extremidade da barra voltará para seu estado inicial.

Figura 2 – Barra prismática submetida a um esforço “P”



Fonte – Adaptado de Haase (2015)

A propriedade dos corpos de voltar à forma inicial, após a retirada de carga, é chamada de elasticidade. A lei experimental de Hooke, para o caso de uma barra com seção transversal constante, pode ser dada pela seguinte expressão (1), (TIMOSHENKO, 1978):

$$\delta = \frac{P l}{A E} \quad (1)$$

Sendo:

P = a força aplicada na barra l = o comprimento da barra

A = a área da seção transversal da barra E = módulo de elasticidade

δ = alongamento total da barra

Célula de Carga: conjunto de extensômetros e elemento mola

A definição do elemento mola em conjunto com a quantidade de extensômetros e o arranjo dos componentes ativos na ponte extensométrica tem papel importante no projeto, possibilitando suprimir forças indesejáveis durante o processo de coleta de dados.

Na Figura 3 os extensômetros posicionados na parte superior estão equidistantes dos posicionados na parte inferior.

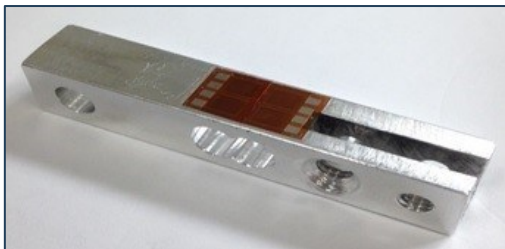
Figura 3 – Transdutor do tipo lâmina engastada



Fonte: Adaptado Brusamarello (2009)

Após definido o formato e as características da estrutura, esta peça passa por um procedimento físico/químico de limpeza e somente depois os extensômetros podem ser colados com adesivo (tipo cianocrilato), por um processo de pressão e temperatura (Figura 4).

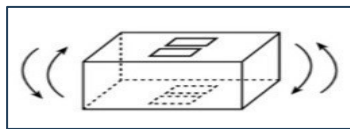
Figura 4 – Célula de carga utilizada na instrumentação da faca



Fonte: Tirloni (2016)

Com intuito de possibilitar propagação homogênea do calor liberado pelas grades dos extensômetros sugere-se a utilização de um elemento mola simétrico, associado a distribuição física proporcional do componente (extensômetros) sobre esse perfil metálico (Figura 5). Com isto, pode-se alcançar um percentual de estabilidade no funcionamento, visto que, o procedimento adotado (simetria) diminui o número de variáveis sobre o sistema.

Figura 5 – Simetria térmica



Fonte: Tirloni (2016)

ANEXO D – Sensores inerciais

O movimento realizado por um corpo rígido¹, no espaço, pode ser identificado através da combinação de dois movimentos: o movimento de translação e o movimento de rotação (Mucheroni, 2009).

Um sistema composto por giroscópio triaxial é capaz de medir a velocidade angular em três eixos ortogonais e é conhecido como **Unidade de Referência Inercial** (*IRU – Inertial Reference Unit*), normalmente empregado em estabilização e direcionamento.

Adicionando a uma IRU a capacidade de se medir a aceleração em cada um dos três eixos através do uso de três acelerômetros, obtêm-se uma **Unidade de Medida Inercial** (*IMU – Inertial Measurement Unit*).

Por serem empregadas em sistemas de até 6 graus de liberdade (deslocamento linear e angular em cada um dos 3 eixos), IMU's são amplamente utilizadas para estabilização e determinação de posicionamento.

Acelerômetro

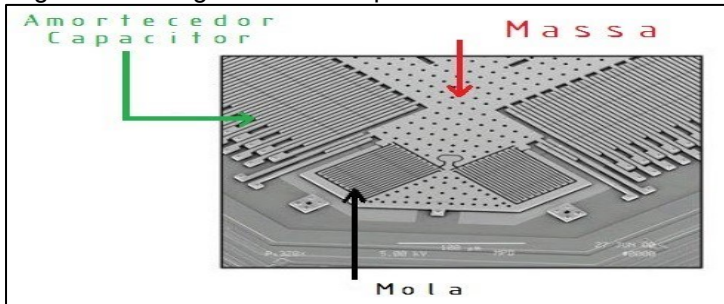
Os acelerômetros medem a aceleração de forma indireta, ou seja, uma massa, dentro do acelerômetro, quando este é acelerado fica submetida a uma força inercial que pode então ser medida (TORMENA, 2010). A unidade apropriada para a medida da aceleração é metros por segundo ao quadrado (m/s^2).

Sistema Micro Eletromecânico ou *MEMS* (Micro-ElectroMechanical System) foi o termo criado no fim dos anos 80 nos Estados Unidos para descrever sistemas miniaturizados compostos basicamente de um sensor, que insere informações no sistema, um circuito eletrônico que trata o sinal do sensor e um atuador que responde ao sinal gerado pelo circuito eletrônico (BEEBY et al., 2004).

O estudo de Roylance e Angell (1979) descreve o primeiro acelerômetro *MEMS* que deu início à pesquisa de sensores inerciais microfabricados. Os acelerômetros *MEMS* possuem o mesmo princípio básico dos acelerômetros discretos, são basicamente um sistema massa, mola e amortecedor, mas em uma escala muito reduzida (Figura 1).

¹Corpo que não sofre deformação independente do movimento realizado.

Figura 1 – Fotografia microscópica de um acelerômetro MEMS



Fonte: Adaptado de Acar e Shkel (2003)

Conforme Oliveira Neto (2008), para compreender como funciona a dinâmica desse sistema, que tem como base a segunda lei de Newton, deve-se analisar separadamente as quatro forças que compõem a resultante (F).

- 1- A força peso, que sempre atua para baixo.
- 2- A força restauradora da mola, que é proporcional ao alongamento total, e sempre atua no sentido de reestabelecer a posição original da mola.
- 3- A força resistiva ou de amortecimento, que sempre atua na direção oposta à direção do movimento e é devida às propriedades do meio (atrito, resistência do ar, viscosidade) ou fruto da utilização de algum dispositivo absorvedor de choques, denominado amortecedor.
- 4- Uma força externa, que dá origem ao fenômeno também conhecido como Oscilador Harmônico Fechado e que pode ser representado matematicamente por uma equação diferencial linear de segunda ordem, conforme apresentação clássica (1).

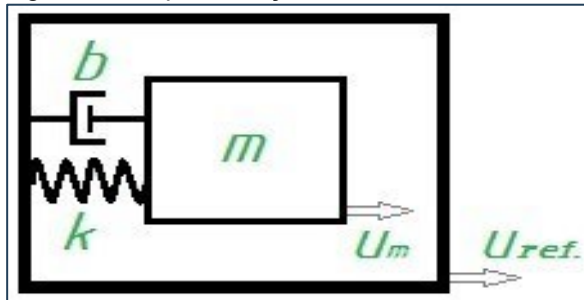
$$m \cdot \frac{d^2u}{dt^2} + b \cdot \frac{du}{dt} + k \cdot u = F(t) \quad (1)$$

Transportando o princípio explicado pela física para a representação conceitual do acelerômetro, temos: uma massa (m), conectada a uma referência por meio de uma mola com constante elástica (k) e um amortecedor com coeficiente de amortecimento (b), conforme a Figura 2.

Devido a resistência que um corpo oferece à alteração do seu estado de repouso/movimento, o movimento da massa (m) não será

exatamente o mesmo da referência, assim, é possível usar essa diferença de posição ($U = U_{ref} - U_m$) para medir a aceleração.

Figura 2 – Representação conceitual de um acelerômetro



Fonte: Adaptado de Kaajakari (2009)

Giroscópio

Eles são capazes de medir a velocidade angular em torno de um eixo de referência. A velocidade angular é uma grandeza que representa a taxa de variação da posição angular no tempo, cuja unidade de medida no Sistema Internacional é o rad/s (radiano por segundo).

Estruturalmente, um giroscópio (*MEMS*) é similar a um acelerômetro possuindo também uma massa de prova suportada por molas de silício. A principal diferença é que a velocidade angular é obtida medindo-se a força Coriolis² exercida na massa vibrante, ou seja, o movimento do corpo de prova deve possuir, pelo menos, dois graus de liberdade (TORRES, 2015).

² O efeito Coriolis ou pseudoforça de Coriolis é uma força inercial que age sobre corpos que estão em movimento em um referencial não inercial que, em relação a um referencial inercial, possui movimento de rotação.