

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANDRÉ LUIZ SOARES

**PREDIÇÃO DE RISCOS ERGONÔMICOS OCASIONADOS POR
MOVIMENTOS REPETITIVOS EM MEMBROS SUPERIORES
UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

TESE

PONTA GROSSA

2020

ANDRÉ LUIZ SOARES

**PREDIÇÃO DE RISCOS ERGONÔMICOS OCASIONADOS POR MOVIMENTOS
REPETITIVOS EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA**

**Prediction of ergonomic risks caused by repetitive movements in the upper
limbs using infrared thermography**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção/ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier
Coorientador: Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski

PONTA GROSSA

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ANDRE LUIZ SOARES

PREDIÇÃO DE RISCOS ERGONÔMICOS OCASIONADOS POR MOVIMENTOS REPETITIVOS EM MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 07 de Dezembro de 2020

Prof Antonio Augusto De Paula Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Adriana Seara Tirloni, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Prof Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Francisco Soares Masculo, Doutorado - Universidade Federal da Paraíba (Ufpb)

Prof Guatacara Dos Santos Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Thiago Antonini Alves, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 07/12/2020.

Dedico este trabalho
à minha mãe, Amarilis,
ao meu avô Eurides,
à minha noiva Mylena
e aos meus amigos que me
acompanharam nesta árdua caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, pela minha vida e por todas as bençãos que já foram proporcionadas em minha curta vida.

À minha mãe Amarilis da Graça Soares, para quem dedico o meu trabalho, e sem ela nada teria sentido. Ao meu avô Eurides Soares, em memória, e aos tios e primos, que para mim são como meus pais e irmãos, e são o meu alicerce.

À minha noiva Mylena Paluch, que viveu comigo todas as etapas desta difícil fase da minha vida, me apoiando sempre, oferecendo conselhos e me ouvindo sempre que precisei. Agradeço também à família de minha noiva, em especial aos meus sogros Marisa Paluch e Mauro Paluch, que também me apoiaram e acreditaram em mim.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier, por ser meu orientador desde 2009, ainda na Iniciação Científica, passando pelo mestrado em 2012 e até hoje, no doutorado.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski, por ser antes de tudo um amigo em quem posso confiar, mas também por ser meu coorientador desde o mestrado até o doutorado.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, por ter proporcionado a estrutura que foi o alicerce de toda a minha educação, passando pelo Ensino Médio em 2004, Engenharia de Produção em Controle e Automação em 2007, Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho em 2012, Mestrado em Engenharia de Produção em 2012, e agora o Doutorado. Agradeço também pelo fomento à publicação e participação de eventos fornecido pela UTFPR Câmpus Ponta Grossa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Guarapuava, à qual permitiu que eu cursasse o doutorado, fornecendo afastamento de minhas atividades para capacitação e também pela flexibilidade de horários nos períodos em que lecionei durante o doutorado.

Ao Prof. Dr. Thiago Antonini Alves e ao Prof. Dr. Erikson Freitas de Moraes, que cederam os equipamentos necessários à execução desta pesquisa.

Às acadêmicas Kaline Araújo de Oliveira e Juliane Pereira, por terem auxiliado e participado no desenvolvimento e aprimoramento do posto de trabalho utilizado neste estudo.

Aos amigos do PPGEF pelos momentos de apoio e amizade: Alana Corsi, Ana Cristina, Bethânia Rodrigues, Camila Matos, Kaline Araújo, Luís Cotian, Ramon Soltovski, Matheus Almeida, Pedro Filipe, Tamyres Faustino e Vitor Hugo.

Aos amigos que nem sempre participaram desta caminhada acadêmica, mas que estiveram ao meu lado: Álamo Batista, Ana Dzulinski, Cibele Aparecida, Guilherme Dutra, Michel Felipe, Nicolas Machado e Valéria Campese.

E por fim, agradeço sem nomear, às 32 pessoas que participaram dos experimentos deste estudo, comparecendo várias vezes e cedendo seu tempo pelo bem de minha pesquisa.

“É um negócio perigoso, Frodo, sair da sua porta.
Você pisa na estrada, e, se não controlar seus pés,
não há como saber até onde você pode ser levado.”

(J. R. R. Tolkien, 1954)

RESUMO

SOARES, André Luiz. **Predição de riscos ergonômicos ocasionados por movimentos repetitivos em membros superiores utilizando termografia infravermelha.** 2020. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

A análise de risco é uma das principais ferramentas de prevenção da ocorrência de doenças músculo esqueléticas relacionadas ao trabalho. Novos métodos de análise de risco devem buscar ser mais ágeis e simplificados, incentivando sua ampla aplicação nos ambientes de trabalho e com isso incentivando ações. Este estudo teve como objetivo desenvolver formas rápidas para avaliação do risco de desenvolvimento de doenças musculoesqueléticas nos membros superiores, utilizando uma câmera termográfica para medir a variação da temperatura da pele. Foi construída uma estação de trabalho em um laboratório com controle ambiental, e foram estabelecidas cinco tarefas, representando os níveis de risco definidos pelo Índice OCRA. Nesta estação de trabalho foram realizados 160 ensaios, com a participação de 32 voluntários, selecionados com critérios de inclusão e exclusão definidos na literatura publicada entre 1998 e 2018. Após a execução dos experimentos, observou-se alteração significativa na temperatura da pele nas regiões de interesse do ombro e antebraço em todos os níveis de risco executados, enquanto a pele da mão apresentou alteração significativa de temperatura apenas nos níveis de risco laranja, vermelho e roxo. O antebraço apresentou a maior correlação entre a variação da temperatura da pele e a intensidade da tarefa repetitiva, o que levou à execução de análise de regressão linear e múltipla utilizando como base a variação da temperatura da pele do antebraço. Foram propostas duas ferramentas que permitem uma análise rápida do nível de risco presente em postos de trabalho que contém esforços repetitivos, sendo que o modelo proposto que utiliza a variação da temperatura da pele do antebraço e a temperatura do ar apresentou $r = 0,746$ e $R^2 = 0,557$.

Palavras-chave: Ergonomia. Termografia. Lesões por esforços repetitivos. Avaliação de riscos.

ABSTRACT

SOARES, André Luiz. **Prediction of ergonomic risks caused by repetitive movements in the upper limbs using infrared thermography.** 2020. 163 p. Thesis (Doctorate in Production Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

Risk analysis is one of the main tools for preventing the occurrence of musculoskeletal diseases related to work. New methods of risk analysis should seek to be more agile and simplified, encouraging its wide application in the work environment and thereby encouraging actions. This study aimed to develop quick ways to assess the risk of developing musculoskeletal diseases in the upper limbs, using a thermographic camera to measure the variation in skin temperature. A workstation was built in a laboratory with environmental control, and five tasks were established, representing the risk levels defined by the OCRA Index. In this workstation 160 tests were carried out, with the participation of 32 volunteers, selected with inclusion and exclusion criteria defined in the literature published between 1998 and 2018. After the execution of the experiments, a significant change in the skin temperature was observed in the regions of interest of the shoulder and forearm in all risk levels performed, while the skin of the hand showed a significant temperature change only in the levels of risk orange, red and purple. The forearm showed the greatest correlation between the variation of the skin temperature and the intensity of the repetitive task, which led to the execution of linear and multiple regression analysis using as a basis the variation of the skin temperature of the forearm. Two tools have been proposed that allow a quick analysis of the risk level present in workplaces that contain repetitive efforts, and the proposed model that uses the variation of the forearm skin temperature and the air temperature showed $r = 0,746$ and $R^2 = 0,557$.

Keywords: Ergonomics. Thermography. Repetitive strain injuries. Risk assessment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Distribuição de Acidentes de Trabalho por categoria em 2018, com CAT registrada | 20 |
| Figura 2 – Músculos e tendões responsáveis pelo movimento da mão | 31 |
| Figura 3 – Posturas e movimentos dos ombros | 42 |
| Figura 4 – Posturas e movimentos dos cotovelos | 43 |
| Figura 5 – Posturas e movimentos dos punhos: flexão palmar (esq.) e extensão dorsal (dir.) | 43 |
| Figura 6 – Posturas e movimentos dos punhos: desvio ulnar (esq.) e radial (dir.).... | 43 |
| Figura 7 – Exemplos de pega em pinça (<i>pinch</i>) | 44 |
| Figura 8 – Exemplos de preensão em gancho (<i>hook grip</i>)..... | 44 |
| Figura 9 – Exemplos de pegas de precisão (<i>power grip</i>) e preensão palmar (<i>palmar grip</i>) | 44 |
| Figura 10 – O espectro eletromagnético | 51 |
| Figura 11 – Imagem termográfica mostrando uma estrutura danificada por umidade (esquerda) e fusíveis oxidados (direita) | 54 |
| Figura 12 - Modalidades de imagem típicas dentro do espectro eletromagnético..... | 55 |
| Figura 13 – Termografia infravermelha antes (B) e depois (A) da remoção das redes da água | 57 |
| Figura 14 – Fatores de influência na aplicação de termografia infravermelha em seres humanos..... | 59 |
| Figura 15 – Aprovação do projeto de pesquisa na Plataforma Brasil..... | 65 |
| Figura 16 – Etapas da Pesquisa | 66 |
| Figura 17 – Pacotes de atividades e subtarefas da etapa “Referencial Teórico” | 67 |
| Figura 18 – Teste inicial de palavras-chave: “ <i>Infrared Thermography</i> ” ou “ <i>Thermography</i> ”..... | 68 |
| Figura 19 – Pacotes de trabalho e subtarefas da etapa “Experimento” | 71 |
| Figura 20 – Etapas da Ação Técnica “Girar porca”, presente nas fases de montagem, rosqueamento e desrosqueamento | 73 |
| Figura 21 – Projeto de posto de trabalho | 77 |
| Figura 22 – Posto de trabalho construído | 77 |
| Figura 23 – Vestimenta utilizada para de medições de temperatura em outros estudos..... | 80 |
| Figura 24 – Áreas de medições de temperatura (regiões de interesse)..... | 82 |
| Figura 25 – ROI’s selecionadas neste estudo: mão, antebraço e ombro | 82 |
| Figura 26 – Modelo de câmera termográfica utilizada no presente estudo | 84 |
| Figura 27 – Pacotes de trabalho e subtarefas da etapa “Análise de Dados” | 85 |
| Figura 28 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)..... | 96 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 29 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)..... | 96 |
| Figura 30 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 5 | 97 |
| Figura 31 – Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)..... | 97 |
| Figura 32 – Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)..... | 98 |
| Figura 33 - Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 5 | 98 |
| Figura 34 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)..... | 99 |
| Figura 35 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)..... | 99 |
| Figura 36 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 5 | 99 |
| Figura 37 – Imagem termográfica de um participante homem, antes (esq.) e depois (dir.) de executar um esforço repetitivo de alto risco – Nível 5 por 20 minutos | 100 |
| Figura 38 – Imagem termográfica de uma participante mulher, antes (esq.) e depois (dir.) de executar um esforço repetitivo de alto risco – Nível 5 por 20 minutos | 100 |
| Figura 39 – Gráfico de dispersão do ombro – OCRA x Valor predito padronizado . | 121 |
| Figura 40 – Gráfico de dispersão do antebraço – OCRA x Valor predito padronizado | 122 |
| Figura 41 – Gráfico de dispersão da mão – OCRA x Valor predito padronizado | 123 |
| Figura 42 – Fluxograma de aplicação da ferramenta utilizando ΔT_F | 125 |
| Figura 43 – Gráfico de dispersão – OCRA x Valor predito padronizado | 128 |
| Figura 44 – Fluxograma de aplicação da ferramenta utilizando ΔT_F e T_a | 130 |
| Figura 45 – Distribuição de pausas durante o trabalho | 157 |
| Figura 46 – Posturas da Fase 1 – Montagem – Nível 1 | 158 |
| Figura 47 – Posturas da Fase 2 – Rosquear e desrosquear porca – Nível 1 | 158 |
| Figura 48 – Posturas da Fase 3 – Desmontagem – Nível 1 | 158 |
| Figura 49 – Posturas da Fase 1 – Montagem – Nível 2 | 159 |
| Figura 50 – Posturas da Fase 2 – Rosquear e desrosquear porca – Nível 2 | 159 |
| Figura 51 – Posturas da Fase 3 – Desmontagem – Nível 2 | 159 |
| Figura 52 – Posturas da Fase 1 – Montagem – Nível 3 | 160 |
| Figura 53 – Posturas da Fase 2 – Rosquear e desrosquear porca – Nível 3 | 160 |
| Figura 54 – Posturas da Fase 3 – Desmontagem – Nível 3 | 160 |
| Figura 55 – Posturas da Fase 1 – Montagem – Nível 4 | 161 |
| Figura 56 – Posturas da Fase 2 – Rosquear e desrosquear porca – Nível 4 | 161 |
| Figura 57 – Posturas da Fase 3 – Desmontagem – Nível 4 | 161 |
| Figura 58 – Posturas da Fase 1 – Montagem – Nível 5 | 162 |
| Figura 59 – Posturas da Fase 2 – Rosquear e desrosquear porca – Nível 5 | 162 |
| Figura 60 – Posturas da Fase 3 – Desmontagem – Nível 5 | 162 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Escala de Borg | 41 |
| Tabela 2 – Multiplicador de Força F_M | 41 |
| Tabela 3 – Multiplicador de Postura P_M | 45 |
| Tabela 4 – Multiplicador de Repetitividade: R_{eM} | 46 |
| Tabela 5 – Multiplicador de Recuperação R_{cM} | 47 |
| Tabela 6 – Multiplicador de Fatores Complementares A_M | 48 |
| Tabela 7 – Multiplicador de Duração Líquida t_M | 48 |
| Tabela 8 – Cálculo e interpretação do Índice OCRA..... | 49 |
| Tabela 9 – Diagnósticos do Índice OCRA | 49 |
| Tabela 10 – Exemplos de emissividade para superfícies reais..... | 53 |
| Tabela 11 – Fatores ambientais de influência na aplicação de termografia infravermelha..... | 60 |
| Tabela 12 – Fatores individuais intrínsecos de influência na aplicação de termografia infravermelha..... | 63 |
| Tabela 13 – Fatores individuais extrínsecos de influência na aplicação de termografia infravermelha..... | 64 |
| Tabela 14 – Resultados por combinações de palavras-chave e base de dados..... | 69 |
| Tabela 15 – Características da jornada de trabalho simulada | 72 |
| Tabela 16 – Parâmetros de tarefas repetitivas projetados para este estudo de acordo com os níveis de risco do Índice OCRA: Períodos de recuperação, Ações Técnicas e Repetitividade..... | 76 |
| Tabela 17 – Parâmetros de tarefas repetitivas projetados para este estudo de acordo com os níveis de risco do Índice OCRA: Postura e Força..... | 76 |
| Tabela 18 – Características técnicas da câmera termográfica FLIR T440..... | 84 |
| Tabela 19 – Estatísticas descritivas dos participantes do estudo..... | 88 |
| Tabela 20 – Estatísticas descritivas dos participantes do estudo..... | 89 |
| Tabela 21 – Índice OCRA Calculado..... | 90 |
| Tabela 22 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 1 – Parte 1 | 91 |
| Tabela 23 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 1 – Parte 2 | 91 |
| Tabela 24 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 2 – Parte 1 | 92 |
| Tabela 25 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 2 – Parte 2 | 92 |
| Tabela 26 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 3 – Parte 1 | 93 |
| Tabela 27 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 3 – Parte 2 | 93 |
| Tabela 28 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 4 – Parte 1 | 93 |
| Tabela 29 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 4 – Parte 2 | 94 |
| Tabela 30 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 1 | 94 |
| Tabela 31 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 2 | 94 |
| Tabela 32 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 3 | 94 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 33 – Variação de temperatura do ombro – Nível 1 | 102 |
| Tabela 34 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 1 | 102 |
| Tabela 35 – Variação de temperatura do ombro – Nível 2 | 103 |
| Tabela 36 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 2 | 103 |
| Tabela 37 – Variação de temperatura do ombro – Nível 3 | 104 |
| Tabela 38 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 3 | 104 |
| Tabela 39 – Variação de temperatura do ombro – Nível 4 | 105 |
| Tabela 40 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 4 | 105 |
| Tabela 41 – Variação de temperatura do ombro – Nível 5 | 106 |
| Tabela 42 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 5 | 106 |
| Tabela 43 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 1 | 107 |
| Tabela 44 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 1 | 107 |
| Tabela 45 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 2 | 108 |
| Tabela 46 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 2 | 109 |
| Tabela 47 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 3 | 109 |
| Tabela 48 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 3 | 110 |
| Tabela 49 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 4 | 110 |
| Tabela 50 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 4 | 111 |
| Tabela 51 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 5 | 111 |
| Tabela 52 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 5 | 112 |
| Tabela 53 – Variação de temperatura da mão – Nível 1 | 112 |
| Tabela 54 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 1... | 113 |
| Tabela 55 – Variação de temperatura da mão – Nível 2 | 113 |
| Tabela 56 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 2... | 114 |
| Tabela 57 – Variação de temperatura da mão – Nível 3 | 115 |
| Tabela 58 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 3... | 115 |
| Tabela 59 – Variação de temperatura da mão – Nível 4 | 116 |
| Tabela 60 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 4... | 116 |
| Tabela 61 – Variação de temperatura da mão – Nível 5 | 117 |
| Tabela 62 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 5... | 117 |
| Tabela 63 – Análise de correlação - ΔT_S x $\Delta OCRA$ | 119 |
| Tabela 64 – Análise de correlação - ΔT_F x $\Delta OCRA$ | 119 |
| Tabela 65 – Análise de correlação - ΔT_H x $\Delta OCRA$ | 120 |
| Tabela 66 – Análise de regressão - ΔT_S x $\Delta OCRA$ | 120 |
| Tabela 67 – Análise de regressão - ΔT_F x $\Delta OCRA$ | 121 |
| Tabela 68 – Análise de regressão - ΔT_H x $\Delta OCRA$ | 122 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 69 – Análise de regressão múltipla | 126 |
| Tabela 70 – Análise de regressão múltipla utilizando como variáveis independentes: Ta e ΔT_F | 127 |
| Tabela 71 – Teste de amostras emparelhadas – OCRA x OCRA_ <i>Pred</i> | 128 |
| | |
| Quadro 1 – Áreas de estudo da Ergonomia | 29 |
| Quadro 2 - Lista das patologias musculoesqueléticas dos membros superiores mais frequentemente associadas com o trabalho..... | 32 |
| Quadro 3 – Pausas exigidas pela NR 36 para as atividades de abate e processamento de carnes, da recepção à expedição de materiais | 35 |
| Quadro 4 – Lista não exaustiva de métodos de avaliação de risco de movimentos/esforços repetitivos de alta frequência | 36 |
| Quadro 5 – Detalhamento de ações técnicas..... | 38 |
| Quadro 6 –Fatores Técnicos de influência na aplicação de termografia infravermelha | 61 |
| Quadro 7 – Detalhamento de ações técnicas do braço direito | 72 |
| Quadro 8 – Detalhamento de ações técnicas do braço esquerdo | 74 |
| Quadro 9 – Fases de aplicação da proposta..... | 124 |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA | 23 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 23 |
| 1.3 OBJETIVOS | 24 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 24 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 25 |
| 1.4 HIPÓTESE | 25 |
| 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA | 25 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 27 |
| 2.1 ERGONOMIA | 27 |
| 2.2 LER E DORT | 29 |
| 2.3 LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO SOBRE ESFORÇOS REPETITIVOS | 33 |
| 2.4 MÉTODO OCRA | 37 |
| 2.4.1 Multiplicador de Força: F_M | 40 |
| 2.4.2 Multiplicador de Postura: P_M | 42 |
| 2.4.3 Multiplicador de Repetitividade: R_{eM} | 45 |
| 2.4.4 Multiplicador de Recuperação: R_{cM} | 46 |
| 2.4.5 Multiplicador de Fatores Complementares: A_M | 47 |
| 2.4.6 Multiplicador de Duração Líquida: t_M | 48 |
| 2.4.7 Interpretação do Índice OCRA | 48 |
| 2.5 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA | 50 |
| 2.5.1 Aplicações da Termografia Infravermelha | 54 |
| 2.5.2 Fatores de influência para aplicação de termografia infravermelha em seres humanos | 57 |
| 2.5.2.1 Fatores Ambientais | 59 |
| 2.5.2.2 Fatores Técnicos | 60 |
| 2.5.2.3 Fatores Individuais | 62 |
| 3 METODOLOGIA | 65 |
| 3.1 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA | 65 |
| 3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 65 |
| 3.3 PLANEJAMENTO DA PESQUISA | 65 |
| 3.4 REFERENCIAL TEÓRICO | 66 |
| 3.5 EXPERIMENTO | 70 |
| 3.5.1 Dimensionamento do Trabalho Repetitivo | 71 |
| 3.5.1.1 Dados organizacionais utilizados no cálculo da tarefa | 71 |
| 3.5.1.2 Ações Técnicas | 72 |
| 3.5.1.3 Postura | 74 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1.4 Ritmo, frequência e repetitividade da Tarefa | 74 |
| 3.5.2 Construção do Posto de Trabalho | 76 |
| 3.5.3 Participantes | 77 |
| 3.5.4 Condução dos Experimentos | 78 |
| 3.5.4.1 Local de Realização da Pesquisa | 78 |
| 3.5.4.2 Inclusão e exclusão de participantes | 79 |
| 3.5.4.3 Treinamento dos participantes | 79 |
| 3.5.4.4 Fornecimento de vestimenta apropriada ao participante | 80 |
| 3.5.4.5 Aclimação ao ambiente | 80 |
| 3.5.4.6 Execução dos experimentos | 81 |
| 3.5.5 Termografia Infravermelha | 81 |
| 3.5.5.1 Seleção de Regiões de Interesse | 81 |
| 3.5.5.2 Verificação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ambiente | 83 |
| 3.5.5.3 Posicionamento e ativação da câmera termográfica | 83 |
| 3.5.5.4 Captura de imagens térmicas (t0 e t20) | 84 |
| 3.5.5.5 Transferência das imagens térmicas | 85 |
| 3.6 ANÁLISE DE DADOS | 85 |
| 3.6.1 Análise das imagens termográficas | 85 |
| 3.6.2 Análise do trabalho repetitivo | 86 |
| 3.6.3 Registro dos dados coletados | 86 |
| 3.6.4 Análise estatística | 86 |
| 4 RESULTADOS | 88 |
| 4.1 PERFIL DA AMOSTRA | 88 |
| 4.2 ÍNDICE OCRA CALCULADO | 90 |
| 4.3 NORMALIDADE DOS DADOS | 95 |
| 4.3.1 Normalidade da variação de temperatura do ombro | 96 |
| 4.3.2 Normalidade da variação de temperatura do antebraço | 97 |
| 4.3.3 Normalidade da variação de temperatura da mão | 98 |
| 4.4 VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA PELE | 100 |
| 4.4.1 Variação intra níveis da temperatura do ombro | 101 |
| 4.4.2 Variação intra níveis da temperatura do antebraço | 107 |
| 4.4.3 Variação intra níveis da temperatura da mão | 112 |
| 4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: $\Delta T \times \Delta OCRA$ | 118 |
| 4.5.1 Correlação: $\Delta T_{S} \times \Delta OCRA$ | 118 |
| 4.5.2 Correlação: $\Delta T_{F} \times \Delta OCRA$ | 119 |
| 4.5.3 Correlação: $\Delta T_{H} \times \Delta OCRA$ | 119 |
| 4.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO: $\Delta T \times \Delta OCRA$ | 120 |
| 4.6.1 Regressão: $\Delta T_{S} \times \Delta OCRA$ | 120 |
| 4.6.2 Regressão: $\Delta T_{F} \times \Delta OCRA$ | 121 |
| 4.6.3 Regressão: $\Delta T_{H} \times \Delta OCRA$ | 122 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.7 PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS ORIUNDOS DE MOVIMENTOS REPETITIVOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATRAVÉS DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA E A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PELE DO ANTEBRAÇO..... | 123 |
| 4.8 PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS ORIUNDOS DE MOVIMENTOS REPETITIVOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATRAVÉS DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA, UTILIZANDO A TEMPERATURA DO AR E A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PELE DO ANTEBRAÇO | 126 |
| 5 DISCUSSÃO | 131 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 137 |
| REFERÊNCIAS..... | 139 |
| APÊNDICE A - Cálculo do Índice InOrdinatio | 149 |
| APÊNDICE B - Protocolo de Inclusão e Exclusão de Participantes | 154 |
| APÊNDICE C - Dimesionamento da Tarefa Repetitiva | 156 |

1 INTRODUÇÃO

As relações entre o homem e seu trabalho são objeto de estudo de diversas áreas de conhecimento. Ao analisar-se a relação entre o trabalho e o ser humano pelo viés de qualquer processo produtivo obtém-se que o ser humano é um recurso, comparável a uma matéria-prima, atuante em um processo produtivo, com função determinada previamente no ato de sua contratação. A tarefa, definida pela organização, é o processo que o ser humano deve executar ao receber um *input* ou entrada (ordem de produção, pedido do cliente, instrução de trabalho, demanda, entre outros) para então obter um *output*, resultado ou saída. Esse *output* pode ser de vários tipos como: novas informações a respeito de um fenômeno, um produto finalizado, inspecionado, mensurado, embalado, dependendo do processo executado ou então a transformação de uma matéria-prima para que possa ser utilizada pelas partes interessadas nas etapas seguintes do processo produtivo da organização.

Portanto, para a área de gestão da produção, a relação do ser humano com seu trabalho trata-se de uma relação clara entre *inputs*, processos de transformação e *outputs* executados no ambiente de trabalho fornecido pela empresa, com ferramentas e condições também fornecidas pela empresa. O ser humano é um recurso complexo empregado para gerar lucro, conforme qualquer organização capitalista.

No entanto, a interação entre o trabalho e o homem é muito mais complexa do que o demonstrado anteriormente pela visão gerencial. O trabalho é o meio pelo qual o ser humano provém o seu sustento e de sua família. É também o modo com que o trabalhador compra seus bens duráveis e não duráveis, experiências de vida, fomenta seus estudos e de sua família. Além disso, é um dos locais em que os seres humanos irão passar grande parte de suas vidas, normalmente 8 horas por dia a serviço da empresa.

O homem oferece a seu empregador seu tempo de trabalho, o seu conhecimento, a sua força e suas habilidades como uma mercadoria, obtendo em troca seu salário, condizente com o trabalho que ele fornece, sua experiência e qualificação. Em um ambiente de trabalho hipotético saudável e adaptado a cada trabalhador, com ausência de acidentes de trabalho e doenças do trabalho, os serviços citados anteriormente são os únicos recursos comprados pelo empregador,

ou seja, o trabalhador não “vende sua saúde”, e sim apenas sua força de trabalho e conhecimentos.

A empresa não deve comprar (em troca de salário) a saúde do trabalhador, e sim apenas o seu serviço. Portanto, o ambiente laboral não deve causar danos à saúde do empregado, temporários ou permanentes, ou ainda causar a perda da vida do trabalhador. Sempre que tais danos à saúde ocorrem, os mesmos devem ser reparados da melhor maneira possível pela organização.

Acidente de trabalho é o acidente que ocorre durante a execução do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados especiais, e que venha a provocar lesão corporal ou perturbação funcional permanente ou temporária e também tenha como consequência a morte ou perda/redução da capacidade para o trabalho (MTPS, 2018). Dentro dessa definição existem ainda três categorias de acidente de trabalho:

- Acidente Típico: acidente decorrente da característica da atividade profissional desempenhada pelo trabalhador. Normalmente são acidentes de rápida identificação da lesão sofrida, como: cortes, fraturas, perfurações, choques elétricos, quedas, queimaduras, amputações, entre outros;

- Acidente de Trajeto: é o acidente que ocorre durante o transporte do funcionário de sua casa para o trabalho e vice-versa também são considerados acidentes de trabalho, recebendo a caracterização de Acidente de Trajeto. Nesses casos, mesmo que o meio de transporte não seja fornecido pela empresa a situação ainda se caracteriza como acidente de trabalho, respeitadas as devidas circunstâncias de trajeto e tempo de trajeto;

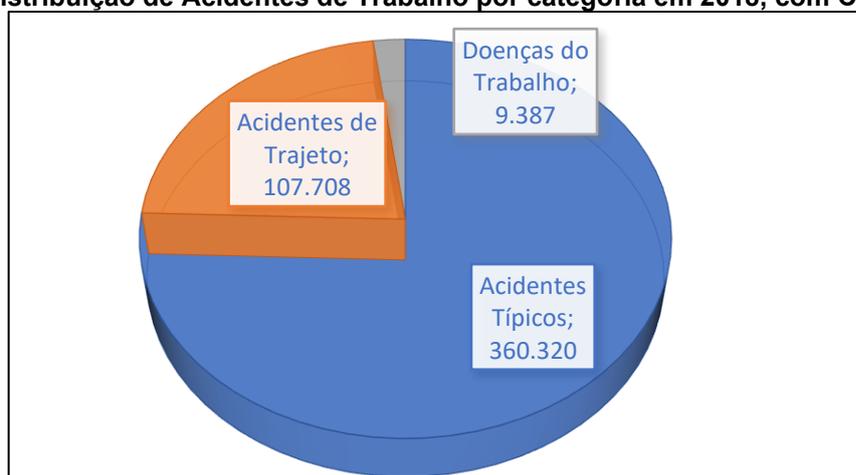
- Doença do Trabalho: são acidentes do trabalho ocasionados por doenças profissionais peculiares a determinado ramo de atividade e definidos pela Previdência Social.

Doenças do Trabalho normalmente são gradativas e em alguns casos não apresentam sintomas de maneira prematura ou visível, ou podem apenas apresentar dores em determinadas regiões do corpo, tornando o diagnóstico muito mais complexo e lento. Tais situações normalmente ocorrem a médio e longo prazo e possuem maior dificuldade em relacionar a doença e onexo causal com a atividade

exercida pelo trabalhador, sendo tal nexa nomeado Nexa Técnico por Doença Equiparada a Acidente de Trabalho – NTDEAT (MTPS, 2018). Para a comprovação do nexa causal entre Doença e Trabalho é necessária análise individual de cada segurado, sendo analisados todos os elementos referentes à tarefa e a execução da mesma.

No ano de 2018 foram registrados no Brasil 576.951 acidentes de trabalho, sendo que destes 477.415 foram registrados com Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), distribuídos entre acidentes típicos, acidentes de trajeto e doenças do trabalho. A Figura 1 demonstra a distribuição de acidentes de trabalho em função de sua categoria.

Figura 1 - Distribuição de Acidentes de Trabalho por categoria em 2018, com CAT registrada



Fonte: Adaptado de MTPS (2018a)

Ao analisar-se a idade na qual ocorreram ou foram identificados os nexos causais de cada categoria de acidente, tem-se que a faixa etária de maior ocorrência de acidentes típicos e de trajeto foi de 25 a 34 anos, representando 32,18% e 35,05% respectivamente, enquanto na categoria de doenças do trabalho a faixa etária mais incidente é de 35 a 44 anos de idade, representando 36,05% (MTPS, 2018). Isso demonstra como o diagnóstico de doenças do trabalho acaba sendo mais tardio e também como os sintomas demoram a aparecer, devido à dificuldade de identificação de nexa causal entre os mesmos e o trabalho desempenhado.

Os esforços repetitivos, dependendo do seu ciclo, número de ações técnicas, jornada de trabalho, pausas e outros fatores, podem ocasionar doenças musculoesqueléticas ao longo do tempo. Particularmente os movimentos repetitivos

utilizando os membros superiores são um grande risco para os trabalhadores devido à possibilidade de desenvolvimento de lesões (ANTONUCCI, 2019).

Existem metodologias de análise ergonômica que buscam avaliar os ambientes de trabalho no que diz respeito à movimentos repetitivos, sendo que a norma ISO 11228-3 (ISO, 2015), a qual trata da ergonomia da manipulação de pequenas cargas em frequências elevadas, recomenda a metodologia OCRA para a análise e prevenção do risco por esforços repetitivos dos movimentos superiores,

Existem outros métodos de análise de esforços repetitivos, como o *Strain Index* e o *Hand Activity Level*. Tais métodos, juntamente com o Índice OCRA, exigem grande conhecimento prévio do ergonomista para aplicação, gerando, portanto, a necessidade de uma forma mais rápida de avaliar os postos de trabalho em relação aos riscos por esforços repetitivos dos membros superiores.

Os próprios autores do Índice OCRA desenvolveram uma versão simplificada do método, denominada Check-list OCRA (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006), que busca fornecer uma avaliação mais rápida e objetiva dos postos de trabalho. No entanto, a necessidade de coleta de diversas variáveis permanece tanto no Índice OCRA quanto no Check-list OCRA, sendo que o Índice OCRA é o método indicado para avaliações detalhadas.

A termografia infravermelha é uma tecnologia acessível através das câmeras termográficas e que possui diversas aplicações no campo da engenharia. Ao utilizar uma câmera termográfica e conhecendo-se previamente a emissividade do material que deseja-se analisar, é possível determinar com precisão a temperatura da superfície de um material ao capturar uma foto térmica ou termograma (BERGMAN; LAVINE, 2019; FERNÁNDEZ-CUEVAS et al., 2015).

A aplicação da termografia infravermelha em seres humanos possui diversas aplicações já exploradas por cientistas, principalmente no que diz respeito à saúde e diagnósticos. Alguns exemplos de uso de termografia infravermelha em seres humanos são (LAHIRI et al., 2012; SOUSA et al., 2017; FAUST et al., 2014; NG, 2009; SZENTKUTI et al., 2011; VARDASCA et al., 2012; RING; AMMER, 2012; ZAPROUDINA et al., 2006): detecção de câncer de mama, diagnóstico de problemas vasculares em diabéticos, análises odontológicas e diagnóstico de problemas ósseos. Estudos termográficos em seres humanos oferecem muitas vantagens, especialmente para o participante ou paciente sendo avaliado, pois é uma tecnologia rápida, indolor,

higiênica, que não necessita de contato físico com o paciente, portátil e economicamente acessível (FERNÁNDEZ-CUEVAS et al. (2015).

O uso de termografia infravermelha para análise durante exercícios físicos ou atividades laborais é um campo que vêm sendo explorado nos últimos anos de diversas formas. Andrade Fernandes et al. (2014) analisaram a temperatura da pele de diversas regiões do corpo humano, comparando-as antes, durante e a após a execução de exercícios físicos em uma esteira elétrica. Guertler et al. (2016) aplicaram termografia infravermelha, e obtiveram resultados que demonstraram ocorrer aumento de temperatura em regiões do corpo onde os trabalhadores sentiram dor, ao trabalhar na produção de ostras, no Brasil.

Avaliações termográficas foram executadas por Tirloni et al. (2017), analisando a temperatura das mãos de trabalhadores expostos à baixas temperaturas no abate de suínos, enquanto Ramos et al. (2015) analisou o abate de aves em condições ambientais artificialmente frias; Rossignoli et al. (2016) analisaram a relação entre a presença de dor e a variação da temperatura da pele em testes de propulsão de cadeiras de roda, utilizando câmeras termográficas; Gold et al. (2004, 2009, 2010) estudaram a temperatura da região dorsal das mãos em trabalhos manuais em escritórios, principalmente em tarefas envolvendo digitação, enquanto Reste et al. (2015) analisaram a queda da temperatura do punho após o trabalho prolongado com mouse de computador; Bartuzi et al. (2012) pesquisaram a relação entre a fadiga muscular e a temperatura da pele; Govindu; Babski-Reeves (2012) estudaram a temperatura da pele do músculo anterior deltóide em tarefas executadas acima da altura da cabeça dos trabalhadores.

Este trabalho aplicou uma metodologia de pesquisa de artigos científicos e classificação dos mesmos, utilizando uma janela temporal de 20 anos (1998-2018), onde não foram encontrados artigos que buscassem relacionar o Índice OCRA com variação da temperatura da pele com o intuito de desenvolver uma ferramenta ergonômica.

Diante da contextualização apresentada e do ineditismo do tema, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de análise de riscos provenientes de esforços repetitivos, através da termografia infravermelha e baseada na classificação de riscos do Índice OCRA.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como a termografia infravermelha pode ser utilizada para prever riscos ergonômicos ocasionados por esforços repetitivos dos membros superiores?

1.2 JUSTIFICATIVA

A prevenção de acidentes de trabalho afeta não apenas a economia nacional, mas também as famílias dos trabalhadores. Toda lesão possui consequências na vida do trabalhador, sendo que algumas são irreversíveis e podem impedir que o mesmo retorne a executar a sua função ou até causar a morte do trabalhador.

Lesões por esforço repetitivo no trabalho são doenças de médio a longo prazo e que demoram a apresentar sintomas, ou por vezes têm seus sintomas ignorados. As ferramentas de análise ergonômica, embora comprovadamente eficientes (ANTONUCCI, 2019), possuem aplicação complexa e que requerem grande conhecimento, capacidade de interpretação correta dos resultados e normalmente interferem na execução do trabalho, afetando a produtividade e produção. Portanto, novos métodos de análise de riscos ergonômicos em movimentos repetitivos e classificação de postos de trabalho em relação aos riscos presentes, quanto mais ágeis e fáceis de serem aplicados podem auxiliar a prevenir lesões através do diagnóstico precoce.

A termografia infravermelha é uma tecnologia que possui aplicações recentes na saúde humana em diversas áreas, tais como: câncer de mama, febre, pressão sanguínea, ginecologia, termorregulação, tratamento dos rins (LAHIRI et al., 2012); medicina do esporte (CÔRTE; HERNANDEZ, 2016); exercícios físicos (PAOLILLO et al., 2013; FERNANDES et al., 2014); análises clínicas em pacientes (NOWICKA, 2017); diabetes (BHARARA et al., 2006).

A tecnologia de termografia infravermelha possui uma grande vantagem no que se refere a outros modos de diagnóstico por imagens por tratar-se de um instrumento de análise não invasiva e não radioativo (CÔRTE; HERNANDEZ, 2016), boa resolução de imagem aliada à tamanho de imagem e portabilidade do instrumento

de medição (SOUSA et al., 2017) e velocidade de aplicação de acordo com Jones e Plassmann (2002).

Através de uma ampla bibliometria (detalhada posteriormente neste trabalho) aplicando-se a ferramenta *Methodi Ordinatio* (PAGANI et al., 2015) referente aos últimos 20 anos (1998-2018) foram analisados 379 artigos científicos, verificando-se que o uso da termografia infravermelha como um método de análise ergonômica de movimentos repetitivos dos membros superiores é uma aplicação inédita. No entanto, alguns pesquisadores já buscaram avaliar situações de trabalho através da termografia infravermelha sem o intuito de propor um método.

Ramos et al. (2015) e Tirloni et al. (2017, 2018) avaliaram as mãos de trabalhadores de abate de animais quando expostos ao frio através de câmeras termográficas, e também quanto ao uso de equipamentos de proteção individual. Govindu e Babski-Reeves (2012) avaliaram o comportamento termográfico do músculo anterior deltóide durante a execução de tarefas semelhantes a montagens automotivas em um laboratório controlado. Flores-Olivares et al. (2015) aplicaram a termografia infravermelha ao caso específico de bateristas, buscando determinar a variação de temperatura da região lombar após um ensaio de 45 minutos de duração.

Caso a aplicação de termografia infravermelha prove-se viável será possível analisar postos de trabalho de maneira mais rápida. Um método rápido de análise ergonômica poderia alcançar mais empresas e, conseqüentemente, mais trabalhadores que podem ser vítimas de condições inadequadas de trabalho e, portanto, sujeitos a serem acometidos de doenças do trabalho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta ergonômica baseada na aplicação de termografia infravermelha e que permita avaliar o risco de ocorrência de lesões nos membros superiores devido à execução de esforços repetitivos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar experimentos simulados em laboratório, com participantes homens e mulheres, empregando níveis de esforço repetitivo dimensionados de acordo com o Índice OCRA;
- Mensurar a variação da temperatura da pele das Regiões de Interesse (ROI's) dos membros superiores dos participantes do estudo utilizando de termografia infravermelha no início e após o encerramento da execução de tarefas simuladas compostas por esforços repetitivos dos membros superiores;
- Analisar e determinar através de testes estatísticos qual a melhor ROI para desenvolver a ferramenta ergonômica proposta neste estudo;
- Propor através de regressão linear simples/múltipla um método de cálculo do Índice OCRA em função da variação de temperatura da pele, obtida através de termografia infravermelha, bem como sua forma de aplicação;
- Analisar o potencial de aplicação da ferramenta proposta, expondo seus pontos fortes, pontos fracos e limitações da ferramenta.

1.4 HIPÓTESE

Devido à execução de níveis graduais de esforços repetitivos utilizando os membros superiores, supõe-se que ocorrerão aumentos graduais da temperatura da superfície da pele dos membros superiores proporcionais ao nível de esforço repetitivo executado.

Dessa forma será possível, através de regressão linear, formular uma equação de Índice OCRA em função da variação da temperatura da pele das Regiões de Interesse (ROI's) obtidas através de termografia infravermelha.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

No método de predição proposto nessa pesquisa foi empregado o Índice OCRA para a elaboração de diferentes níveis de exposição a esforços repetitivos, correlacionando os resultados obtidos com a temperatura da pele dos membros superiores obtida por uma câmera termográfica. Portanto foram considerados como

dimensões para a criação das tarefas: ausência de períodos de recuperação adequados, repetitividade (frequência de ações), força, posturas e movimentos inadequados e fatores adicionais (mecânicos, ambientais e organizacionais), sendo estes os fatores analisados no Índice OCRA (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006) para análise de esforços repetitivos.

Em relação ao emprego da termografia infravermelha em seres humanos existem características ambientais que devem ser atendidas para evitar ao máximo a influência de fatores externos no diagnóstico. Ring e Ammer (2000) detalham quais características (serão detalhadas no corpo desse trabalho) devem ser atendidas ao serem capturadas imagens termográficas com precisão, sendo, porém não limitando-se a: tamanho da sala, temperatura ambiente, *display* de temperatura da sala, computador utilizado, cubículo do paciente, sistema de imagem termográfica (câmera) e orientações que devem ser seguidas pelos pacientes. Fernández-Cuevas et al. (2015) listam ainda outras características que podem influenciar a medição termográfica dividindo-as em: Fatores Ambientais, Fatores Individuais e Fatores Técnicos. Tais fatores devem ter sua influência minimizada para evitar que afetem os dados de temperatura obtidos por câmeras termográficas.

Para atender de maneira satisfatória as condições corretas de experimentos com o uso de câmeras termográficas optou-se por realizar todo o presente estudo em um laboratório ambientalmente controlado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Ponta Grossa, sendo este o Laboratório de Termografia – LabTerm.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados os tópicos essenciais para elaboração, execução, análise e interpretação do presente estudo. Os assuntos abordados a seguir são: Ergonomia (2.1), LER e DORT (2.2), Legislação e Normalização (2.3), Método OCRA (2.4) e Termografia Infravermelha (2.5).

2.1 ERGONOMIA

A Ergonomia é uma área da ciência atuante em diversos processos e atividades, como por exemplo: indústrias, escritórios, hospitais, universidades, cozinhas, construção civil, laboratórios e em qualquer outra situação onde exista o relacionamento entre o ser humano e uma atividade produtiva. Em todos esses locais de trabalho, a Ergonomia possui um propósito comum: adaptar o trabalho ao homem em todos os ambientes de trabalho existentes, para torná-los compatíveis com as características e limitações de cada indivíduo (IIDA, 2016).

Para a IEA - Associação Internacional de Ergonomia (ABERGO, 2018), a Ergonomia é uma disciplina que busca analisar como o ser humano se relaciona com os elementos e sistemas de seu trabalho, aplicando estudos científicos a postos de trabalho para otimizar o bem-estar e o desempenho.

Portanto, ao unir tais definições, a Ergonomia trata-se de uma disciplina científica que utiliza conhecimentos de diversas áreas buscando conhecer as limitações do ser humano em relação ao ambiente de trabalho e também a sua condição ideal de trabalho. Ainda, a Ergonomia busca modificar ou criar um ambiente laboral de modo a adaptá-lo ao ser humano e assim evitar a ocorrência de doenças e acidentes na execução das tarefas.

A Ergonomia também analisa aspectos relacionados ao trabalho durante o projeto do posto de trabalho, bem como após a implementação desse posto, monitorando os efeitos que o trabalho está gerando ao trabalhador durante a execução de seu trabalho e observando oportunidades de melhoria (IIDA, 2016). Segundo Dul e Weerdmeester (2012), a Ergonomia também pode ser definida como

uma ciência focada no projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas, buscando melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência do trabalho.

A Ergonomia e Fatores Humanos busca aliar o bem-estar do ser humano à otimização dos sistemas de trabalho para obter melhores resultados de desempenho (SALMON; MACQUET, 2018). A adaptação do trabalho ao homem a melhoria da performance no trabalho devem ser realizadas em paralelo, tendo como prioridade a adaptação do posto de trabalho, e a produtividade de modo secundário (BUCKLE et al., 2012).

A disciplina Ergonomia deve ser entendida como uma disciplina em que o ergonomista deve possuir uma visão orientada aos sistemas (WILSON, 2014). Em esforço conjunto, Buckle et al. (2012) buscaram determinar os rumos que a Ergonomia e Fatores Humanos estavam tomando como uma disciplina e como atrair novos profissionais para a área, chegando a três conclusões:

- A Ergonomia e Fatores Humanos possuem abordagem sistêmica;
- A Ergonomia e Fatores Humanos são focadas em *design* e projeto;
- A Ergonomia e Fatores Humanos focam em dois resultados conjuntos: bem-estar do trabalhador e desempenho.

Percebe-se, portanto, que a Ergonomia e Fatores Humanos evoluiu ao longo do tempo, pois hoje em dia possui diferentes objetivos que buscam gerar benefícios ao trabalhador e também à empresa (HOLLNAGEL, 2014). Essa evolução foi necessária para que as organizações estivessem mais dispostas a dar mais espaço para ergonomistas atuarem no mundo todo, uma vez que os benefícios são maiores quando o desempenho do trabalhador também é melhorado e podem trazer potenciais lucros e redução de perdas.

Segundo Silva et al. (2012) uma abordagem econômica pode auxiliar o ergonomista no processo de aprovação de suas sugestões de intervenção nos postos de trabalho de uma companhia, ao demonstrar financeiramente que as modificações de postos de trabalho gerarão vantagens para a empresa. Organizações ainda esperam que a Ergonomia e Fatores Humanos evolua ainda mais, diminuindo o foco dos ergonomistas em normas e leis para então aliar-se ao planejamento estratégico

das organizações (EDWARDS; JENSEN, 2014), sendo esta, portanto, uma visão gerencial da ergonomia segundo os autores citados previamente.

Os estudos ergonômicos abrangem diversas áreas, como: antropometria, biomecânica ocupacional, postos de trabalho e layout, disposição de informação, percepção e processamento de informações, organização do trabalho, segurança do trabalho e ambientes. Segundo a ABERGO (2018) – Associação Brasileira de Ergonomia (2018) divide-se em três áreas, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 – Áreas de estudo da Ergonomia

| Ergonomia Física | Ergonomia Cognitiva | Ergonomia Organizacional |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anatomia, antropometria, fisiologia, biomecânica, postura, manuseio de materiais e ferramentas, movimentos repetitivos e distúrbio musculoesqueléticos. | Processos mentais como percepção, aprendizado, memória, raciocínio, carga mental de trabalho, tomada de decisão, entre outros. | Estrutura organizacional, comunicações, gerenciamento, trabalho em grupo e cooperativo, projeto participativo, entre outros. |

Fonte: Adaptado de ABERGO (2018)

A Ergonomia Física pode influenciar na ocorrência de doenças musculoesqueléticas principalmente quando o posto de trabalho permite que posturas biomecânicas ruins sejam executadas pelos trabalhadores (RAHMAN et al., 2015). A Ergonomia Cognitiva relaciona-se com a capacidade mental de execução de tarefas, bem como o dimensionamento correto da carga mental da tarefa. Já a Ergonomia Organizacional está ligada à estrutura das organizações e aos relacionamentos entre colaboradores e sua gerência.

O presente projeto de pesquisa está inserido na Ergonomia Física, tendo como área principal de estudo os distúrbios musculoesqueléticos dos membros superiores relacionados ao trabalho.

2.2 LER E DORT

A Lesão por Esforços Repetitivos, também conhecida no Brasil como LER, é uma lesão cumulativa que ocorre em diversas partes do corpo devido à aplicações de forças repetitivas a uma estrutura do corpo humano e que, ao longo do tempo, pode desgastar e danificar tais estruturas (BATALHA, 2007), reduzindo ou incapacitando

totalmente o ser humano na execução de determinadas ações. Internacionalmente o termo LER também pode ser encontrado como CTD - *Cumulative Trauma Disorders*, ou seja, Transtornos do Trauma Cumulativo (CAMARGO et al., 2012) ou então pela tradução literal para o inglês como RSI - *Repetitive Strain Injury* (GOLD et al., 2009).

O termo Lesão por Esforço Repetitivo é uma definição bastante abrangente para diversos tipos de distúrbios que possuem uma mesma causa raiz. Esse termo envolve uma série de doenças já conhecidas (e que podem possuir outras causas) sob uma única nomenclatura de modo a compreendê-las melhor devido à sua origem, uma vez que são oriundas das condições de trabalho. Alguns exemplos de doenças que se encaixam sob o termo LER segundo Camargo et al. (2012), Varjú et al. (2004) e Vranceanu et al. (2011): Síndrome do Túnel do Carpo, Síndrome do Pronador, Síndrome da Dor Regional Complexa, Bursite, Epicondilite e Tenossinovite.

No entanto, quando a origem da doença por esforços repetitivos está na execução do trabalho, a mesma recebe a nomenclatura DORT: Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho. Em inglês aplica-se o termo WMSD's - *Work-related Musculoskeletal Disorders*, e nas situações em que avalia-se apenas as doenças que ocorrem nos membros superiores a nomenclatura torna-se UL-WMSDs - *Upper Limb Work-Related Musculoskeletal Disorders*.

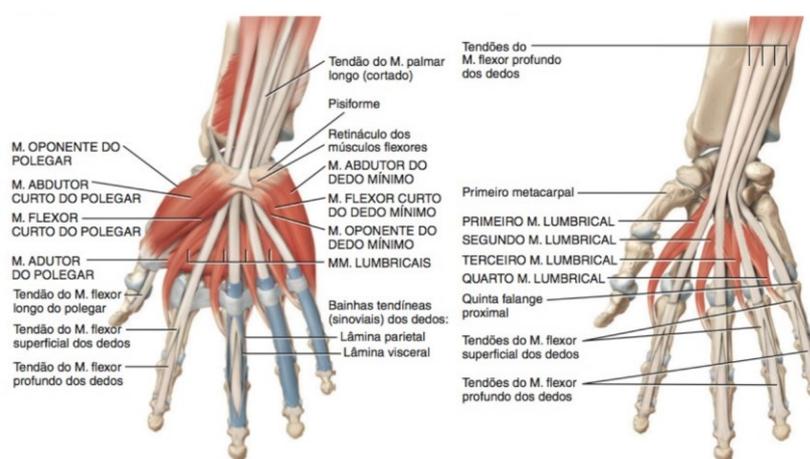
Segundo o Ministério da Saúde do Brasil, as LER e DORT são as doenças ocupacionais que mais afetaram os trabalhadores brasileiros no período entre 2007 e 2016, sendo que os setores mais afetados foram a indústria, comércio, alimentação, transporte e serviços domésticos (MTS, 2019).

Segundo Brunnekreef et al. (2012), as lesões podem se manifestar principalmente no pescoço, ombro, cotovelo, antebraço, punho e/ou mãos e também em mais de uma dessas áreas ao mesmo tempo. Entre os efeitos da exposição prolongada à esforços repetitivos observou-se modificações musculoesqueléticas e na circulação, modificações nas fibras musculares, redução da capilarização, redução local do fluxo sanguíneo, entre outros efeitos.

Os riscos associados às lesões por esforço repetitivo como força, repetitividade, exposição prolongada, posturas não neutras e levantamento de objetos (mesmo que leves) elevam os riscos biomecânicos relacionados ao trabalho (MASCI et al., 2019) e também afetam os tendões e músculos da região utilizada em excesso.

Os sinais iniciais de lesão aos tendões são inflamações e conseqüentemente a dor. Inicialmente a musculatura ao redor da área afetada tentará limitar os movimentos para evitar a geração de dor e, em seguida, de modo a tentar reduzir o atrito dentro dos tendões, será aumentada a produção de líquido sinovial dentro da bainha do tendão (BATALHA, 2007). A Figura 2 ilustra a musculatura e tendões das mãos e punho, sendo possível observar as bainhas tendíneas (sinoviais).

Figura 2 – Músculos e tendões responsáveis pelo movimento da mão



Fonte: Tortora; Derrickson (2010)

O aumento de líquido sinovial fará com que o tendão aumente de tamanho, o que acaba gerando ainda mais dor e criando um ciclo vicioso entre o corpo sofrendo lesões e tentando recuperar-se (BATALHA, 2007). Neste momento é necessária a intervenção ergonômica, caso contrário o trabalhador permanecerá agravando cada vez mais a sua lesão, podendo reduzir a sua capacidade de trabalho e até afastá-lo de suas funções para tratamento médico e recuperação se possível.

As Lesões por Esforço Repetitivo normalmente acometem os membros superiores nas seguintes regiões distintas: ombro, cotovelo/antebraço, punho e mão/dedos. Colombini; Occhipinti; Fanti (2014) trazem uma relação das principais doenças dos membros superiores relacionadas ao trabalho, mostradas no Quadro 2.

Quadro 2 - Lista das patologias musculoesqueléticas dos membros superiores mais frequentemente associadas com o trabalho

| Ombro | Cotovelo/Antebraço | Punho/Mão/Dedos |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Tendinopatia do manguito rotador | Epicondilite lateral | Tendinite e Tenosivite dos músculos flexores/extensores |
| Periartrite calcárea | Epicondilite medial | Dedo em gatilho |
| Tendinopatia do cabo longo do bíceps | Tendinopatia da inserção distal do tríceps | Cisto tendíneo |
| Bursite | Bursite olecraniana | Doença de De Quervain |

Fonte: Adaptado de Colombini; Occhipinti; Fanti (2014)

No Brasil, segundo a última versão do Anuário Estatístico da Previdência Social (MTPS, 2018), a faixa de idade que mais apresentou casos de Doenças do Trabalho foi entre 35 e 44 anos, representando 36,05% % do total. Isso demonstra como o diagnóstico das doenças pode ser tardio, quando os problemas de saúde são mais graves e difíceis de serem combatidos. As áreas em que ocorreram a maior parte dos casos de acordo com o CNAE – Classificação Nacional de Atividade Econômica (2.0), são os bancos comerciais, seguidos de atividades de correio, abate de suínos, aves e outros pequenos animais, fabricação de automóveis e peças de automóveis.

A fim de facilitar o reconhecimento das doenças de trabalho e seu nexo causal, existe dentro do Regulamento da Previdência Social (MTPS, 1999), Decreto nº 3.048 de 1999, uma Tabela de doenças em função de sua provável causa dentro do posto de trabalho. Neste documento estão listadas todas as causas ou agentes de doenças de trabalho reconhecidas à época, tais como: arsênio, asbesto, chumbo, iodo, mercúrio, sílica, ruídos, vibrações, radiações, parasitas, bactérias, poeiras, motivos sociais (emprego e desemprego, relacionamento com colegas e chefia, entre outros), ritmo de trabalho penoso e, por fim, posições forçadas e gestos repetitivos.

Segundo o Regulamento da Previdência Social (MTPS, 1999) as seguintes doenças podem ser relacionadas à posições forçadas e gestos repetitivos:

- Transtornos do plexo braquial: Síndrome da Saída do Tórax, Síndrome do Desfiladeiro Torácico;
- Mononeuropatias dos Membros Superiores: Síndrome do Túnel do Carpo, Síndrome do Pronador Redondo, Síndrome do Canal de Guyon, Síndrome do Túnel Cubital, Lesão do Nervo Cubital (ulnar), Compressão do Nervo Supraescapular;

- Mononeuropatias do membro inferior: Lesão do Nervo Poplíteo Lateral;
- Outros transtornos articulares não classificados em outra parte: Dor Articular;
- Síndrome Cervicobraquial;
- Dorsalgia: Cervicalgia, Ciática, Lumbago com Ciática;
- Sinovites e Tenossinovites: Dedo em Gatilho, Tenossinovite do Estilóide Radial (De Quervain), outras Sinovites e Tenossinovites;
- Transtornos dos tecidos moles relacionados com o uso, o uso excessivo e a pressão, de origem ocupacional: Sinovite Crepitante Crônica da mão e do punho, Bursite da Mão, Bursite do Olécrano, outras Bursites do Cotovelo;
- Fibromatose da Fascia Palmar: “Contratura ou Moléstia de Dupuytren”;
- Lesões do Ombro: Capsulite Adesiva do Ombro (Ombro Congelado, Periartrite do Ombro), Síndrome do Manguito Rotatório ou Síndrome do Supraespinhoso, Tendinite Bicipital, Tendinite Calcificante do Ombro, Bursite do Ombro e outras Lesões do Ombro;
- Outras entesopatias: Epicondilite Medial, Epicondilite lateral (“Cotovelo de Tenista”) e Mialgia.

Percebe-se que a quantidade de doenças que possuem como possíveis causas posições forçadas e gestos repetitivos, mostrando a grande necessidade de atuação da área de Ergonomia e Segurança no Trabalho na adaptação de postos de trabalho e preservação da saúde dos trabalhadores.

2.3 LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO SOBRE ESFORÇOS REPETITIVOS

A legislação nacional referente à segurança no trabalho é o conjunto de Normas Regulamentadoras, denominadas NR's. Após a publicação da Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978, foram regulamentadas as primeiras 28 Normas Regulamentadoras, abrangendo temas como: atividades insalubres e perigosas, riscos ambientais, obras de construção e também a Ergonomia.

Nos dias de hoje já foram publicadas 37 NR's, sendo a mais recente focada em segurança para trabalho em plataformas de petróleo. A NR que trata do tema

Ergonomia é a NR 17, criada em 1978 e com versão mais atualizada datada de 26 de outubro de 2018 (MTPS, 2018b).

No entanto o tema lesão por esforço repetitivo ou movimentos repetitivos não recebem destaque na NR 17 (MTPS, 2018b), sendo tratados apenas no tocante às atividades de processamento eletrônico de dados, utilizando digitação. Nesse caso, o tempo máximo de trabalho é de 5 horas, sendo que é obrigatória a realização de pausas de 10 minutos de duração a cada 50 minutos trabalhados, sem dedução salarial pelo tempo em pausa. O número de toques no teclado não deve ultrapassar 8.000 por hora de trabalho, e caso o trabalhador esteja afastado de suas atividades por um período de 15 dias ou mais, deve ser respeitada sua queda de produtividade e aumento gradual ao valor máximo de 8.000 toques no teclado.

Porém, na NR 17 (MTPS, 2018b) destaca-se que atividades que venham a sobrecarregar de maneira estática ou dinâmica a musculatura do pescoço, ombros, dorso, membros superiores e inferiores, devem ter pausas durante a jornada de trabalho para descanso.

A NR 36 - Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados (MTPS, 2018c), cujo escopo é avaliar, controlar e monitorar as atividades de abate e processamento de carnes estipula novas ações em relação às atividades repetitivas, uma vez que a tarefa de abate e processamento de carnes normalmente emprega o uso de ferramentas como facas, uso de força e alta repetitividade. No entanto, muitas das orientações são genéricas, como por exemplo no artigo 36.14.1, onde afirma-se que devem ser tomadas medidas de engenharia, organizacionais e administrativas para diminuir ou eliminar atividades repetitivas dos membros superiores.

Ainda no escopo da NR 36, orienta-se que nas situações onde exista a execução de atividades contínuas e repetitivas, deve-se evitar (MTPS, 2018c):

- Movimentos bruscos de impacto dos membros superiores;
- Uso excessivo de força muscular;
- Frequência de movimentos dos membros superiores que possam comprometer a segurança e saúde do trabalhador;
- Exposição prolongada a vibrações;
- Imersão ou contato permanente das mãos com água.

No artigo 36.13.2 da NR 36 é fornecido ainda um quadro de orientação sobre a aplicação de pausas na jornada de trabalho, conforme o Quadro 3. O tempo total de pausas deve ser distribuído pelo empregador de forma que a pausa mínima seja de 10 minutos e a máxima de 20 minutos.

Quadro 3 – Pausas exigidas pela NR 36 para as atividades de abate e processamento de carnes, da recepção à expedição de materiais

| Jornada de Trabalho | Tempo de Tolerância para Aplicação da Pausa | Tempo de Pausa |
|---------------------|---------------------------------------------|----------------|
| Até 6h | Até 6h20min | 20 minutos |
| Até 7h20min | Até 7h40min | 45 minutos |
| Até 8h48min | Até 9h10min | 60 minutos |

Fonte: Adaptado de MTPS (2018c)

As ações propostas pela NR 36 carecem em fornecer limites de tolerância para os fatores citados, como por exemplo a intensidade da força empregada, limitação da frequência de ações e limitação da exposição à vibrações. Percebe-se portanto a necessidade de um método de avaliação da exposição ao esforço repetitivo que forneça um diagnóstico sobre a situação de cada trabalhador e permita agir de modo a reduzir o risco determinado por tal metodologia.

A norma NBR ISO 11228-3 – Ergonomia – Movimentação Manual – Parte 3: Movimentação de cargas leves em alta frequência de repetição (ABNT ISO, 2014) sendo baseada na norma internacional homônima, fornece recomendações ergonômicas para trabalhos em que predominam esforços repetitivos. Além disso, são apresentados métodos de avaliação, desde *ckecklists* simplificados de avaliação preliminar de risco à métodos mais complexos.

O Anexo A da NBR ISO 11228-3 fornece um resumo de diversas ferramentas de avaliação de risco de movimentos/esforços repetitivos de alta frequência. Tais informações foram adaptadas para o Quadro 4, pois são de vital importância para a escolha do método aplicado nesta pesquisa.

Quadro 4 – Lista não exaustiva de métodos de avaliação de risco de movimentos/esforços repetitivos de alta frequência

| Método | Principais Características | Parte do corpo avaliada |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| OWAS | Análise de posturas de segmentos diferentes do corpo, considerando frequência durante um turno de trabalho. | Corpo inteiro |
| RULA | Análise rápida de posturas estáticas e dinâmicas, força e frequência de ação. | Membros superiores |
| REBA | Considera todos os segmentos do corpo em relação á movimentação manual de cargas. | Corpo inteiro |
| PLIBEL | <i>Checklist</i> para a identificação de diferentes fatores de risco para partes diferentes do corpo, levando em consideração posturas inadequadas de movimentos, equipamentos e aspectos organizacionais. | Corpo inteiro |
| Strain Index | Método detalhado (monotarefa) que considera como fatores de risco: intensidade de esforço, duração do esforço por ciclo, esforços por minuto, postura de mão/punho, velocidade de trabalho e duração da tarefa por dia. | Membros superiores distais |
| Índice OCRA | Método detalhado que considera como fatores de risco: frequência de ações técnicas, repetitividade, posturas inadequadas, força, fatores complementares, falta de períodos de recuperação e duração da tarefa repetitiva. | Membros superiores |
| <i>Checklist</i> OCRA | Método semidetalhado que considera os mesmos fatores do Índice OCRA, porém de maneira simplificada. | Membros superiores |
| ACGIH | Método detalhado (monotarefa de quase 4h por turno) baseado nos fatores de risco: frequência de ações, pico de força. | Membros superiores |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

Após a apresentação do Quadro 4 na norma NBR ISO 11228-3, a mesma orienta que o Índice OCRA é o método mais indicado para a realização de análise detalhada de postos de trabalho com presença de esforços repetitivos dos membros superiores.

Antonucci (2019) comparou o Índice OCRA, *Strain Index* e o ACGIH, analisando os algoritmos de cada método em função do número de parâmetros presentes em cada fórmula. As conclusões do estudo afirmaram que o Índice OCRA é o mais completo entre os métodos analisados e que em situações de risco muito alto ou muito baixo os métodos apresentaram os mesmos diagnósticos na maioria dos casos, porém em faixas de risco intermediário nem sempre houve consenso entre os métodos.

No ano de 2006 foi elaborado um documento de consenso pelo *Technical Committee on Musculoskeletal Disorders* da IEA - *International Ergonomics*

Association, e apoiado pela ICOH - *International Commission on Occupational Health* (COLOMBINI et al., 2006), no qual recomendam a aplicação do Índice OCRA como ferramenta de avaliação ergonômica.

Em 2007 foi elaborada a norma européia denominada EN 1005-5 - Segurança de máquinas - Desempenho físico humano - Parte 5: Avaliação de riscos para manuseio repetitivo em alta frequência (CEN, 2007). Nessa norma, cujo escopo é similar à NBR ISO 11228-3, indica-se o Índice OCRA como ferramenta de análise detalhada de esforços repetitivos.

Desta forma, esse estudo optou por aplicar o Índice OCRA para a construção de seu posto de trabalho e consequente dimensionamento de tarefas, seguindo portanto as recomendações da NBR ISO 11228-3 (ISO, 2015), na EN 1005-5 (CEN, 2007) da IEA - *International Ergonomics Association* (COLOMBINI et al., 2006).

2.4 MÉTODO OCRA

Desde os anos 80 até hoje a incidência de patologias dos membros superiores está em ascensão, até chegar ao ponto que nos Estados Unidos e na Europa já representam mais de 50% de todas as patologias ocupacionais (COLOMBINI et al., 2014). Diante dessa situação, em 1996 os pesquisadores Colombini e Occhipinti iniciaram o desenvolvimento do Método OCRA - *Occupational Repetitive Actions* para análise ergonômica e prevenção do risco por movimentos repetitivos de membros superiores, publicado pela primeira vez em 1998 (OCCHIPINTI, 1998).

Ao longo dos anos o método recebeu atualizações e derivações, como por exemplo o *Checklist* OCRA, o qual também analisa movimentos repetitivos, porém de maneira menos detalhada (OCCHIPINTI et al., 2006).

A versão atual do Índice OCRA está publicada nas normas NBR ISO 11228-3 (ISO, 2015), na EN 1005-5 (CEN, 2007), no artigo de 2006 denominado "*The OCRA Method: Assessment of Exposure to Occupational Repetitive Actions of the Upper Limbs*" (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006) e também em livros (COLOMBINI; OCCHIPINTI; SANTINO; et al., 2014)

O objetivo de aplicar o Índice OCRA é estimar o risco ao qual o trabalhador está exposto ao executar atividades repetitivas utilizando seus membros superiores, em função do número de Ações Técnicas Reais e Recomendadas.

Uma ação técnica é uma ação manual elementar necessária para completar as tarefas de um ciclo, envolvendo um ou mais músculos. Alguns exemplos de ações técnicas são: mover, alcançar, pegar, posicionar, reposicionar, segurar, sustentar, inserir, puxar, empurrar, acionar, abrir, fechar, girar, parafusar e cortar (COLOMBINI; OCCHIPINTI; SANTINO; et al. (2014).

No Quadro 5 a seguir, são apresentadas as definições completas de alguns movimentos considerados ações técnicas que são mais frequentes em análises de esforços repetitivos. No entanto, as Ações Técnicas não são limitadas às citadas anteriormente e nem limitadas ao Quadro 5, a seguir.

Quadro 5 – Detalhamento de ações técnicas

| Ação Técnica | Definição |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pegar | O ato de pegar um objeto com a mão ou com os dedos com a finalidade de executar uma atividade. |
| Posicionar ou Reposicionar | Ato de posicionar um objeto ou uma ferramenta em um ponto pré-estabelecido. |
| Segurar | Ato de manter um objeto na mão entre Pegar e Posicionar por um tempo superior a 5 segundos consecutivos. |
| Inserir | Ato de introduzir um objeto em um ponto profundo e estreito que exige um movimento linear antes de chegar ao ponto de destino. |
| Puxar ou Empurrar | Ato de puxar ou empurrar um objeto obtendo um deslocamento de lugar. |
| Retirar | Ato de tirar um objeto ou ferramenta de um lugar profundo e que exige movimento linear antes de iniciar a trajetória de destino. |

Fonte: Adaptado de Colombini; Occhipinti; Santino; et al. (2014)

O Índice OCRA é composto por quatro fatores de avaliação, os quais estão listados a seguir e descritos com detalhes nos tópicos seguintes (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006):

- Força: o esforço físico realizado pelo trabalhador durante cada Ação Técnica;
- Posturas e Movimentos Inadequados: análise postural dos ombros, cotovelos, punhos e mão/dedos;
- Repetitividade: presença de eventos (definidos em ciclos ou Ações Técnicas) que são repetidos ao longo do tempo sempre da mesma forma;
- Recuperação: período de tempo presente dentro do turno, onde o trabalhador não executa ações repetitivas;

Existe ainda mais um fator de risco denominado Fatores Complementares que pode vir a influenciar o valor final do Índice OCRA, tais como uso de martelos, ferramentas, presença de vibrações, ritmo imposto pela máquina, entre outros. No entanto, tais fatores nem sempre estarão presentes nas tarefas e necessitam de análise detalhada à parte.

O índice representa a relação entre o número de Ações Técnicas Reais (ATA) realizadas durante o turno de trabalho e o número de Ações Técnicas Recomendadas (RTA), conforme a Equação 1 (COLOMBINI; OCCHIPINTI; SANTINO; et al., (2014) e ISO, 2015).

(1)

$$OCRA = \frac{ATA}{RTA}$$

O número de Ações Técnicas Reais (ATA) é determinado multiplicando a Frequência de Ações Técnicas (f) por minuto pela duração líquida (t) da tarefa repetitiva por turno, em minutos (ISO, 2015):

(2)

$$ATA = f \cdot t$$

A Frequência de Ações Técnicas (f) é calculada através da Equação 3, e leva em consideração o Número de Ações Técnicas em um ciclo repetitivo, denominado n_{TC} e o Tempo de Ciclo, em segundos, denominado t_c .

(3)

$$f = n_{TC} \cdot \frac{60}{t_c}$$

O número de Ações Técnicas Recomendadas (RTA), apresentado anteriormente na Equação (1) é formulado de acordo com a observação dos cinco fatores citados acima, e calculado através da Equação 4 (CEN, 2007).

(4)

$$nRTA = \sum_{j=1}^n [k_f (F_{Mj} \cdot P_{Mj} \cdot R_{eMj} \cdot A_{Mj}) \times t_j] \cdot (R_{cM} \times t_M)$$

Onde:

RTA = Ações Técnicas Recomendadas

n = número de tarefas repetitivas realizadas durante o turno;

j = tarefa repetitiva genérica;

k_f = constante de frequência de ações técnicas por minuto (=30);

F_M = multiplicador de força em cada tarefa repetitiva *j*;

P_M = multiplicador de postura em cada tarefa repetitiva *j*;

R_{eM} = multiplicador de repetitividade em cada tarefa repetitiva *j*;

A_M = multiplicador de fatores complementares em cada tarefa repetitiva *j*;

t = duração líquida, em minutos, de cada tarefa repetitiva *j*

R_{cM} = multiplicador de recuperação, sendo único para trabalhos com uma ou mais tarefas;

t_M = multiplicador de duração líquida de todas as tarefas repetitivas durante um turno, sendo único para trabalhos com uma ou mais tarefas;

Nos tópicos a seguir estão demonstrados como cada fator multiplicador apresentado na Equação 4 deve ser determinado, de acordo com observações, filmagens de vídeos para serem assistidos e analisados em câmera lenta e consulta às normalizações do Índice OCRA.

2.4.1 Multiplicador de Força: *F_M*

O uso da força é levado em consideração pelo Índice OCRA devido ao desgaste e fadiga muscular que ocorrem também na execução de movimentos repetitivos. Quando possível, a redução da fadiga nas condições de trabalho resultaria em menos reclamações sobre problemas musculoesqueléticos (BARTUZI et al., 2012).

O método mais eficaz para análise de fadiga muscular é a eletromiografia (Bartuzi *et al.*, 2012; Colombini *et al.*, 2014). No entanto no Método OCRA recomenda-se a aplicação da Escala de Borg, pois busca-se uma avaliação mais rápida do uso da força. De acordo com Occhipinti e Colombini (2006), a aplicação da escala de 10 pontos desenvolvida por Borg apresentou resultados satisfatórios e comparados à eletromiografia quando aplicada ao Índice OCRA.

Tabela 1 – Escala de Borg

| | |
|------------|-----------------------------------------|
| 0 | <i>Nenhuma força</i> |
| 0,5 | <i>Muito fraco (apenas perceptível)</i> |
| 1 | <i>Muito fraco</i> |
| 2 | <i>Fraco</i> |
| 3 | <i>Moderado</i> |
| 4 | <i>Razoavelmente forte</i> |
| 5 | <i>Forte</i> |
| 6 | - |
| 7 | <i>Muito forte</i> |
| 8 | - |
| 9 | - |
| 10 | <i>Muito forte (quase máxima força)</i> |

Fonte: Adaptado de Borg (1982)

Após o trabalhador avaliado escolher dentro da Escala de Borg qual valor representa a sua força durante a execução de cada Ação Técnica, utiliza-se a Tabela 2 para determinar o valor do Multiplicador de Força F_M no Índice OCRA.

Tabela 2 – Multiplicador de Força F_M

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-----|------|------|------|-----|------|
| Nível de força % da Contração Voluntária Máxima | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | ≥ 50 |
| Escala de Borg | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
| Multiplicador de Força, F_M | 1 | 0,85 | 0,65 | 0,35 | 0,2 | 0,01 |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

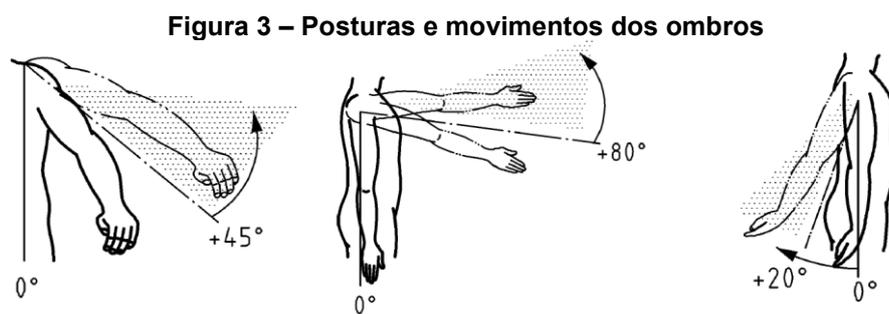
2.4.2 Multiplicador de Postura: P_M

A descrição das posturas é fator chave na correta execução do método OCRA. Os membros superiores devem ser avaliados individualmente, ou seja, devem ser feitas análises separadas do braço esquerdo e do braço direito. Além da avaliação individual de cada membro, deve-se considerar as posturas de quatro regiões individuais dos braços: ombro, cotovelo, punho e mão/dedos.

Todas as posturas encontradas no ciclo devem ser avaliadas em função da porcentagem de tempo que ocupam dentro do ciclo. Por isso, é extremamente recomendável a filmagem detalhada de vários ciclos completos de movimentos repetitivos, para posterior análise em câmera lenta. Cada postura deve ser avaliada e classificada da seguinte forma, segundo a NBR ISO 11228-3 (ISO, 2015):

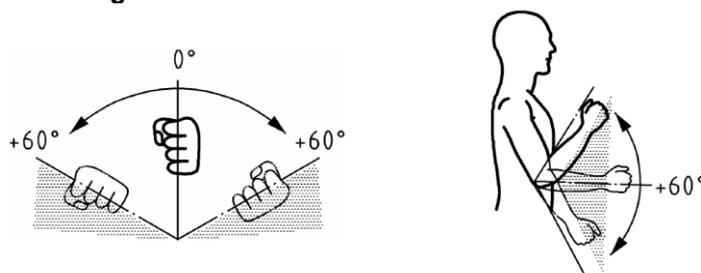
- Menos 1/3: 1% a 24% do tempo de ciclo;
- 1/3: 25% a 50% do tempo de ciclo;
- 2/3: 51% a 80% do tempo de ciclo;
- 3/3: mais de 80% do tempo de ciclo;

Os tipos de posturas analisados no Índice OCRA são apresentadas nas Figuras 3 a 6, obtidas da norma EN 1005-5 (CEN, 2007).



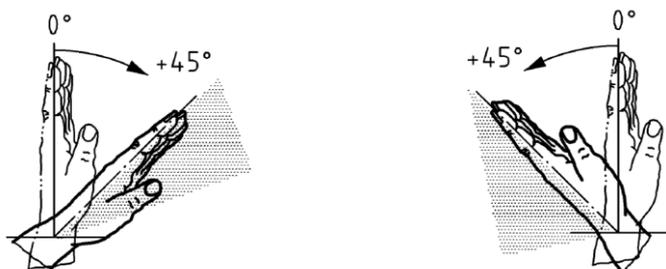
Fonte: CEN (2007)

Figura 4 – Posturas e movimentos dos cotovelos



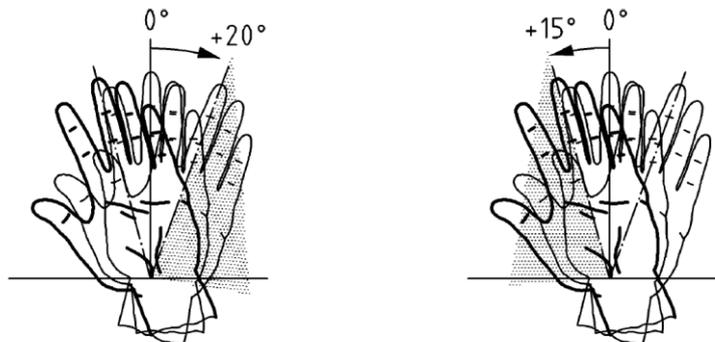
Fonte: CEN (2007)

Figura 5 – Posturas e movimentos dos punhos: flexão palmar (esq.) e extensão dorsal (dir.)



Fonte: CEN (2007)

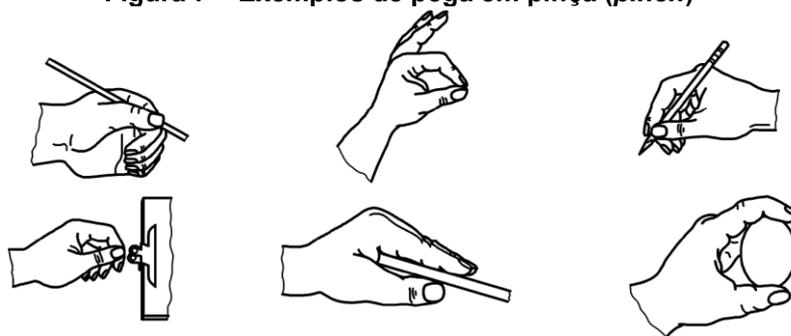
Figura 6 – Posturas e movimentos dos punhos: desvio ulnar (esq.) e radial (dir.)



Fonte: CEN (2007)

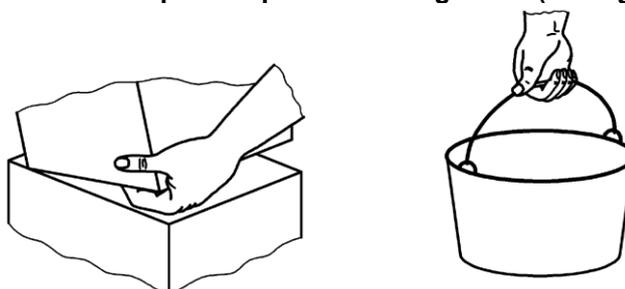
Para as mãos, além da postura deve-se avaliar a maneira como o trabalhador segura os objetos necessários à execução da tarefa. Existem quatro tipos (Figuras 7 a 9) de pegas diferentes na metodologia OCRA: pinça (*pinch*), preensão em gancho (*hook grip*), precisão (*power grip*) e preensão palmar (*palmar grip*).

Figura 7 – Exemplos de pega em pinça (*pinch*)



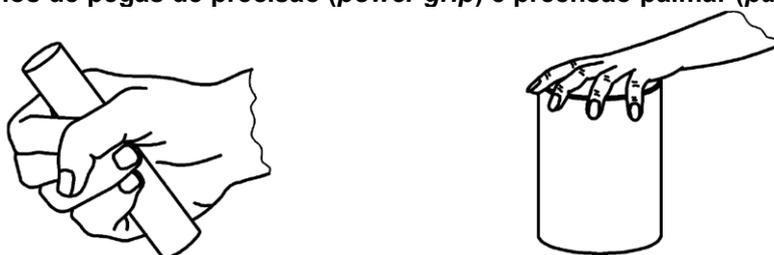
Fonte: CEN (2007)

Figura 8 – Exemplos de preensão em gancho (*hook grip*)



Fonte: CEN (2007)

Figura 9 – Exemplos de pegas de precisão (*power grip*) e preensão palmar (*palmar grip*)



Fonte: CEN (2007)

Após realizadas as observações da execução do trabalho e caracterizadas as posturas, utiliza-se a Tabela 3 para determinar o fator Multiplicador de Postura P_M , porém apenas a pontuação mais alta em cada ação técnica será considerada no cálculo final do Índice OCRA (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006).

Tabela 3 – Multiplicador de Postura P_M

| Postura e/ou movimento inadequado | | Proporção do tempo de ciclo | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Menos de 1/3 | 1/3 | 2/3 | 3/3 |
| | | De 1% a 24% | De 25% a 50% | De 51% a 80% | Mais que 80% |
| Cotovelo | Supinação $\geq 60^\circ$ | 1 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| Punho | Extensão ($\geq 45^\circ$) ou flexão ($\geq 45^\circ$) | | | | |
| Mão | Pega em gancho ou palmar | | | | |
| Cotovelo | Pronação ($\geq 60^\circ$) ou flexão/extensão ($\geq 60^\circ$) | | 1 | 0,7 | 0,6 |
| Punho | Desvio radial/ulnar ($\geq 20^\circ$) | | | | |
| Mão | Pega em pinça | | | | |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

2.4.3 Multiplicador de Repetitividade: R_{eM}

O esforço repetitivo, e conseqüentemente suas patologias, está diretamente ligado à frequência em que uma ação é executada, ou seja, quantas vezes uma ação ou processo é realizado por unidade de tempo. A repetitividade é a presença de eventos (ciclos, ações técnicas) que são repetidas ao longo do tempo sempre da mesma maneira (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006).

O fator Multiplicador de Repetitividade, R_{eM} , depende de uma análise detalhada do ciclo. Para tanto, recomenda-se que o ciclo seja filmado para ser analisado em detalhes em câmera lenta (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006).

Após a identificação do ciclo, identificação das ações técnicas e identificação da repetitividade do ciclo, aplica-se a Tabela 4 para determinação do fator multiplicador.

Tabela 4 – Multiplicador de Repetitividade: R_{eM}

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A tarefa possui as mesmas ações técnicas por pelo menos 50% do tempo do ciclo | 0,7 |
| Tempo de ciclo menor que 15 segundos | |
| Demais situações | 1 |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

A Tabela 4 demonstra que o Multiplicador de Repetitividade dá-se em função do tempo de ciclo (menor que 15 segundos) ou pela repetitividade de uma mesma ação técnica por mais da metade do tempo do ciclo.

2.4.4 Multiplicador de Recuperação: R_{cM}

A avaliação de risco pelo método OCRA busca fornecer um diagnóstico sobre o posto de trabalho. Para atingir este objetivo, é necessário conhecer todas as características do posto de trabalho analisado, o que inclui também períodos de recuperação.

Um período de recuperação ocorre quando os membros superiores que são utilizados na execução da tarefa repetitiva estão em inatividade física. As pausas devem ter duração de pelo menos 10 minutos para que ocorra a recuperação muscular necessária para ser considerado um tempo de recuperação válido (ABNT ISO, 2014). Se o período de trabalho for menos que uma hora, deve-se aplicar uma relação de 5:1 para o tempo de recuperação entre o tempo de trabalho e o tempo de recuperação (ABNT ISO, 2014).

A principal característica dos tempos de recuperação é a ausência de execução de movimentos repetitivos dos membros superiores. Alguns exemplos de períodos de recuperação são:

- Intervalos: pausas planejadas para descanso, café, hidratação e refeição;
- Tarefas visuais de controle;
- Períodos dentro do ciclo em que o trabalhador execute tarefas diferentes da principal e que permitam o descanso total da musculatura por pelo menos 10 segundos seguidos, frequentemente.

Após a identificação de todos os períodos de recuperação, deve-se determinar o número de horas de trabalho não recuperadas. A hora anterior aos períodos de recuperação citados anteriormente, desde que tenham pelo menos a duração de 10 minutos, pode-se considerá-la como uma hora recuperada. Assim, utiliza-se a Tabela 5 para determinar o fator Multiplicador de Recuperação R_{CM} :

Tabela 5 – Multiplicador de Recuperação R_{CM}

| Horas não recuperadas | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Multiplicador de Recuperação R_{CM} | 1 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,45 | 0,25 | 0,10 | 0 |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

2.4.5 Multiplicador de Fatores Complementares: A_M

Os fatores complementares buscam descrever características que não se encontram nas categorias anteriores, porém podem dificultar a execução de atividades repetitivas. Tais fatores podem ser tanto físico-mecânicos como fatores organizacionais. Alguns exemplos de fatores complementares segundo a ISO (2007):

- Uso de ferramentas vibratórias;
- Ações que gerem contragolpe (martelo, picareta, etc);
- Ações que exigem exatidão absoluta (tolerância de 1 mm a 2 mm no posicionamento de um objeto);
- Exposição a superfícies e ambientes frios;
- Objetos manejados que sejam escorregadios;
- Uso de luvas que interfiram na movimentação;
- Ritmos de trabalho determinados pela máquina, como esteiras e cronômetros.

Observados todos os fatores complementares presentes em cada ciclo, aplica-se a Tabela 6 para a determinação do fator Multiplicador de Fatores Complementares A_M . Porém, se fatores complementares estiverem ausentes na maior parte do tempo, aplica-se $A_M = 1$.

Tabela 6 – Multiplicador de Fatores Complementares A_M

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Se um ou mais fatores complementares estiverem presentes ao mesmo tempo por 1/3 (de 25% a 50%) do tempo do ciclo | 0,95 |
| Se um ou mais fatores complementares estiverem presentes ao mesmo tempo por 2/3 (de 51% a 80%) do tempo do ciclo | 0,90 |
| Se um ou mais fatores complementares estiverem presentes ao mesmo tempo por 3/3 (mais de 80%) do tempo do ciclo | 0,80 |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

2.4.6 Multiplicador de Duração Líquida: t_M

O fator Multiplicação de Duração Líquida t_M precisa ser aplicado pois nem sempre o trabalhador fica em apenas um posto de trabalho, podendo executar atividades repetitivas durante apenas uma parcela do seu turno de trabalho (ISO, 2015). Além disso, podem haver intervalos de tempo entre o início do turno e o início do trabalho repetitivo devido a deslocamento e *setup* de máquina, valendo a mesma situação para a saída do posto de trabalho.

Diante dessa situação, o Multiplicação de Duração Líquida deve ser atribuído através da Tabela 7. Nota-se que são apresentados na Tabela 7 também os multiplicadores interpolados, os quais segundo a ABNT ISO (2014) devem ser aplicados quando multiplicadores mais precisos forem necessários.

Tabela 7 – Multiplicador de Duração Líquida t_M

| Tempo total de tarefas repetitivas durante o turno (minutos) | < 120 | 120-239 | 240-480 | > 480 | | | |
|--------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Multiplicador de Duração Líquida t_M | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | | | |
| Multiplicadores Interpolados | | | | | | | |
| < 121 | 121-180 | 181-240 | 241-300 | 301-360 | 361-420 | 421-480 | > 480 |
| 2 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1 | 0,5 |

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

2.4.7 Interpretação do Índice OCRA

Conforme citado anteriormente, o método OCRA avalia cinco critérios para a sua análise: força, posturas e movimentos inadequados, repetitividade, recuperação e fatores complementares.

Uma vez que todos esses fatores foram analisados e foram atribuídos os devidos fatores multiplicadores para cada item, o valor final do Índice OCRA é obtido através da aplicação da Equação 1. O resultado obtido deve ser interpretado segundo a Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo e interpretação do Índice OCRA

| Zona | Índice OCRA | Nível de Risco | Consequências |
|-----------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verde | $OCRA \leq 2,2$ | Risco Ótimo Aceitável | Não há consequências ao trabalhador e empresa; sem necessidade de mudanças. |
| Amarela | $2,2 < OCRA \leq 3,5$ | Risco muito baixo Limítrofe | Deve-se melhorar os fatores de risco estruturais (posturas, força, ações técnicas, etc.) ou tomar outras medidas organizacionais. |
| Vermelha | $OCRA > 3,5$ | Risco presente Inaceitável | Reprojetar tarefas e locais de trabalho de acordo com as prioridades, levando-se em consideração cada fator de risco. |

Fonte: Adaptado de CEN (2007), Colombini et al. (2014) e ISO (2015)

Conforme o nível encontrado, a Tabela 8 apresenta também as consequências e ações indicadas para cada nível de diagnóstico. Após efetuadas as correções nos postos de trabalho, recomenda-se a reaplicação do Índice OCRA para validação das melhorias e correções implementadas.

Acima do nível vermelho, ou seja, OCRA maior do que 3,5 o posto de trabalho é considerado inaceitável. No entanto os postos de trabalho podem atingir níveis muito maiores de valores para o Índice OCRA. Para permitir maior precisão de avaliações, a CEN (2007) e ISO (2015) fornecem ainda mais três níveis de interpretação apenas do nível vermelho do Índice OCRA, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Diagnósticos do Índice OCRA

| Zona | Índice OCRA | Nível de Risco |
|-----------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Verde | $OCRA \leq 2,2$ | Aceitável |
| Amarela | $2,2 < OCRA \leq 3,5$ | Risco muito baixo |
| Laranja | $3,5 < OCRA \leq 4,5$ | Risco baixo |
| Vermelha | $4,5 < OCRA \leq 9$ | Risco médio |
| Roxa | $OCRA > 9$ | Risco alto |

Fonte: Adaptado de CEN (2007) e ISO (2015)

2.5 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A antecipação e identificação dos riscos são as tarefas chave da Engenharia de Segurança no Trabalho. A segurança é obtida através de projetos de postos de trabalho, do ambiente e da organização do trabalho que levam em consideração não apenas a tarefa, mas também as capacidades e limitações de cada trabalhador (IIDA, 2016).

Inovar em ações de prevenção pode tornar-se uma grande ferramenta competitiva, aliada à tecnologia que, conforme afirmam Gutiérrez e Palacios (2015), é uma das maiores ferramentas de inovação. Postos de trabalho bem projetados e planejados podem aumentar a satisfação e eficiência das tarefas executadas pelos trabalhadores, o que gera menos riscos à saúde e maior produtividade para a empresa (BUCKLE et al., 2012).

A Ergonomia, que inicialmente foi uma ciência baseada na observação, também avança conforme novas tecnologias são desenvolvidas e recebem novas aplicações (LIN et al., 2018). Tecnologias que às vezes são criadas para aplicações totalmente diferentes da Ergonomia e Fatores Humanos, como entretenimento, comunicações, transporte entre outros, quando aplicados com o viés ergonômico podem se tornar ferramentas poderosas de análise.

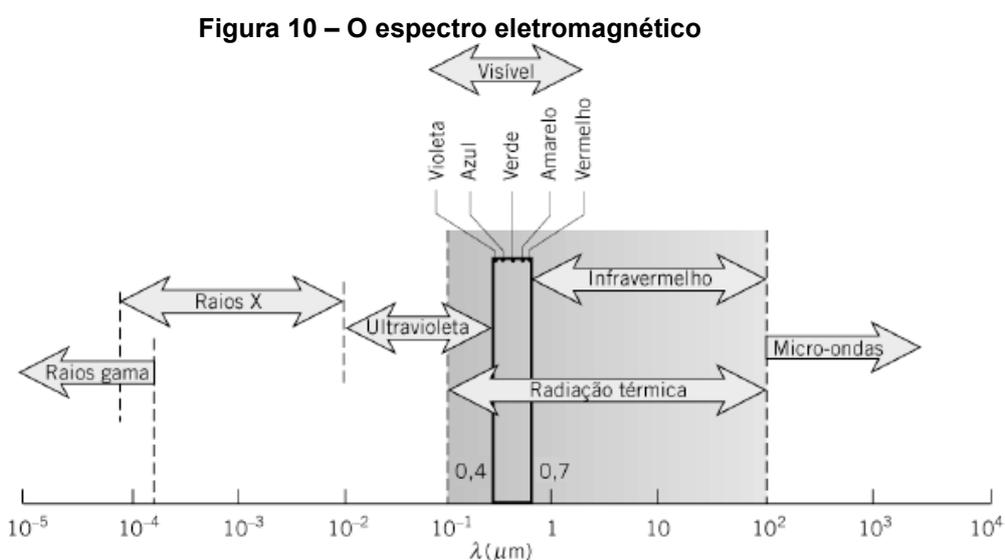
Como exemplo de tecnologias aplicadas a propósitos diferentes do inicial tem-se o sensor de movimentos *Kinect* da *Microsoft*TM, desenvolvido para jogos de *video game* que captam o movimento do usuário e o utilizam para movimentar um personagem em um jogo eletrônico, foi aplicado para análise de posturas por Diego-Mas e Alcaide-Marzal (2014), Dutta (2012) e Pacheco et al. (2016).

Um outro exemplo foi desenvolvido por Yang et al. (2017), através de um aplicativo para celular que permitiu determinar a elevação do braço e a velocidade angular de movimentos dos membros superiores. O aplicativo foi instalado em um celular e fixado no braço do participante do estudo, de modo que através dos sensores já presentes no telefone e o uso do *software* foi possível transformar o mesmo em uma ferramenta ergonômica.

A tecnologia da termografia infravermelha também teve sua origem com aplicações diferentes das ergonômicas. Uma imagem termográfica, também chamada

de termograma infravermelho, é uma imagem da distribuição de temperatura ao longo de um alvo (RING; AMMER, 2012) com diversos tipos de aplicações.

As câmeras termográficas atuam em uma porção do espectro eletromagnético, onde todo corpo cuja temperatura esteja acima do zero absoluto está constantemente emitindo radiação eletromagnética (LAHIRI et al., 2012). Esta pequena parcela do espectro eletromagnético é denominada infravermelho, e pode ser observada na Figura 10, sob o nº 4.



Fonte: (BERGMAN e LAVINE, 2019)

Na Figura 11, observam-se as divisões do espectro eletromagnético de acordo com o seu respectivo comprimento de onda, sendo: 1 – Raio x, 2 – Ultravioleta, 3 – Luz Visível, 4 – Infravermelho, 5 – Microondas e 6 – Ondas de rádio (FLIR, 2015). O infravermelho está contido no intervalo de comprimento de onda de 0,75 a 1000 μm , porém ainda é dividido em outros intervalos, sendo:

- NIR (*near infrared*): 0,76 a 1,5 μm ;
- MIR (*medium infrared*): 1,5 a 5,6 μm ;
- FIR (*far infrared*): 5,6 a 1000 μm .

Radiação térmica é um dos diversos meios de transferência de calor, sendo este aquele que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, e portanto, que pode ocorrer inclusive no vácuo (diferentemente da condução e convecção). Portanto, a

radiação pode ser vista como a propagação de ondas eletromagnéticas, e a magnitude da radiação varia com o comprimento de onda (BERGMAN E LAVINE, 2019).

Para aplicar a tecnologia de câmeras termográficas, é necessário conhecer a emissividade do objeto ou superfície que deseja-se conhecer a temperatura. A emissividade é definida como a taxa na qual a radiação é emitida de uma superfície (BERGMAN e LAVINE, 2019). Já a irradiação é taxa na qual a radiação incide sobre uma superfície (BERGMAN e LAVINE, 2019).

Um corpo negro é considerado um emissor e absorvedor perfeito, pois ele absorve toda a radiação que incide sobre ele e irradia um espectro constante de acordo com a Lei de Planck (BERGMAN e LAVINE, 2019; LAHIRI et al., 2012), tornando-se assim um padrão de comparação para superfícies reais.

A Lei de Planck, também chamada de Distribuição de Planck, é apresentada na Equação 5. A Lei de Planck representa o poder emissivo espectral (E) de um corpo negro, λ é o comprimento de onda, I_λ representa a radiância espectral de acordo com o comprimento de onda, onde $C_1 = 3,742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2$, $C_2 = 1,439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ e T é a temperatura absoluta do corpo negro,

(5)

$$E_{\lambda,cn}(\lambda, T) = \pi I_{\lambda,cn}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}$$

A Lei de Planck permite concluir que a radiação térmica emitida varia continuamente de acordo com o comprimento de onda; que conforme a temperatura aumenta, a radiação emitida também aumenta (BERGMAN e LAVINE, 2019).

O poder emissivo hemisférico total, E (W/m^2), segundo Bergman e Lavine (2019), é a taxa na qual a radiação é emitida em todos os comprimentos de onda possíveis e em todas as direções possíveis (por unidade de área), e é dada pela Equação 6:

(6)

$$E = \int_0^\infty E_\lambda(T) d\lambda$$

Ao substituir a Equação 5 na Equação 6, e realizar a integração, obtém-se a Lei de Stefan-Boltzmann apresentada na Equação 7, cuja constante de Stefan-Boltzmann é dada por $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

(7)

$$E_{cn} = \sigma T^4$$

Para superfícies reais, ou seja, diferentes de um corpo negro que é um emissor e absorvedor perfeito, a Lei de Stefan-Boltzmann é adaptada para a Equação 8:

(8)

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

Na Equação 8, tem-se que ε é a emissividade de uma superfície em um comprimento de onda fixado e uma temperatura absoluta T , sendo que para um corpo negro a emissividade é 1, enquanto outros materiais não ideais possuem emissividade sempre menores do que 1 (LAHIRI et al., 2012). A Tabela 10 apresenta alguns valores de emissividade para diversas superfícies reais.

Tabela 10 – Exemplos de emissividade para superfícies reais

| Material | Temperatura (°C) | Emissividade |
|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Tijolo comum | 17 | 0,81-0,86 |
| Asbesto | 20 | 0,96 |
| Concreto | 20 | 0,92 |
| Cobre polido | 100 | 0,03 |
| Prata polida | 100 | 0,03 |
| Ouro polido | 130 | 0,018 |
| Titânio polido | 200 | 0,15 |
| Borracha | 20 | 0,95 |

Fonte: Adaptado de FLIR (2015)

Neste estudo, a superfície real que deseja-se conhecer a temperatura através do uso de câmeras termográficas é a pele humana. Segundo Lahiri et al. (2012) a pele humana possui diferenças mínimas de emissividade quando comparadas em relação à cor. A pele negra apresenta emissividade de $0,98 \pm 0,01$, a pele branca apresenta

emissividade de $0,97 \pm 0,02$ e a pele após sofrer queimadura apresenta emissividade $0,97 \pm 0,02$.

No entanto, existem autores que indicam que a cor da pele ou raça não interferem na emissividade da pele (ABATE et al, 2013). Segundo Fernández-Cuevas et al. (2015) em seu extenso trabalho de revisão, não há um consenso entre os pesquisadores sobre qual valor deve ser utilizado para estudo com pele humana, mas que a maior parte dos estudos recentes adota o valor de 0,98 para emissividade da pele humana, sendo este também o valor adotado no presente estudo.

2.5.1 Aplicações da Termografia Infravermelha

Alguns exemplos do emprego de termografia infravermelha são: detecção de danos estruturais por umidade, curto circuitos em redes elétricas, oxidação, deficiências de isolamento, correntes de ar, entre outras que podem ser visualizadas na Figura 11 (FLIR, 2018; Rogalski, 2011).

Figura 11 – Imagem termográfica mostrando uma estrutura danificada por umidade (esquerda) e fusíveis oxidados (direita)



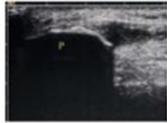
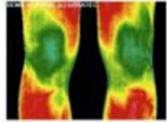
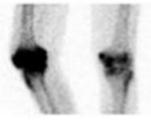
Fonte: FLIR (2015)

A termografia infravermelha é uma tecnologia que recentemente passou a ser aplicada na saúde de seres humanos para diagnóstico (FAUST et al., 2014), aliada a diferentes tecnologias que também fazem uso de imagens para diagnósticos.

O uso de imagens na área médica permite obter informações que não são visíveis a olho nu. Existem tecnologias de imagem consagradas, como por exemplo: ressonância magnética, ultrassom, raio x, radiação ultravioleta, cintilografia, artroscopia e recentemente a termografia infravermelha.

Na imagem de Hildebrandt et al. (2010), Figura 12, observam-se exemplos de diagnósticos de patologias em seres humanos através do uso de imagens.

Figura 12 - Modalidades de imagem típicas dentro do espectro eletromagnético

| | Comprimento de onda | Modalidade de imagem | Informações médicas | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|
|  | Ondas de rádio 10^{-3} |  | Imagem por REM | Anatomia, Edema, Fluxo, Composição Química |
| | Micro-ondas 10^{-2} |  | Ultrassom | Anatomia, Fluxo Características da estrutura de tecidos |
| | Infravermelho 10^{-5} |  | Imagem por Infravermelho | Anatomia e Fisiologia, Temperatura da superfície |
| | Luz visível 10^{-6} |  | Artroscopia | Anatomia da estrutura intra-articular, Inflamação |
| | Ultravioleta 10^{-8} |  | Radiação Ultravioleta | Cicatrização/Terapia da pele, Inflamação crônica |
| | Raio X 10^{-10} |  | Raio X | Anatomia Lesões Ósseas |
| | Raios Gama 10^{-12} |  | Cintilografia | Fisiologia, Inflamação, Metabolismo ósseo |

Fonte: Adaptado de Hildebrandt et al. (2010)

Percebe-se que na grande maioria das técnicas apresentadas na Figura 13 a tecnologia aplicada é complexa, provida por equipamentos grandes e caros e que comumente são encontrados apenas dentro de hospitais e laboratórios. Essas ferramentas não são práticas e portáteis ao ponto de ser possível que um profissional

de Ergonomia possa leva-la ao ambiente laboral e efetue análises ergonômicas com tais equipamentos.

Nesse sentido, a tecnologia das câmeras termográficas destaca-se e apresenta potencial de novas aplicações e que possui diversas vantagens. Listadas a seguir uma série de vantagens do uso de câmeras termográficas em aplicações na área de saúde e que, em termos gerais, não apresentam riscos à saúde dos usuários (CAMARGO et al., 2012).

- Isenta de risco de causar danos por radiação ao paciente (FAUST et al. (2014);
- Não invasiva (DIBAI-FILHO et al., 2015);
- Não exige contato com a pele do paciente (SZENTKUTI et al., 2011);
- Economicamente acessível (NG, 2009);
- Indolor (NG, 2009).

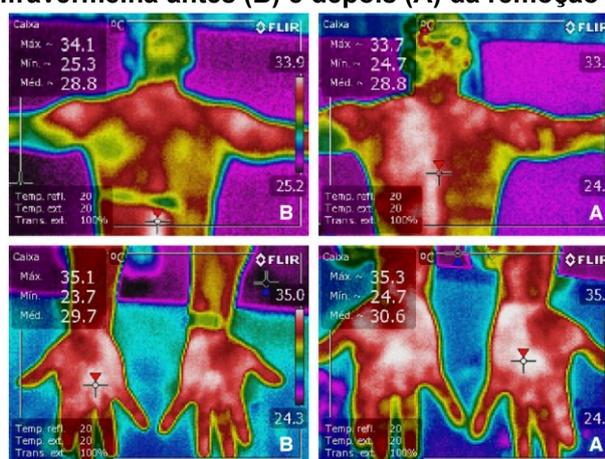
As aplicações da termografia em seres humanos estão aumentando ao longo do tempo com o surgimento de novos estudos, como por exemplo as publicações de Lahiri et al. (2012), Sousa et al. (2017), Faust et al. (2014), Ng (2009), Szentkuti et al. (2011), Vardasca et al. (2012), Ring e Ammer (2012) e Zaproudina et al. (2006). As aplicações em medicina levantadas por esses autores são:

- Estudos de termorregulação;
- Assimetrias térmicas;
- Detecção de câncer de mama;
- Diagnóstico de problemas vasculares em diabéticos;
- Diagnóstico de febre, em diversos tipos de condições fisiológicas;
- Análises odontológicas;
- Monitoramento da pressão sanguínea;
- Diagnóstico de problemas ósseos;
- Diagnóstico de problemas oculares;
- Diagnóstico de doenças do fígado e rins;
- Aplicações ginecológicas;
- Análise cerebral e de personalidade;

Aplicações da termografia infravermelha para análise de situações de trabalho, exercícios e esportes já existem, conforme publicado em artigos científicos encontrados na pesquisa bibliográfica realizada neste trabalho.

Andrade Fernandes et al. (2014) analisaram as mudanças de temperatura da pele antes, durante e após exercícios físicos, bem como analisaram se a hidratação adotada foi eficiente. Guertler et al. (2016) analisaram a saúde de trabalhadores da produção de ostras no Brasil utilizando uma câmera termográfica FLIR™ para observar as variações de temperatura das costas, ombros e mãos após a remoção das redes de pesca da água. Na Figura 13 é possível observar as variações de temperatura encontradas antes (B) e depois (A) da execução do trabalho.

Figura 13 – Termografia infravermelha antes (B) e depois (A) da remoção das redes da água



Fonte: Guertler et al. (2016)

2.5.2 Fatores de influência para aplicação de termografia infravermelha em seres humanos

As aplicações de termografia infravermelha em medicina necessitam de cuidados especiais para que os diagnósticos não sejam afetados, já que analisam as variações de temperatura da superfície da pele, a qual está sujeita a outros fatores que podem influenciar a temperatura da pele.

Fernández-Cuevas et al. (2015) publicaram um estudo de revisão no qual organizaram e analisaram os fatores que podem influenciar uma análise termográfica, através de uma extensa revisão bibliográfica utilizando como espaço de tempo 20

anos. Conforme pode ser visto no Apêndice A desse trabalho, esse artigo foi classificado como o 6º mais importante.

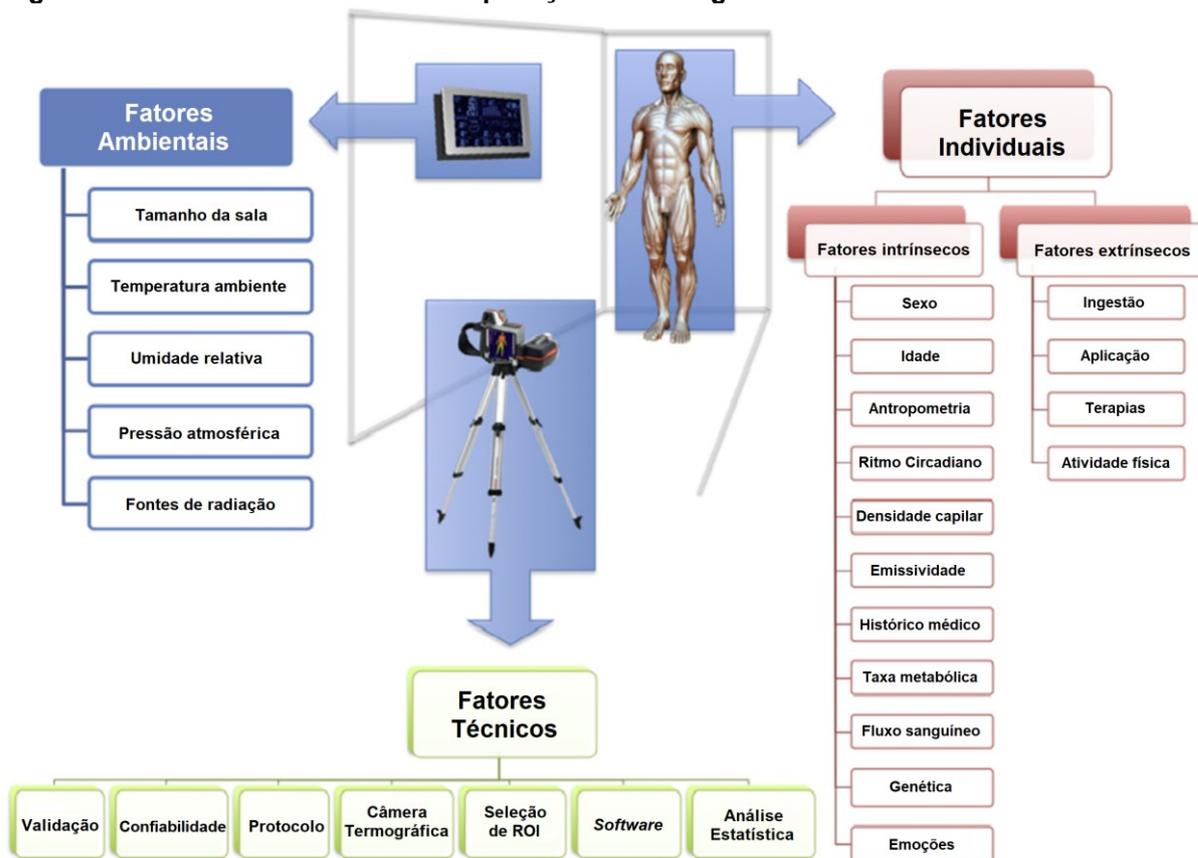
Os métodos de Fernández-Cuevas et al. (2015) incluem o uso de palavras-chave que são frequentemente utilizadas como sinônimos em termografia infravermelha (*infrared thermography, thermal imaging, thermology, infrared, IR imaging, thermal video*) e uma lista de fatores de influência como lesões, consumo de café e regiões de interesse. Prevaleram estudos publicados em inglês, aplicados em seres humanos e onde a temperatura da pele foi medida sem contato, através de termografia infravermelha. Ao todo foram utilizados 453 artigos neste levantamento bibliográfico.

As conclusões da pesquisa supracitada permitiram classificar os fatores de influência em análises termográficas em seres humanos em três categorias (FERNÁNDEZ-CUEVAS et al., 2015):

- Fatores ambientais: referentes ao local em que a avaliação termográfica é realizada, envolvendo parâmetros como ventilação, tamanho, umidade e temperatura;
- Fatores técnicos: fatores relacionados ao equipamento utilizado para a coleta do termograma infravermelho, como a qualidade da câmera termográfica, protocolo experimental e regiões de interesse;
- Fatores individuais: são fatores relacionados a cada sujeito analisado, como gênero, idade, medicações, entre outros. Esta categoria ainda subdivide-se em mais duas categorias: fatores intrínsecos e extrínsecos;

As três categorias de fatores de influência são apresentadas na Figura 14.

Figura 14 – Fatores de influência na aplicação de termografia infravermelha em seres humanos



Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas et al. (2015)

2.5.2.1 Fatores Ambientais

A Tabela 11 apresenta os fatores ambientais de influência na aplicação de termografia infravermelha em seres humanos segundo Fernández-Cuevas et al. (2015).

Tabela 11 – Fatores ambientais de influência na aplicação de termografia infravermelha

| Fatores Ambientais | |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critério | Recomendações e/ou Características |
| Tamanho da sala | Tamanho mínimo: 2 x 3 m, ou maior. |
| Temperatura ambiente | De 18°C a 25°C |
| Umidade relativa | De 40% a 70% |
| Pressão atmosférica | Não declarada na maioria dos estudos (requer maiores investigações) |
| Fontes de radiação | Eliminar o máximo possível de fontes de radiação, como: luz (natural e artificial), janelas, correntes de ar, dutos de aquecimentos, tubulações, etc. |

Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas et al. (2015)

Gómez Carmona apud Fernández-Cuevas et al. (2015) buscaram determinar a correlação entre alguns fatores ambientais de influência em análises termográfica, chegando a conclusão de que a temperatura ambiente é a mais influente ($r = 0,96$) e a umidade relativa é a menos influente ($r = 0,05$).

No que diz respeito à temperatura ambiente, recomenda-se que esteja entre 18°C a 25°C, enquanto Ring e Ammer (2000) justificam este intervalo em função da sudorese em temperaturas acima de 25°C e da possibilidade do paciente tremer em função de temperaturas abaixo de 18°C.

Recomenda-se ainda que sempre exista um indicador eletrônico da temperatura ambiente para que a mesma possa ser constantemente monitorada, pois variações maiores do que 1°C em menos de uma hora podem influenciar os resultados das medições.

É pertinente também que exista um cubículo, biombo ou banheiro próximo ou dentro do laboratório de análises, visto que muitas vezes o paciente precisa trocar ou remover sua vestimenta para o estudo (Ring; Ammer, 2000).

2.5.2.2 Fatores Técnicos

Os fatores técnicos de influência em termogramas infravermelhos dizem respeito à sete itens distintos:

- Validação;

- Confiabilidade;
- Protocolo;
- Câmera termográfica;
- Seleção das Regiões de Interesse – ROI;
- *Software* de análise;
- Análise estatística.

O Quadro 6 apresenta os fatores técnicos de influência na aplicação de termografia infravermelha em seres humanos segundo Fernández-Cuevas et al. (2015).

Quadro 6 –Fatores Técnicos de influência na aplicação de termografia infravermelha

| Fatores Técnicos | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critério | Recomendações e/ou Características |
| Validação | O uso de equipamentos de termografia infravermelha teve sua eficácia comprovada, porém existem erros de até 1°C em relação à temperatura real da pele. |
| Confiabilidade | A repetibilidade de dados termográficos mostrou-se maior quando aplicadas e comparadas bilateralmente as mesmas Regiões de Interesse (ROI – <i>Regions of Interest</i>) e menores em regiões de juntas. |
| Protocolo | O uso de protocolos consistentes e comprovados melhora os resultados obtidos. Recomenda-se os diversos estudos de Ring e Ammer, como: Ring e Ammer (2000, 2012) e Ring et al. (2007). O protocolo envolve fatores como distância da câmera, parede e posição da câmera. |
| Câmera | Utilizar câmeras de qualidade e que apresentem boas características de <i>range</i> de temperatura, resolução e calibração. |
| Seleção das Regiões de Interesse | Não existe um consenso sobre a escolha de ROI's, porém autores já sugeriram alguns padrões como em Ammer e Ammer (2016) e Zaproudina et al. (2008). |
| Software | Devem ser aplicados <i>softwares</i> para realizar as medições por cada <i>pixel</i> da imagem, bem como obter dados de média e definição de ROI's. Normalmente o fabricante da câmera termográfica fornece também um <i>software</i> de análise. |
| Análise estatística | A maioria dos autores utiliza a média de temperatura de uma ROI para as suas análises. Porém, normalmente a ROI é desenhada manualmente no software, o que pode levar ao erro de escolher um ponto de temperatura da parede, alterando a média da ROI, portanto esse erro deve ser evitado. Alternativamente, sugere-se utilizar a temperatura máxima de uma ROI, ao invés da média da mesma. |

Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas et al. (2015)

Além das recomendações apresentadas no Quadro 6, um fator primordial é respeitar o tempo de inicialização da câmera termográfica, que pode variar entre

segundos e minutos. Deve-se compreender que apesar da câmera mostrar uma imagem, ela não necessariamente estará fornecendo uma imagem estabilizada e fidedigna (Ring; Ammer, 2000), portanto a instrução do fabricante da câmera deve ser respeitada até que a mesma esteja estabilizada no ambiente em que se encontra.

Quanto à montagem da câmera, recomenda-se também utilizar um tripé de estabilização e respeitar as distâncias recomendadas pelo fabricante em relação ao paciente. Deve-se buscar respeitar o máximo possível um ângulo de 90° entre a superfície analisada (neste caso a pele do paciente) e as lentes da câmera termográfica, para evitar ou diminuir ao máximo as distorções de imagem.

2.5.2.3 Fatores Individuais

O presente tópico irá apresentar os fatores individuais de influência em medições termográficas. Os autores Fernández-Cuevas et al. (2015) dividem as variáveis pessoais em duas categorias: Intrínsecas e Extrínsecas. As Tabelas 12 e 13 apresentam quais fatores influenciam cada categoria.

Tabela 12 – Fatores individuais intrínsecos de influência na aplicação de termografia infravermelha

| Fatores Individuais Intrínsecos | |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critério | Recomendações e/ou Características |
| Sexo | Existem diferenças entre os gêneros, porém com razões ainda incertas. No entanto, deve-se evitar realizar medições ao menos durante o ciclo menstrual. |
| Idade | Aparentemente possui relação com a temperatura, porém não se sabe a força da correlação entre tais fatores e não há um consenso. |
| Antropometria | Fatores como altura e peso influenciam, porém o mais influente é a gordura subcutânea, pois a mesma atua como um isolante térmico |
| Ritmo circadiano | Pesquisas apresentaram dados em que as temperaturas foram maiores tanto na manhã quanto à noite, portanto não há consenso entre os pesquisadores. |
| Densidade de cabelos | Cabelos normalmente aparecem mais frios em termogramas por estarem em equilíbrio com o ambiente. Além disso, a emissividade dos cabelos é diferente da pele. |
| Emissividade da pele | A emissividade da pele do ser humano é alta e constante, muito próxima da emissividade de um corpo negro. Autores determinaram valores entre $0,98 \pm 0,01$, porém a maioria das pesquisas utiliza como emissividade o valor de 0,98. Além disso, estudos comprovaram não haver diferença de emissividade entre tons de pele. |
| Histórico médico | Cicatrizes, machucados, fraturas e a exposição solar ao longo de muitos anos podem influenciar a temperatura da pele. |
| Taxa metabólica | A tarefa executada pelo paciente afetará a sua taxa metabólica, portanto comparações entre pacientes devem ser feitas em relação à um mesmo nível de tarefa e taxa. |
| Fluxo sanguíneo | É um dos maiores fatores de influência em análises termográficas por infravermelho, tendo sua relação altamente reconhecida entre pesquisadores. |
| Genes | Populações de diferentes regiões possuem diferentes respostas metabólicas, e, portanto, diferentes temperaturas da pele em função, principalmente, da temperatura ambiente. |
| Emoções | Variações de humor afetam a temperatura da pele, principalmente no rosto. |

Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas et al. (2015)

Diante dos fatores individuais intrínsecos apresentados anteriormente, deve-se buscar reduzir a influência dos mesmos. Algumas medidas que podem ser tomadas em pesquisas envolvem utilizar amostras de ambos os sexos, conhecer o histórico médico e lesões, evitar a análise de mulheres durante o período menstrual, além de coletar informações gerais do paciente como idade e peso.

Em relação à taxa metabólica e emoções, Ring e Ammer (2000) recomendam fortemente que o paciente analisado seja levado ao laboratório, receba a vestimenta adequada e tenha um tempo de aclimação ao ambiente e redução da sua taxa metabólica. O paciente deve, portanto, permanecer no ambiente de avaliação na postura em que será avaliado, de preferência sem conversar, aguardando um tempo mínimo de 10 minutos, porém o tempo recomendado é de 15 minutos.

A Tabela 13 apresenta os fatores individuais extrínsecos:

Tabela 13 – Fatores individuais extrínsecos de influência na aplicação de termografia infravermelha

| Fatores Individuais Extrínsecos | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critério | Recomendações e/ou Características |
| Fatores de Ingestão | Quando possível, suspender o uso de medicamentos previamente à uma análise termográfica, no entanto não há uma lista de medicamentos que devem ser evitados. Evitar ingestão de bebidas alcoólicas (aumento de temperatura da pele), não fumar tabaco (causa vasoconstrição), evitar a ingestão de estimulantes, principalmente cafeína, chás e energéticos (aumento de temperatura da pele) e evitar refeições pesadas |
| Fatores de Aplicação | Óleos e cosméticos podem afetar as medições termográficas, devendo ser evitados. Analgésicos tópicos não devem ser aplicados no dia de análises. Banhos (quentes ou frios) devem ter um intervalo mínimo de uma a duas horas antes da avaliação, bem como exposição solar antes de análise deve ser evitada. |
| Terapias | Terapias aplicadas sobre a pele devem ser evitadas em datas próximas à análise termográfica. Alguns exemplos são: crioterapia, eletroterapia, ultrassom, tratamentos com calor, massagem, acupuntura, hidroterapia, entre outras. |
| Atividades Físicas | A execução de atividades físicas está ligada diretamente ao aumento da taxa metabólica de cada paciente, portanto esportes e exercícios prévios aos estudos devem ser evitados. |

Fonte: Adaptado de Fernández-Cuevas et al. (2015)

Os fatores individuais extrínsecos permitem que o pesquisador possa coletar os dados de ingestão, aplicação, terapias e atividades físicas e saber de antemão que tais fatores irão influenciar suas medições. No entanto, a melhor atitude é conversar previamente e informar o paciente ou participante do estudo sobre os fatores listados na Tabela 13 e orientá-los para que os evitem, dentro do possível, e que sempre informem ao pesquisador caso tenham agido de maneira contrária ao recomendado.

3 METODOLOGIA

3.1 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Este projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da UTFPR, na Plataforma Brasil, e aprovado sob o nº CAAE 97755518.6.0000.5547 (Figura 15).

Figura 15 – Aprovação do projeto de pesquisa na Plataforma Brasil

| LISTA DE PROJETOS DE PESQUISA: | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|----------|---------------------------|---------------------------------------------------|---------------|----------|---------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo ↕ | CAAE ↕ | Versão ↕ | Pesquisador Responsável ↕ | Comitê de Ética ↕ | Instituição ↕ | Origem ↕ | Última Apreciação ↕ | Situação ↕ | Ação |
| P | 97755518.6.0000.5547 | 2 | ANDRE LUIZ SOARES | 5547 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná | | PO | PO | Aprovado |   |

Fonte: Autoria própria

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois não busca apenas gerar o progresso científico, mas também tem por objetivo que seus resultados gerem aplicações práticas para solucionar problemas na realidade (MARCONI; LAKATOS, 2017).

No ponto de vista do objetivo, a pesquisa é descritiva, pois visa descrever, registrar, analisar e interpretar fenômenos. Esta pesquisa também é caracterizada como experimental, pois há o controle sobre determinados fatores e variáveis, e busca-se correlacionar as causas e efeitos dos experimentos (MARCONI; LAKATOS, 2017).

Pela sua forma de abordagem, caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa e qualitativa, pois fará uso de indicadores numéricos, com o objetivo de compará-los com outros dados, também numéricos e também subjetivos (TURRIONI; MELLO, 2012).

3.3 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

A metodologia de execução da presente pesquisa foi dividida em três grandes grupos de atividades: referencial teórico, experimento e análise de dados. Cada grupo

de atividades é constituído por pacotes de trabalho, os quais podem ser observados na Figura 16. Sucessivamente, cada pacote de trabalhos possui subtarefas, que assim constituem o trabalho realizado nessa tese.

Figura 16 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Autoria própria

A estrutura apresentada na Figura 16 busca organizar as etapas da pesquisa de maneira que permita ao leitor compreender todos os passos executados nesse projeto e para que os mesmos possam ser reproduzidos em estudos futuros.

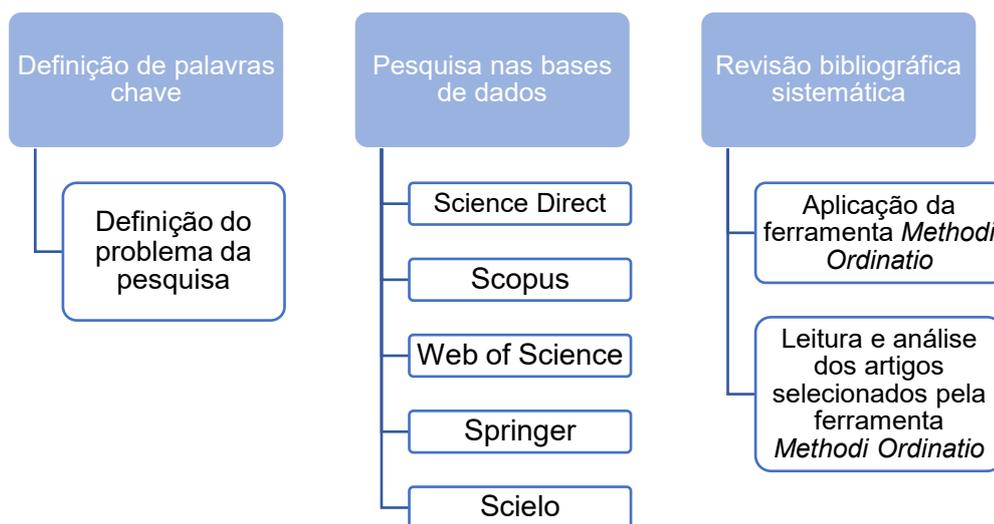
3.4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será demonstrada a metodologia utilizada para elaboração do referencial teórico desse trabalho, o qual foi apresentado previamente na Seção 2, abordando os temas necessários para execução dessa pesquisa.

De modo a comprovar o ineditismo do tema do presente projeto de pesquisa, bem como encontrar e ordenar os artigos científicos mais relevantes em relação à

Termografia Infravermelha e Esforços Repetitivos dos Membros Superiores, aplicou-se uma metodologia de pesquisa bibliográfica denominada *Methodi Ordinatio* (PAGANI et al., 2015). A Figura 17 demonstra os pacotes de atividades e as subtarefas executadas para a elaboração da etapa “Referencial Teórico”.

Figura 17 – Pacotes de atividades e subtarefas da etapa “Referencial Teórico”



Fonte: Autoria própria

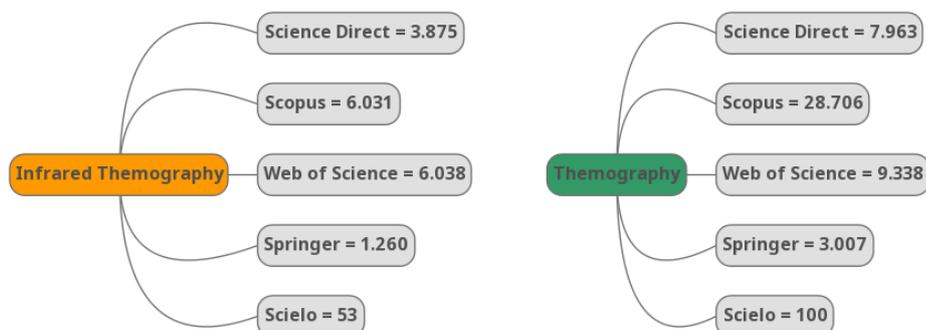
A metodologia *Methodi Ordinatio* determina quais são os artigos científicos mais relevantes dentro do tema selecionado, após a realização da pesquisa bibliográfica nas bases de dados com as palavras-chave que melhor descrevem o tema de pesquisa. Ao fim da aplicação do método, cada artigo receberá uma nota ou *score*, denominada InOrdinatio, que levará em consideração os seguintes fatores: fator de impacto do periódico, número de citações do artigo e ano de publicação. Os artigos cujo *score* InOrdinatio forem positivos serão as publicações selecionadas pelo método para serem lidas e analisadas pelo pesquisador.

Em dado momento da aplicação do método de revisão bibliográfica citado, o pesquisador deverá dar um peso para o ano de publicação e o número de citações ao calcular o *score* do artigo, de acordo seu próprio critério e de maneira subjetiva. Neste trabalho ambos os critérios receberam a mesma importância, de modo que artigos clássicos, porém antigos, não sejam excluídos (desde que comprovadamente relevantes ao tema) e artigos muito recentes em periódicos de alto nível, porém com poucas citações, sejam mantidos.

A presente pesquisa bibliográfica utilizou cinco bases de dados de artigos científicos para a realização da pesquisa de palavras-chave: *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science*, *Springer* e *Scielo*. Todas as pesquisas de palavras-chave foram realizadas individualmente em cada base de dados e acessadas através do Portal de Periódicos da CAPES, sendo que tais bases foram selecionadas por fornecerem uma grande quantidade de artigos e periódicos em suas bases de dados. Ressalta-se no entanto que existem outras bases de dados além das implementadas nesse estudo.

A definição das palavras-chave foi iniciada com a decisão entre as palavras “*Infrared Thermography*” ou apenas “*Thermography*”, pois ambas envolvem a tecnologia aplicada nesse estudo. Para obter o referencial teórico mais abrangente possível foram realizados testes de pesquisa nas bases de dados selecionadas. O intervalo de tempo usado para todas as pesquisas de palavras-chave foi de 20 anos, de 1998 a 2018, para que fosse possível identificar estudos clássicos publicados e utilizados por outros pesquisadores, além de ter sido no ano de 1998 que o Índice OCRA foi publicado pela primeira vez no periódico *Ergonomics* (OCCHIPINTI, 1998). A Figura 18 demonstra os testes realizados e os respectivos resultados.

Figura 18 – Teste inicial de palavras-chave: “*Infrared Thermography*” ou “*Thermography*”



Fonte: Autoria Própria

Após tais testes, foram obtidas as seguintes conclusões: 17.257 resultados para “*Infrared Thermography*” e 49.114 resultados para “*Thermography*”, sendo a última escolhida para uso por ser mais abrangente, o que implicou no aparecimento de outros tipos de medidas de temperatura que não a infravermelha, no entanto acrescentou um grande número de resultados.

A seguir, a palavra “*Thermography*” foi testada em pares com as seguintes palavras-chave: OCRA, *Work Related Musculoskeletal Disorder*, *Repetitive Strain*

Injury, Upper-Limb Musculoskeletal Disorder, Musculoskeletal Disorder e Repetitive Movements. Tais palavras-chave são utilizadas nos meios científicos em estudos envolvendo Ergonomia e as diversas doenças que podem ocorrer devido à execução de esforços repetitivos dos membros superiores, enquanto a palavra OCRA determina o método de análise utilizado no estudo.

A Tabela 14 demonstra os resultados obtidos de acordo com cada base de dados aplicada neste estudo. Ao todo foram encontrados 379 artigos dentro das cinco bases de dados selecionadas para esta pesquisa, através de seis combinações de palavras-chave.

Tabela 14 – Resultados por combinações de palavras-chave e base de dados

| Palavras-chave | Resultados | | | | | |
|------------------------------------------------------------|----------------|--------|----------------|----------|--------|------------|
| | Science direct | Scopus | Web of science | Springer | Scielo | Total |
| "THERMOGRAPHY" AND "OCRA" | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| "THERMOGRAPHY" AND "WORK RELATED MUSCULOSKELETAL DISORDER" | 4 | 15 | 1 | 2 | 0 | 22 |
| "THERMOGRAPHY" AND "REPETITIVE STRAIN INJURY" | 9 | 27 | 3 | 3 | 0 | 42 |
| "THERMOGRAPHY" AND "UPPER-LIMB MUSCULOSKELETAL DISORDER" | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 7 |
| "THERMOGRAPHY" AND "MUSCULOSKELETAL DISORDER" | 51 | 200 | 4 | 33 | 0 | 288 |
| "THERMOGRAPHY" AND "REPETITIVE MOVEMENTS" | 7 | 8 | 2 | 1 | 0 | 18 |

Fonte: Autoria Própria

Por fim, procedeu-se à análise de títulos e *abstracts* dos 379 artigos encontrados. Foram excluídos artigos cujo escopo era a aplicação de termografia em animais e também artigos duplicados pois estavam em mais de uma base dados, restando 297 artigos. Posteriormente foram excluídos artigos cujo tema não eram os membros superiores, estudos que aplicaram outros métodos de termografia que não

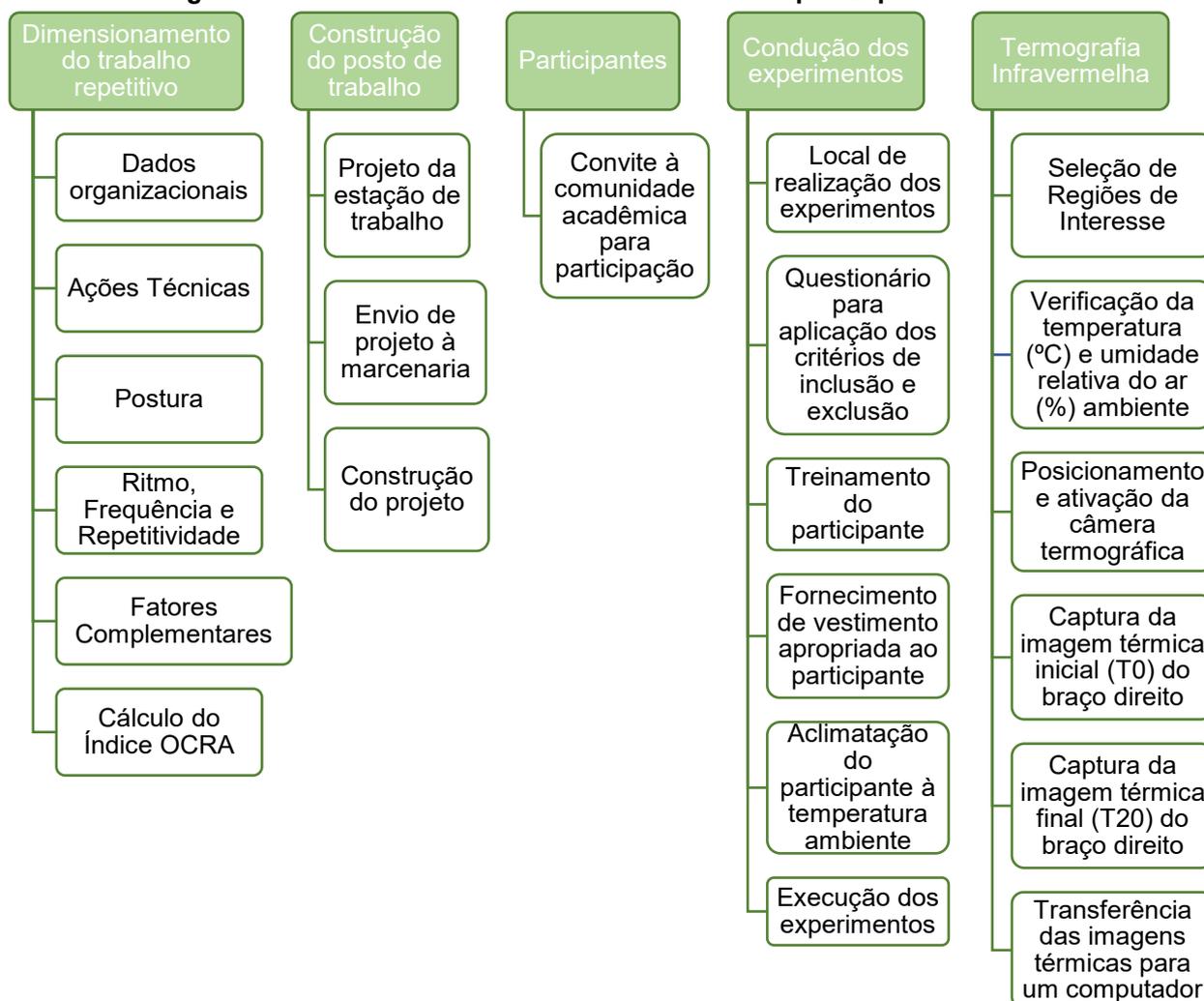
a infravermelha ou então estudos que envolviam outros métodos de imagem médica, restando 68 artigos.

Aos 68 artigos restantes aplicou-se a metodologia *Methodi Ordinatio*. Para cada um desses artigos foi encontrado o seu índice JCR – *Journal Citation Reports*, número de citações e ano de publicação. Após calculado o InOrdinatio foram selecionados 61 artigos a serem lidos e analisados em profundidade para a execução deste estudo, sendo que o artigo mais antigo foi do ano 2000 com 281 citações. Os dados completos do índice InOrdinatio podem ser verificados no Apêndice A.

3.5 EXPERIMENTO

A Figura 19 apresenta os pacotes de trabalho e subtarefas da etapa “Experimento”.

Figura 19 – Pacotes de trabalho e subtarefas da etapa “Experimento”



Fonte: Autoria própria

3.5.1 Dimensionamento do Trabalho Repetitivo

3.5.1.1 Dados organizacionais utilizados no cálculo da tarefa

Para a elaboração e dimensionamento das tarefas repetitivas do posto de trabalho utilizado neste projeto, aplicou-se a metodologia do Índice OCRA, seguindo as recomendações da NBR ISO 11228-3 (ISO, 2015), na EN 1005-5 (CEN, 2007) da IEA - *International Ergonomics Association* (COLOMBINI et al., 2006).

Os cálculos dos níveis de Índice OCRA foram realizados através do *software* ERGOEPMindiceOCRA™, fornecido gratuitamente através de parceria entre a UTFPR e o EPM IES - *EPM INTERNATIONAL ERGONOMICS SCHOOL*.

Assumiu-se para o dimensionamento da tarefa uma jornada de trabalho com as características apresentadas na Tabela 15.

| Turno de trabalho | Hora: 8:00 - 17:00 – Total: 540 minutos |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Pausa para refeição | Hora: 12:00 – Total: 60 minutos |
| Outras pausas | Hora: 10:00 – 10:10 e 15:00 – 15:10 Total: 20 minutos |
| Atividades não repetitivas (limpeza, abastecimento, etc.) | Total: 20 minutos |
| Tempo total de atividades repetitivas | Total: 440 minutos |
| Nº de horas sem recuperação | Total: 4 horas |

Fonte: Autoria própria

3.5.1.2 Ações Técnicas

As ações técnicas correspondentes à execução da tarefa foram calculadas através de simulações prévias com voluntários e filmagem.

Cada ciclo de trabalho é composto de três fases, envolvendo um único parafuso sextavado de ferro zincado (120 mm de comprimento e diâmetro nominal de 10 mm), porca sextavada de ferro zincado (diâmetro nominal de 10 mm e altura de 8 mm) e arruela lisa de aço carbono zincado (diâmetro nominal de 10 mm e altura 2 mm). O detalhamento de cada fase é apresentado no Quadro 7.

- Fase 1: Montagem;
- Fase 2: Rosquear e Desrosquear;
- Fase 3: Desmontagem.

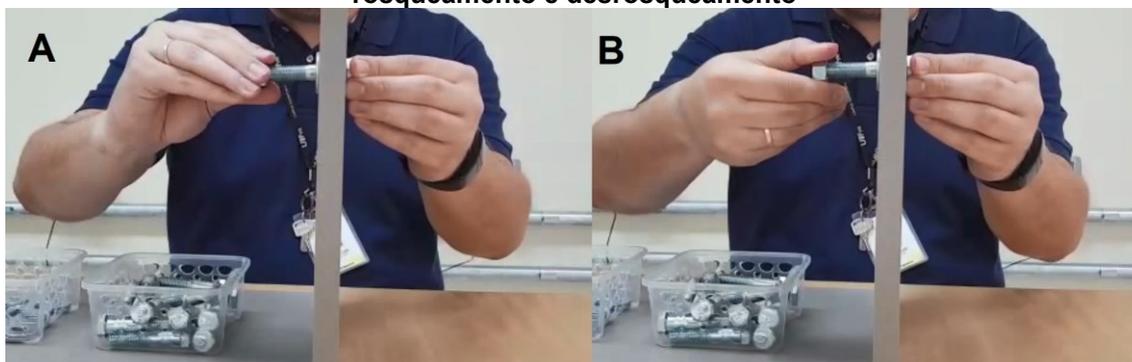
Quadro 7 – Detalhamento de ações técnicas do braço direito

| Fase 1: Montagem | Fase 2: Rosquear e Desrosquear porca | Fase 3: Desmontagem |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|
| Pegar arruela | Girar porca | Pegar porca |
| Posicionar arruela | - | Posicionar porca |
| Inserir arruela | - | Pegar arruela |
| Pegar porca | - | Posicionar arruela |
| Posicionar porca | - | Repousar mãos |
| Girar porca | - | - |

Fonte: Autoria própria

Ações técnicas “Pegar porca” e “Girar porca” repetem-se alternadamente de acordo com o número de ações técnicas definidas para cada nível de esforço repetitivo. Como as posturas possuem pouca variabilidade ao longo do ciclo de trabalho, a variação do número de ações técnicas, frequência e duração do ciclo permitem que sejam obtidos todos os diagnósticos previstos no Índice OCRA. A Figura 20 ilustra como exemplo de ação técnica a ação de girar a porca, a qual está presente nas etapas de rosqueamento e desrosqueamento.

Figura 20 – Etapas da Ação Técnica “Girar porca”, presente nas fases de montagem, rosqueamento e desrosqueamento



Fonte: Autoria própria

O braço direito executa a maioria das ações técnicas da tarefa, e é o membro que permite variabilidade de movimentos, posturas e frequência, portanto, neste estudo apenas o lado direito foi analisado termograficamente.

O braço esquerdo nesta tarefa possui a peculiaridade da ação estática, sendo predominante a ação técnica “Segurar parafuso e manter pressionado”, fornecendo apenas suporte para as ações executadas pelo lado direito e sem variabilidade de diagnóstico de Índice OCRA. Salienta-se que o braço esquerdo não será analisado neste estudo, no entanto o detalhamento das ações técnicas executadas pelo braço esquerdo é apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Detalhamento de ações técnicas do braço esquerdo

| Fase 1: Montagem | Fase 2: Rosquear e Desrosquear | Fase 3: Desmontagem |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| Pegar parafuso | Segurar parafuso e manter pressionado | Segurar parafuso e manter pressionado |
| Posicionar parafuso | - | Retirar parafuso |
| Inserir parafuso | - | Posicionar parafuso |
| Segurar parafuso e manter pressionado | - | - |

Fonte: Autoria própria

3.5.1.3 Postura

A postura no Índice OCRA é descrita através das posições do braço, cotovelo, punho e mão/dedos. Além das ações técnicas apresentadas, ocorrem também modificações de postura para permitir atingir diferentes níveis de esforço repetitivo, além da variação de ritmo, frequência e repetitividade.

As posturas de mão, punho e cotovelo não sofrem alterações significativas ao modificar os níveis de esforço repetitivo, mesmo quando modificado o local de montagem do parafuso. A mão possui postura do tipo pinça; o punho possui desvio ulnar $> 20^\circ$; o cotovelo apresenta desvios maiores que 60° para pronação, supinação, flexão e extensão.

A montagem do parafuso ocorre em dois locais distintos durante este estudo. Nos níveis de risco verde e amarelo (riscos mais baixos) o parafuso é montado na linha mais baixa e no furo mais próximo do corpo, de modo que o braço possui abdução $< 45^\circ$. Nos níveis de risco laranja, vermelho e roxo (riscos mais altos) a montagem do parafuso ocorre na linha mais elevada e no furo mais distante do corpo, de modo que o braço possui abdução entre 45° e 80° , o que eleva o risco da tarefa repetitiva, permitindo portanto que todos os níveis previstos no Índice OCRA sejam atingidos em laboratório.

3.5.1.4 Ritmo, frequência e repetitividade da Tarefa

A tarefa do posto de trabalho possui três fases distintas. No entanto as fases 1 e 3, que correspondem à montagem e desmontagem do produto não podem ser modificadas pois são sempre idênticas em número e tipo de ações técnicas.

No entanto, a ação “Repousar mãos” foi adicionada de modo a simular um tempo de espera entre um ciclo e outro. Isso permite a manipulação dos níveis de risco para obtenção dos parâmetros necessários, porém esse tempo de espera não é suficiente para atingir-se os níveis de esforço repetitivo desejados, sendo necessário que outros parâmetros fossem modificados para tal.

Para alterar o nível de risco conforme desejado foi utilizada a Fase 2: Rosquear e Desrosquear. Essa fase permite alterar o tempo entre uma ação técnica e outra, bem como alterar o número de ações em função do número de rotações da porca, tendo como limite o comprimento da rosca do parafuso. Para tal, foram executadas simulações tanto práticas, com a participação de voluntários, quanto teóricas, através do *software* ERGOEPMindiceOCRA™.

A postura do braço direito, particularmente em relação à abdução do ombro também foi modificada ao mudar-se o local de instalação do parafuso. Ao utilizar a linha inferior de montagem e o furo mais próximo do trabalhador não ocorrem desvios de postura do braço. Porém, se o parafuso for instalado na linha superior e o no furo mais distante do trabalhador, ocorrerão desvios de abdução do ombro, o que influenciará no diagnóstico final.

A determinação do ritmo de trabalho foi realizada através de um metrônomo digital disponível em diversos aplicativos gratuitos, sendo assim cada ação técnica é sincronizada com o ritmo sonoro imposto ao participante em bpm (batimentos por minuto). Um cronômetro digital online é utilizado para monitoramento do comprimento da jornada.

As Tabelas 16 e 17 apresentam os parâmetros que serão aplicados em cada nível de esforço repetitivo:

Tabela 16 – Parâmetros de tarefas repetitivas projetados para este estudo de acordo com os níveis de risco do Índice OCRA: Períodos de recuperação, Ações Técnicas e Repetitividade

| Zona de Risco | Períodos de recuperação | Ações Técnicas e Repetitividade |
|---------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verde | | Taxa de 40 bpm por ação técnica, 19 ações técnicas por ciclo, ciclos de 40 segundos e 660 ciclos por jornada. |
| Amarelo | Jornada: 9 horas; | Taxa de 50 bpm por ação técnica, 24 ações técnicas por ciclo, ciclos de 37,8 segundos e 694 ciclos por jornada. |
| Laranja | Pausa para refeição: 1 hora; Outras pausas: 20 minutos; | Taxa de 60 bpm por ação técnica, 23 ações técnicas por ciclo, ciclos de 32 segundos e 825 ciclos por jornada. |
| Vermelho | Tarefas não repetitivas: 20 minutos; Experimento: 20 minutos. | Taxa de 60 bpm por ação técnica, 41 ações técnicas por ciclo, ciclos de 42 segundos e 623 ciclos por jornada. |
| Roxo | | Taxa de 110 bpm por ação técnica, 51 ações técnicas por ciclo, ciclos de 37 segundos e 713 ciclos por jornada. |

Fonte: Autoria própria

Tabela 17 – Parâmetros de tarefas repetitivas projetados para este estudo de acordo com os níveis de risco do Índice OCRA: Postura e Força

| Zona de Risco | Postura | Força |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verde | Braço: abdução < 45°; | As ações que exigiram elevação de peças corresponderam a 0,5 na Escala de Borg, enquanto outros casos corresponderam a 0. |
| Amarelo | Cotovelo: pronação, supinação, flexão e extensão > 60°; Punho: desvio ulnar > 20°; Mão: pega em pinça. | |
| Laranja | Braço: abdução entre 45° e 80°; | |
| Vermelho | Cotovelo: pronação, supinação, flexão e extensão > 60°; | |
| Roxo | Punho: desvio ulnar > 20°; Mão: pega em pinça. | |

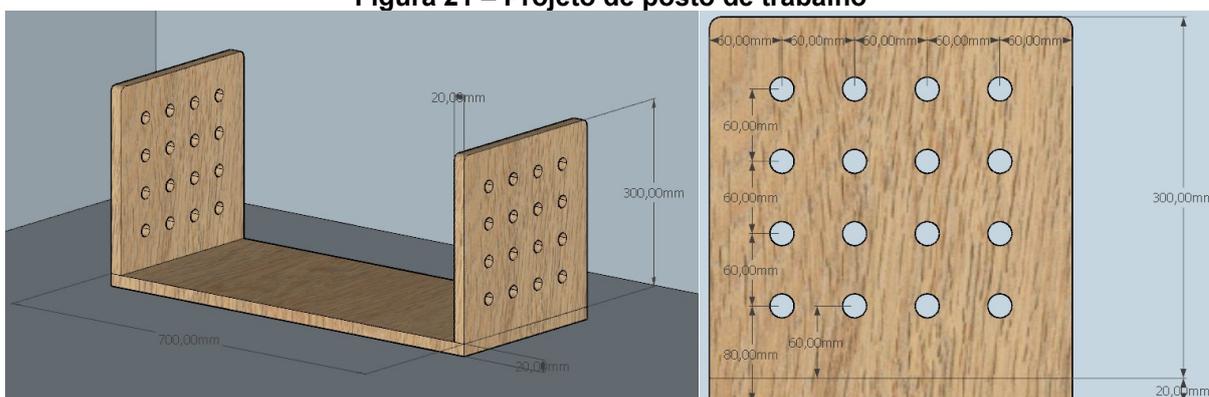
Fonte: Autoria própria

3.5.2 Construção do Posto de Trabalho

A construção do posto de trabalho aplicado nesta pesquisa teve como base o trabalho de Govindu e Babski-Reeves (2012), onde o participante deveria realizar a montagem de parafusos e porcas em uma estrutura de madeira. Neste trabalho, os autores buscaram avaliar apenas a temperatura da superfície da pele do músculo anterior deltoide, aplicando termografia infravermelha, durante a execução de uma tarefa de aperto de teclas com os braços acima dos ombros.

O posto de trabalho nesse trabalho foi composto por uma estrutura de madeira previamente furada em diferentes alturas de montagem (para permitir variação de posturas), nichos para armazenagem de parafusos, porcas, arruelas, além de mesa e cadeira. As figuras 21 e 22 mostram o projeto do posto de trabalho em detalhes.

Figura 21 – Projeto de posto de trabalho



Fonte: Autoria própria

Uma vez elaborado o projeto do posto de trabalho, o mesmo foi enviado à uma marcenaria para construção. Uma vez construído, foram realizados testes pelo autor para verificação da conformidade da construção em relação ao projeto inicialmente idealizado. A figura 22 apresenta a execução dos testes no projeto do posto de trabalho logo após a sua construção.

Figura 22 – Posto de trabalho construído



Fonte: Autoria própria

3.5.3 Participantes

Para a realização deste estudo foram convidados membros da comunidade acadêmica da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Ponta Grossa.

Ao todo participaram 32 voluntários, sendo 16 homens e 16 mulheres, destes e com idade variando entre 18 a 40 anos.

Cada participante deve executar a tarefa pré-determinada em cinco situações distintas, pois de acordo com a Tabela 9, a metodologia OCRA prevê cinco níveis de risco para atividades com esforços repetitivos. Logo, para cada nível de esforço serão realizadas 32 simulações, sendo 16 com homens e 16 com mulheres, de modo que todos os participantes irão executar esforços repetitivos em todos os níveis previstos pelo Índice OCRA. Buscou-se sempre que possível executar os experimentos em dias diferentes para permitir o total descanso dos participantes, no entanto a literatura prevê que intervalos de apenas 10 minutos seriam suficientes para permitir o descanso e recuperação dos membros superiores (OCCHIPINTI; COLOMBINI, 2006).

Esta pesquisa contou com 160 simulações no total, sendo 32 simulações para cada nível de esforço repetitivo. Optou-se por aplicar uma amostra n maior do que 30 em cada nível, pois se $n > 30$, as médias amostrais terão uma distribuição considerada normal (TRIOLA, 2017).

3.5.4 Condução dos Experimentos

3.5.4.1 Local de Realização da Pesquisa

A coleta de dados desta pesquisa foi realizada no LabTerm – Laboratório de Termografia, localizado na UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Ponta Grossa.

A estrutura do LabTerm conta com:

- 2 conjuntos de mesa e cadeira;
- 1 computador;
- 3 termômetros digitais;
- 1 tripé para instalação de câmera termográfica;

- 1 câmera termográfica FLIR T440, temporariamente cedida pelo Laboratório de Controle Térmico (LabCT) vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da UTFPR – Câmpus Ponta Grossa ;
- 1 aquecedor a óleo;
- 30 camisetas regatas na cor branca fornecidas aos participantes para utilizarem durante a execução do estudo e posterior devolução.

3.5.4.2 Inclusão e exclusão de participantes

Foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão através de questionário (Apêndice B), cujos critérios de exclusão foram definidos por Fernández-Cuevas et al. (2015) Ring e Ammer (2000), tais como: fumante, prática de exercícios, aplicação de óleos e cremes sobre a pele, dores, cicatrizes, entre outros.

O objetivo da exclusão de participantes que não atendam aos critérios do questionário do Apêndice B foi buscar reduzir a influência de fatores individuais de categoria extrínseca, conforme demonstrado na seção 2.5.2.3.

3.5.4.3 Treinamento dos participantes

Uma vez que os voluntários foram considerados aptos a participarem do experimento, os mesmos foram instruídos sobre a tarefa que iriam executar, seus objetivos e uma breve explicação sobre o que é Índice OCRA.

Em seguida, o pesquisador demonstrou a cada participante como executar a tarefa designada no experimento. Os parâmetros apresentados na seção 3.4.1 foram demonstrados, dando ênfase à postura que deveria ser adotada, número de ações técnicas e ritmo que deveria ser seguido. Após a demonstração por parte do pesquisador, o participante executaria então 2 ciclos de trabalho repetitivo para verificar se a tarefa estava compreendida e, caso sanadas as dúvidas, o experimento seguiria para as etapas seguintes.

Os participantes foram submetidos aos protocolos de coleta de dados somente após assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o Termo de Consentimento Para Uso de Imagem e Som de Voz (TCUISV). Além disso,

todo participante teve direito a deixar o estudo a qualquer momento e solicitar esclarecimentos em qualquer etapa da pesquisa.

3.5.4.4 Fornecimento de vestimenta apropriada ao participante

As imagens termográficas devem permitir a visualização total dos membros superiores, portanto, foram fornecidas gratuitamente camisetas regatas a todos os participantes, conforme já aplicado nos estudos de Bertmaring et al. (2008) e Govindu e Babski-Reeves (2012), visualizados na Figura 23. Tais camisetas eram devolvidas ao fim do experimento e higienizadas para novo uso em outros ensaios.

Figura 23 – Vestimenta utilizada para de medições de temperatura em outros estudos



Fonte: Imagens A e B por Bertmaring et al. (2008); imagem C por Govindu et al. (2012)

Após receber a camiseta, os participantes dirigiam-se ao banheiro próximo ao laboratório para se trocarem e então retornar ao laboratório para realizar o experimento. Após a conclusão do ensaio, os participantes retornavam ao banheiro para se trocarem e então devolver a camiseta que seria higienizada para reutilização.

3.5.4.5 Aclimação ao ambiente

Antes de serem realizados estudos envolvendo a temperatura da pele e câmeras termográficas, Ring e Ammer (2000) recomendam que os participantes analisados devem permanecer em repouso no ambiente em que serão conduzidos os estudos por pelo menos 15 minutos, para que a sua temperatura corporal se estabilize em relação à temperatura ambiente. Os parâmetros ambientais serão apresentados na subtarefa “Verificação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ambiente”.

Portanto, após a execução dos passos anteriores e já vestindo a camiseta regata fornecida para participação no experimento, os participantes aguardaram 15 minutos na posição sentada, onde seria realizado o experimento. Os participantes foram também instruídos a não utilizarem aparelho celular durante a aclimatação, uma vez que poderia aumentar a temperatura da pele em contato com o celular e influenciar os resultados do estudo.

3.5.4.6 Execução dos experimentos

Por fim, seguindo todos passos anteriores, o participante iniciava a execução da tarefa repetitiva designada, de acordo com a seção 3.4.1. O tempo de cada experimento foi de 20 minutos, ou até que o participante chegasse à exaustão e solicitasse que o experimento fosse encerrado, no entanto tal situação não ocorreu em nenhum dos 160 experimentos.

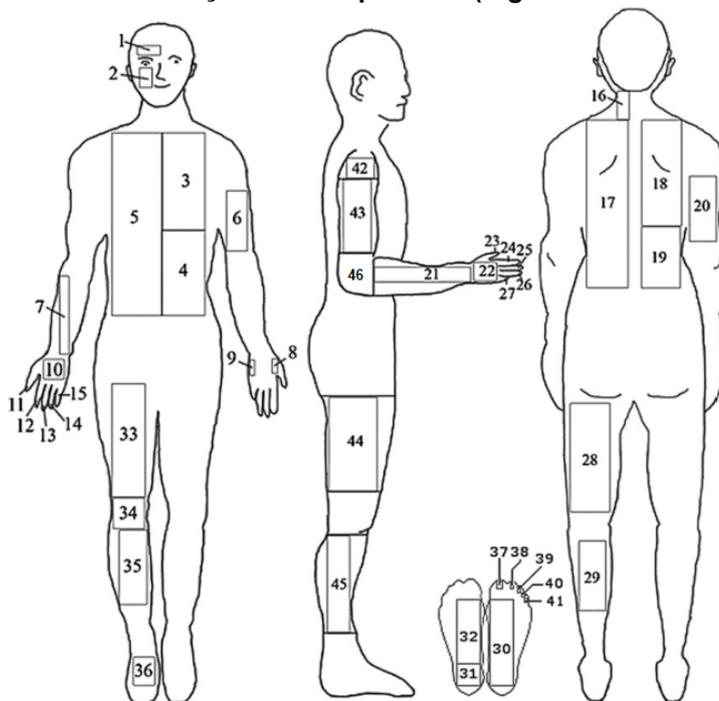
O tempo de 20 minutos foi determinado pois durante a execução de exercícios físicos o corpo humano atinge o balanço térmico entre 30 e 45 minutos, porém o aumento de temperatura devido ao exercício ocorre entre 15 e 20 minutos de atividade física (KENNY; JAY, 2013). Cada participante teve pelo menos um ciclo de trabalho repetitivo filmado em cada nível de esforço repetitivo executado, para análise posterior do Índice OCRA.

3.5.5 Termografia Infravermelha

3.5.5.1 Seleção de Regiões de Interesse

Os locais do corpo humano onde são coletadas as imagens termográficas são denominadas Regiões de Interesse (ROI). Zaproudina et al. (2008) definiram as diversas regiões de interesse no corpo humano (Figura 24) para medições de temperatura. Para o presente estudo foram selecionadas as regiões de interesse 21, 22 e 43, pertencentes aos membros superiores, todas localizadas no braço direito neste estudo.

Figura 24 – Áreas de medições de temperatura (regiões de interesse)



Fonte: Adaptado de Zaproudina et al. (2008)

A Figura 25 demonstra a concentração de calor após a execução de esforços repetitivos nas ROI's 21, 22 e 43. À partir deste ponto no presente trabalho, a região 22 será denominada “mão”, a região 21 será denominada “antebraço” e a região 43 será denominada “ombro”.

Figura 25 – ROI's selecionadas neste estudo: mão, antebraço e ombro



Fonte: Autoria Própria

O tamanho da ROI varia de acordo com a antropometria de cada participante. Além disso, usar a média dos pontos mais quentes e mais frios dentro da ROI para determinar a temperatura da pele pode levar à erros de interpretação, uma vez que pontos térmicos do ambiente, como paredes, janelas e mobiliário, poderiam levar à uma medição errada ao acrescentar um ponto térmico não pertencente ao participante (FERNÁNDEZ-CUEVAS et al, 2015; LUDWIG et al, 2014). Para evitar este tipo de erro, foi selecionado apenas o ponto mais quente de cada ROI para representar a temperatura da ROI e utilizar nos cálculos do desenvolvimento deste trabalho.

3.5.5.2 Verificação da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ambiente

Os parâmetros ambientais possuem influência em estudo térmicos, conforme levantado por Fernández-Cuevas et al. (2015) e Ring, E F J; Ammer (2000), e, portanto, devem ser controlados durante a execução de estudos termográficos em seres humanos.

A temperatura do ar (°C) e umidade (%) do LabTerm foram monitoradas através da instalação de dois termo-higrômetros (ICEL HT-208, Itabira, Brasil) localizados em diferentes pontos do laboratório, próximos ao participante e o posto de trabalho e a 1 metro de altura. Antes do início do experimento e ao fim do experimento a temperatura e umidade foram verificadas pelo pesquisador.

As condições ambientais de medição atenderam aos parâmetros sugeridos por Fernández-Cuevas et al. (2015), ou seja, temperatura entre 18°C e 25°C (variação máxima de $\pm 1^\circ\text{C}$ por hora) e umidade entre 40% e 70%. A média da temperatura do ar ao longo dos experimentos foi de $20,99 \pm 1,63^\circ\text{C}$, e a média umidade relativa do ar ao longo dos experimentos foi de $54,09 \pm 7,85\%$.

3.5.5.3 Posicionamento e ativação da câmera termográfica

As imagens termográficas foram coletadas através de uma câmera termográfica, modelo FLIR T440 (FLIR Systems, Tallinn, Estonia), conforme a Figura 28 demonstra. A Tabela 18 apresenta as características técnicas da câmera utilizada,

e o QR Code apresentando na Figura 26 leva à visualização das características técnicas completas do equipamento utilizado.

Figura 26 – Modelo de câmera termográfica utilizada no presente estudo



Fonte: TEquipment (2020)

Tabela 18 – Características técnicas da câmera termográfica FLIR T440

| Parâmetro | Capacidade |
|--------------------------|-------------------|
| Faixa de temperatura | -20 °C a 1200 °C |
| Zoom | Contínuo de 8x |
| Frequência de imagem | 60 Hz |
| Sensibilidade térmica | <0,045 °C a 30 °C |
| Resolução térmica | 76.800 pixels |
| Distância mínima de foco | 0,4 m |

Fonte: FLIR (2015)

A câmera termográfica foi posicionada em um tripé a 1 m de altura e a uma distância de 2,8 m do participante em todos os experimentos, permitindo desta forma que todas as ROI's pudessem ser vistas em uma única imagem termográfica. Além disso, a câmera foi ligada 10 minutos antes de serem coletadas as primeiras imagens térmicas, sendo que o recomendado pelo manual da câmera é que seja aguardado pelo menos 5 minutos antes da captura da primeira imagem térmica (FLIR, 2015).

3.5.5.4 Captura de imagens térmicas (t_0 e t_{20})

Após a execução de todos os passos anteriores, antes de iniciar o experimento da seção 3.4.4., foi coletada a primeira imagem térmica, denominada t_0 . Esta imagem representa a temperatura da pele em cada ROI do participante em repouso, antes de iniciar o trabalho repetitivo e após o procedimento de troca de roupa e aclimatação.

Após a execução do experimento de 20 minutos é então coletada a imagem térmica denominada t_{20} , que representa a temperatura da pele em cada ROI do participante após a execução de 20 minutos de trabalhos repetitivo. É através da diferença entre a temperatura t_{20} e t_0 que foi calculada a variação da temperatura da pele em cada ROI.

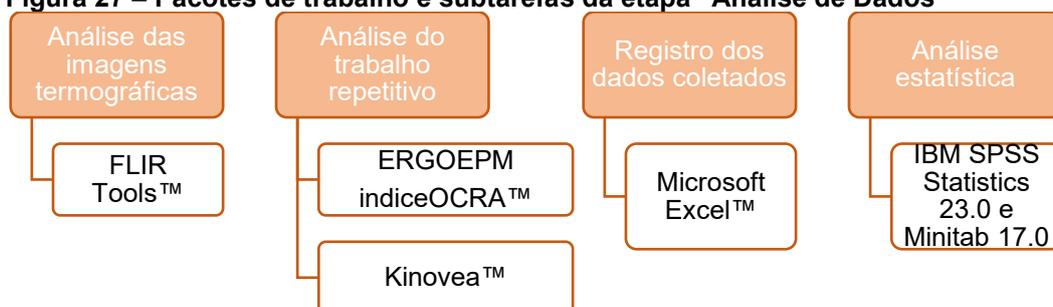
3.5.5.5 Transferência das imagens térmicas

Por fim, após a execução de todos os passos da etapa “Experimento” desse trabalho, as imagens térmicas capturadas através da câmera termográfica foram transferidas para um computador, para serem analisadas posteriormente através de software específico, fornecido pelo fabricante da câmera utilizada no experimento.

3.6 ANÁLISE DE DADOS

A etapa “Análise de Dados” é composta pelos pacotes de trabalho e subtarefas apresentados na Figura 27:

Figura 27 – Pacotes de trabalho e subtarefas da etapa “Análise de Dados”



Fonte: Autoria própria

3.6.1 Análise das imagens termográficas

A análise das imagens termográficas foi realizada através do *software* Flir Tools™ (Estônia), fornecido pelo fabricante da câmera térmica utilizada nesse estudo.

A definição das áreas de interesse deu-se digitalmente através das ferramentas do software para seleção das ROIs e identificação do ponto mais quente da pele da ROI em cada imagem térmica (t_0 e t_{20}).

Foi adotado para cálculo o valor de emissividade de 0,98 para a pele de todos os participantes, independente de raça ou gênero.

3.6.2 Análise do trabalho repetitivo

O nível de esforço repetitivo para as 160 amostras foi avaliado pelo Índice OCRA. Mesmo que a tarefa tenha sido calculada e dimensionada por cada nível OCRA de esforço repetitivo, cada pessoa possui características diferentes de destreza e que podem levar à índices OCRA diferentes entre elas. Isso é inclusive desejável nesse trabalho, uma vez que busca-se determinar a variação da temperatura da pele em função da variação da atividade repetitiva.

Para o cálculo do Índice OCRA em cada experimento, fez-se uso das seguintes ferramentas:

- *Software* ERGOEPMindiceOCRA™ (Itália), para cálculo do Índice OCRA;
- *Software* Kinovea™ (EUA), para analisar as filmagens dos experimentos e coletar dados para cálculo do índice OCRA (ações técnicas, tempo de ciclo e postura);

3.6.3 Registro dos dados coletados

A fim de registrar e organizar os dados coletados de todos os experimentos, utilizou-se o software de gerenciamento de planilhas Microsoft Excel™ (EUA). Foram desenvolvidas planilhas por nível de esforço repetitivo para facilitar e organizar a análise de dados desta pesquisa.

3.6.4 Análise estatística

A análise estatística envolveu estatística descritiva, testes T-pareados, análises de correlação e análises de regressão. Para efetuar os cálculos estatísticos

foi utilizado o *software* IBM SPSS Statistics versão 23.0 (EUA) e o *software* Minitab versão 17.0 (EUA)

Os testes estatísticos realizados nesse trabalho tiveram os seguintes objetivos:

- Teste de Ryan-Joiner: verificar a normalidade dos dados coletados nesse estudo;

- Teste T-pareado: determinar se ocorreu diferença significativa de temperatura da pele entre as imagens t0 e t20; para comparar o Índice OCRA Calculado (ou real) e o Índice OCRA predito e calculado através da equação determinada por regressão linear neste estudo;

- Teste de correlação: efetuar a análise de correlação entre a variação da temperatura da pele (por ROI) e o Índice OCRA da tarefa repetitiva executada pelo participante;

- Análise de regressão linear: aplicada para determinar equações que permitam calcular o Índice OCRA em função da variação da temperatura da pele de cada ROI, sendo este o objetivo geral deste estudo.

4 RESULTADOS

4.1 PERFIL DA AMOSTRA

Participaram deste estudo 32 voluntários, sendo 16 homens e 16 mulheres. Buscou-se a paridade de participantes para que houvesse representação de ambos os gêneros na amostra do experimento, no entanto, não foi escopo desse trabalho o desenvolvimento de equações de regressão diferenciadas por gênero. O Índice OCRA não diferencia os trabalhadores por gênero ao aplicar a sua equação para cálculo do risco presente no posto de trabalho (CEN, 2007; ISO, 2007), logo, este trabalho buscou gerar um modo de predição baseado apenas na variação de temperatura da pele, obtida por termografia infravermelha.

Foram calculadas as estatísticas descritivas para os 32 participantes deste estudo, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Estatísticas descritivas dos participantes do estudo

| Variável | Média | Desvio Padrão |
|-----------------------------------------------|--------------|----------------------|
| Idade (anos) | 25,84 | 4,90 |
| Peso (kg) | 71,16 | 15,00 |
| Altura (m) | 1,72 | 0,10 |
| Índice de Massa Corpórea (kg/m ²) | 24,05 | 4,00 |

Fonte: Autoria própria

Observa-se que a média de idade dos participantes foi de 25,84 anos. Todos os voluntários foram alunos dos cursos de graduação e pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Ponta Grossa. Para atingir o número de 160 experimentos programados, cada participante executou o experimento cinco vezes no Laboratório de Termografia, sendo uma vez para cada nível previsto no Índice OCRA.

Na Tabela 20 apresentam-se os dados completos dos participantes do estudo, exceto sua identificação e gênero.

Tabela 20 – Estatísticas descritivas dos participantes do estudo

| Participante | Idade (anos) | Peso (kg) | Altura (m) | IMC (kg/m²) |
|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1 | 31 | 76,0 | 1,77 | 24,26 |
| 2 | 25 | 94,0 | 1,82 | 28,38 |
| 3 | 35 | 82,5 | 1,75 | 26,94 |
| 4 | 30 | 75,0 | 1,73 | 25,06 |
| 5 | 24 | 107,5 | 1,94 | 28,56 |
| 6 | 25 | 62,0 | 1,72 | 20,96 |
| 7 | 26 | 75,0 | 1,72 | 25,35 |
| 8 | 19 | 59,0 | 1,72 | 19,94 |
| 9 | 25 | 79,0 | 1,79 | 24,66 |
| 10 | 25 | 90,0 | 1,79 | 28,09 |
| 11 | 38 | 80,0 | 1,69 | 28,01 |
| 12 | 23 | 73,0 | 1,90 | 20,22 |
| 13 | 21 | 70,0 | 1,90 | 19,39 |
| 14 | 19 | 54,0 | 1,68 | 19,13 |
| 15 | 27 | 60,0 | 1,78 | 18,94 |
| 16 | 29 | 105,0 | 1,85 | 30,68 |
| 17 | 23 | 65,0 | 1,68 | 23,03 |
| 18 | 23 | 59,0 | 1,70 | 20,42 |
| 19 | 24 | 85,0 | 1,73 | 28,40 |
| 20 | 30 | 69,0 | 1,52 | 29,86 |
| 21 | 25 | 68,0 | 1,60 | 26,56 |
| 22 | 40 | 60,0 | 1,62 | 22,86 |
| 23 | 26 | 62,0 | 1,70 | 21,45 |
| 24 | 26 | 72,0 | 1,68 | 25,51 |
| 25 | 25 | 76,0 | 1,70 | 26,30 |
| 26 | 23 | 42,0 | 1,55 | 17,48 |
| 27 | 25 | 85,0 | 1,62 | 32,39 |
| 28 | 20 | 68,0 | 1,70 | 23,53 |
| 29 | 28 | 60,0 | 1,76 | 19,37 |
| 30 | 21 | 52,0 | 1,65 | 19,10 |
| 31 | 23 | 52,0 | 1,58 | 20,83 |
| 32 | 23 | 60,0 | 1,58 | 24,03 |

Fonte: Autoria própria

Observa-se que a amostragem apresentou valores variados de idade, peso, altura e IMC, porém nenhum participante foi excluído da participação no estudo

segundo estes critérios, uma vez que buscou-se uma amostra ampla. Os critérios de exclusão utilizados nesse trabalho são apresentados no Apêndice B.

4.2 ÍNDICE OCRA CALCULADO

A seção 3.4.1 apresentou o dimensionamento das tarefas repetitivas projetadas para a execução dos experimentos propostos neste estudo, de modo que houvessem dados quantitativos em todos os níveis OCRA. Foram realizados 32 experimentos por nível de esforço repetitivo estipulado pelo nível OCRA, totalizando 160 coletas de dados.

No entanto, devido à diferença de destreza entre cada participante, bem como a diferença de velocidade de movimentação dos membros superiores, não seria prudente assumir que todos os participantes executaram exatamente a mesma tarefa proposta na seção 3.4.1. Assumir que, por exemplo, os 32 experimentos do nível 5 de risco apresentaram exatamente o índice OCRA de 10,85 poderia levar a dados que não refletem a realidade de cada participante, levando também a possíveis erros de correlação e regressão lineares. Portanto, conforme descrito na Metodologia, foi calculado o Índice OCRA para experimento realizado.

A Tabela 21 apresenta o resumo dos resultados obtidos para todos os experimentos de nível OCRA, após a realização da análise para cada participante. À partir deste momento será atribuído um número à cada zona de risco, para facilitar a compreensão e desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 21 – Índice OCRA Calculado

| Zona | Nível | Intervalo do Índice OCRA (ABNT ISO (2014)) | Média | Desvio Padrão | Intervalo de confiança para a média (95%) |
|----------|-------|--------------------------------------------|--------|---------------|-------------------------------------------|
| Verde | 1 | OCRA ≤ 2,2 | 1,413 | 0,082 | 1,384 ~ 1,443 |
| Amarela | 2 | 2,2 < OCRA ≤ 3,5 | 2,563 | 0,606 | 2,345 ~ 2,782 |
| Laranja | 3 | 3,5 < OCRA ≤ 4,5 | 3,716 | 0,291 | 3,611 ~ 3,820 |
| Vermelha | 4 | 4,5 < OCRA ≤ 9 | 6,562 | 0,519 | 6,375 ~ 6,749 |
| Roxa | 5 | OCRA >9 | 10,261 | 1,149 | 9,846 ~ 10,675 |

Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos demonstram que o dimensionamento do trabalho repetitivo (seção 3.4.1) atingiu seu objetivo, uma vez que os resultados médios obtidos para zona de risco encontraram-se dentro dos intervalos de risco definidos pelo Índice OCRA. No entanto, nota-se na Tabela 21 que as zonas Amarela e Roxa apresentaram os maiores desvios padrão, demonstrando maior variabilidade de resultados obtidos pelos participantes. Para analisar em maior profundidade tal variabilidade de resultados, apresenta-se a seguir os resultados individuais para cada nível de esforço repetitivo empregado neste estudo.

As Tabelas 22 e 23 apresentam o Índice OCRA calculado por participante do Nível de Risco 1 – Risco aceitável.

Tabela 22 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 1 – Parte 1

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1,35 | 1,45 | 1,41 | 1,44 | 1,64 | 1,45 | 1,41 | 1,34 | 1,54 | 1,42 | 1,31 | 1,36 | 1,37 | 1,29 | 1,52 | 1,44 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 23 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 1 – Parte 2

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 1,44 | 1,51 | 1,30 | 1,42 | 1,42 | 1,56 | 1,37 | 1,38 | 1,29 | 1,36 | 1,50 | 1,34 | 1,37 | 1,39 | 1,38 | 1,46 |

Fonte: Autoria própria

Para caracterizar um posto de trabalho como risco aceitável, o índice OCRA calculado deve ser ≤ 2 . Os resultados demonstram que a média do índice OCRA para o nível 1 foi de 1,413 e desvio padrão de 0,082. Todos os participantes executaram o nível projetado de esforço repetitivo, atendendo a proposta do estudo, sendo que a cor verde representa o nível de esforço 1.

As Tabelas 24 e 25 apresentam o Índice OCRA calculado por participante do Nível de Risco 2 – Risco muito baixo.

Tabela 24 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 2 – Parte 1

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 2,09 | 2,13 | 3,37 | 3,07 | 3,43 | 2,03 | 3,03 | 1,90 | 3,11 | 2,02 | 1,90 | 1,92 | 2,75 | 1,98 | 3,02 | 2,03 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 25 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 2 – Parte 2

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 1,90 | 3,01 | 3,03 | 3,01 | 2,03 | 3,43 | 2,16 | 3,00 | 1,95 | 2,27 | 2,17 | 2,13 | 1,99 | 3,92 | 3,12 | 3,12 |

Fonte: Autoria própria

Para caracterizar um posto de trabalho como risco muito baixo, o índice OCRA deve ser $2,2 < OCRA \leq 3,5$ (representado pela cor amarela). Os resultados demonstrados nas Tabelas acima mostram que a média do índice OCRA para o nível 2 foi de 2,563 e desvio padrão de 0,606. Foram destacados os participantes que não conseguiram atingir o intervalo proposto pelo Índice OCRA de acordo com as cores de identificação de cada nível, totalizando 17 participantes.

Observa-se que 16 participantes (7 homens e 8 mulheres) não atingiram o nível de esforço mínimo proposto para o nível de risco 2, ficando abaixo de 2,2 (classificado como nível 1, em verde), enquanto um participante executou um nível de risco de 3,92, classificando-se como nível de risco 3 (laranja).

O nível de risco 2 possui uma amplitude de 1,3 que caracteriza o seu nível de risco, deixando menores margens de variabilidade. Além disso, é possível que a tarefa projetada estivesse próxima demais ao nível 1 de esforço. Neste nível ocorre uma queda brusca de velocidade em relação aos níveis 3, 4 e 5, podendo induzir um relaxamento aos participantes, diminuindo seu comprometimento com a execução correta da tarefa, uma vez que a dificuldade caíra drasticamente. É notável também que os resultados do nível 2 apresentaram um dos maiores desvios padrão, comparado aos outros níveis apresentados.

As Tabelas 26 e 27 apresentam o Índice OCRA calculado por participante do Nível de Risco 3 – Risco baixo.

Tabela 26 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 3 – Parte 1

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 4,07 | 3,64 | 3,39 | 3,89 | 3,82 | 3,64 | 4,21 | 3,25 | 3,69 | 3,51 | 3,76 | 3,54 | 4,00 | 3,58 | 3,53 | 3,23 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 27 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 3 – Parte 2

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 3,16 | 3,95 | 3,50 | 4,60 | 3,51 | 3,79 | 3,73 | 3,53 | 3,93 | 3,88 | 3,83 | 3,72 | 3,58 | 3,72 | 3,91 | 3,81 |

Fonte: Autoria própria

Para caracterizar um posto de trabalho como risco baixo, o índice OCRA deve estar entre o intervalo $3,5 < OCRA \leq 4,5$ (representado pela cor laranja). O índice médio executado pelos participantes no nível 3 foi de 3,716 e desvio padrão 0,291.

Foram destacados (indicados pelas cores respectivas de seus níveis) nas Tabelas 26 e 27 os seis participantes que executaram tarefas fora do intervalo de índice proposto pelo método OCRA, sendo que cinco participantes não atingiram o índice mínimo previsto pelo método (executando, portanto, um risco de nível 2 - amarelo) e um participante esteve acima do nível estipulado, executando uma tarefa de nível de risco 4 (vermelho). Neste caso, mesmo existindo o menor intervalo do nível OCRA (amplitude = 1,0), o qual caracteriza o nível 3, houve também um baixo desvio padrão, levando a poucos casos que não atingiram o nível projetado de esforço repetitivo.

As Tabelas 28 e 29 apresentam o Índice OCRA calculado por participante do Nível de Risco 4 – Risco médio.

Tabela 28 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 4 – Parte 1

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 6,42 | 7,09 | 6,40 | 7,27 | 6,14 | 7,06 | 6,12 | 6,77 | 6,84 | 7,27 | 6,11 | 6,21 | 5,94 | 6,17 | 6,24 | 5,58 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 29 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 4 – Parte 2

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 6,45 | 7,66 | 5,83 | 6,73 | 6,43 | 7,15 | 6,88 | 7,66 | 6,49 | 6,19 | 7,23 | 6,22 | 6,27 | 6,42 | 6,33 | 6,41 |

Fonte: Autoria própria

Para caracterizar um posto de trabalho como risco médio, o índice OCRA deve estar entre o intervalo $4,5 < OCRA \leq 9,0$ (representado pela cor vermelha). O índice médio executado pelos participantes no nível 4 foi de 6,562 e desvio padrão 0,519. Todos os participantes executaram o nível projetado de esforço repetitivo, atendendo a proposta do estudo, porém destaca-se que o intervalo de índice previsto para o nível 4 possui amplitude maior que os níveis anteriores, o que facilita o sucesso de execução deste nível de risco

Por fim, apresenta-se nas Tabelas 30, 31 e 32 o Índice OCRA calculado por participante do Nível de Risco 5 – Risco alto.

Tabela 30 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 1

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 11,50 | 11,43 | 13,86 | 11,59 | 9,65 | 9,30 | 10,78 | 10,19 | 7,98 | 10,10 | 9,22 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 31 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 2

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 10,04 | 9,49 | 9,06 | 9,61 | 9,11 | 11,21 | 10,32 | 9,72 | 10,20 | 10,94 | 11,40 |

Fonte: Autoria própria

Tabela 32 – Índice OCRA calculado por participante – Nível 5 – Parte 3

| Índice OCRA calculado por participante | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 8,79 | 11,52 | 11,74 | 8,84 | 9,83 | 9,97 | 10,50 | 10,26 | 9,71 | 10,48 |

Fonte: Autoria própria

Para caracterizar um posto de trabalho como risco médio, o índice deve ser $OCRA > 9$ (representado pela cor roxa). O índice médio executado pelos participantes no nível 5 foi de 10,261 e desvio padrão 1,149.

Observa-se pelos resultados apresentados nas Tabelas 30, 31 e 32 que três participantes não atingiram o nível mínimo que caracteriza um esforço repetitivo de alto risco, sendo classificados portanto no nível 4 (vermelho). Nota-se também o maior desvio padrão entre todos os níveis apresentados. Conjectura-se que o motivo de tamanho desvio padrão deveu-se ao fato de que este foi o primeiro experimento executado por todos os participantes, além de ser o nível de maior dificuldade de execução, uma vez que exige maior destreza e velocidade de movimento dos participantes.

No entanto, nenhum resultado foi excluído pelo critério de estar fora do intervalo de risco projetado, uma vez que este estudo visa analisar a correlação e regressão de dados, portanto tais resultados ainda geraram pares válidos de variação de temperatura por região de interesse.

A variabilidade na execução de tarefas por parte dos participantes era esperada, levando à necessidade prevista de cálculo individual do índice. Dentre os 5 níveis projetados, o nível 2 foi o que possuiu o menor número de resultados esperados. De acordo com a normalização internacional do Índice OCRA (CEN, 2007; ISO, 2007), o nível 2, cor amarela, é considerado o nível *borderline*, sendo o limite entre as regiões de risco aceitável e a presença de risco muito baixo.

4.3 NORMALIDADE DOS DADOS

De modo a realizar os testes estatísticos seguintes deste estudo e que possuem como requerimento a normalidade dos dados coletados, serão realizados testes de verificação da normalidade dos dados. No entanto, através do tamanho da amostra, já buscou-se nesse trabalho garantir estatisticamente que as médias amostrais tenham uma distribuição considerada normal (TRIOLA, 2017), por tratar-se de uma amostra n maior do que 30 em cada nível.

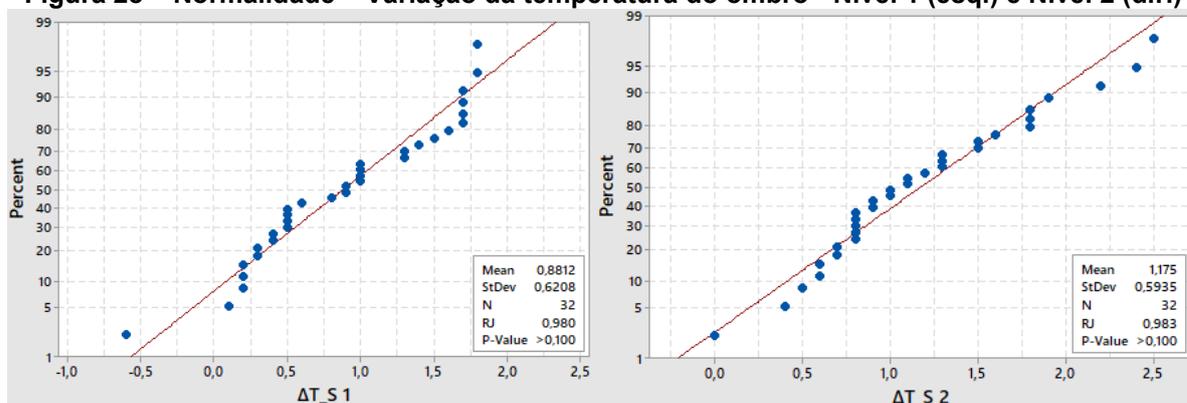
Para analisar a normalidade das variáveis foi utilizado um software estatístico e foi aplicado o teste de Ryan-Joiner. As análises de normalidade consistem em testes de hipótese baseados no p-valor, onde p deve ser maior que 0,05 para que seja possível afirmar que a distribuição seja normal com um grau de confiança de 95%. A seguir são apresentadas as hipóteses para o teste de normalidade, de modo que se o p-valor for menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula.

- H0: os dados seguem distribuição normal;
- H1: os dados não seguem distribuição normal.

4.3.1 Normalidade da variação de temperatura do ombro

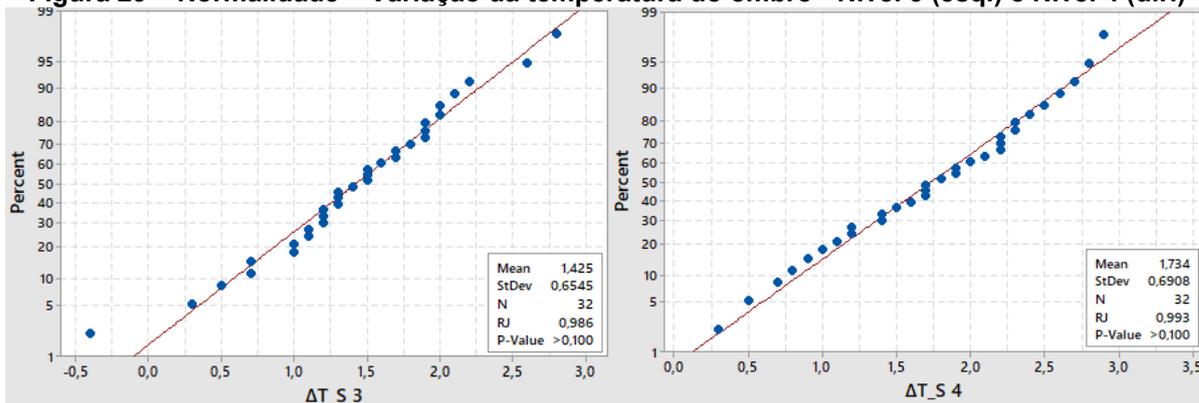
As Figuras 28 a 30 apresentam os resultados dos testes de normalidade da variação de temperatura do ombro, por nível, bem como o p-valor de cada teste.

Figura 28 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)



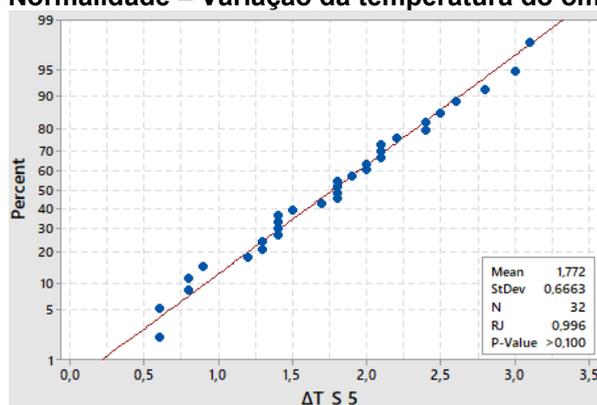
Fonte: Autoria própria

Figura 29 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)



Fonte: Autoria própria

Figura 30 – Normalidade – Variação da temperatura do ombro - Nível 5



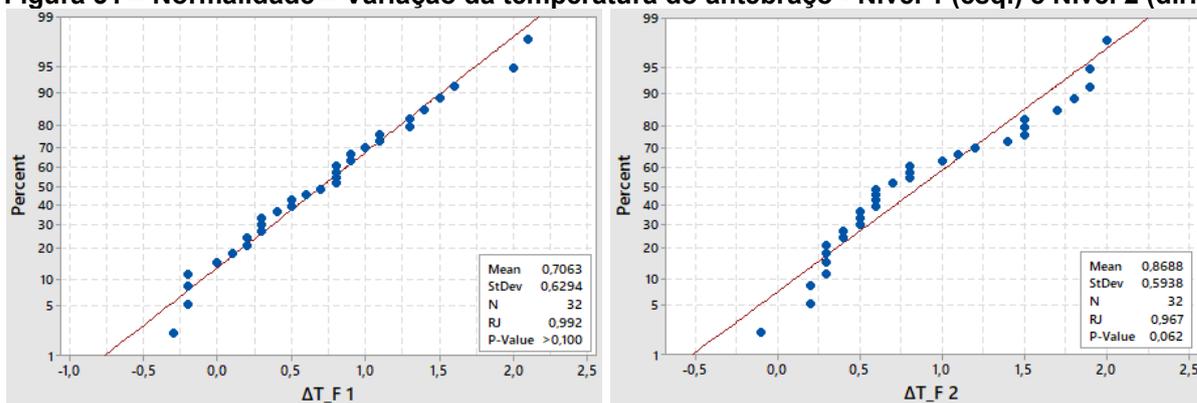
Fonte: Autoria própria

Através dos testes apresentados, verificou-se as variações de temperatura do ombro seguem distribuição normal em todos os níveis OCRA, uma vez que todos obtiveram p-valor maior que 0,05.

4.3.2 Normalidade da variação de temperatura do antebraço

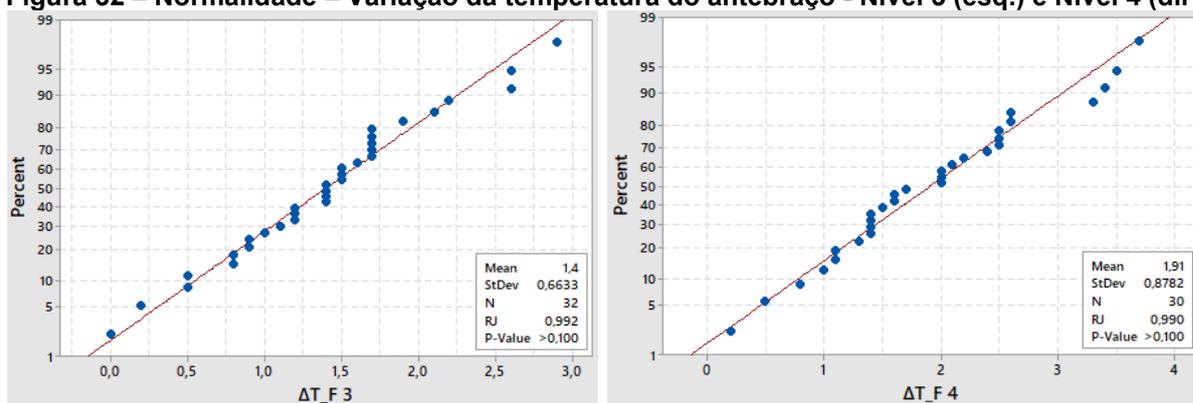
As Figuras 31 a 33 apresentam os resultados dos testes de normalidade da variação de temperatura do antebraço, por nível, bem como o p-valor de cada teste.

Figura 31 – Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)



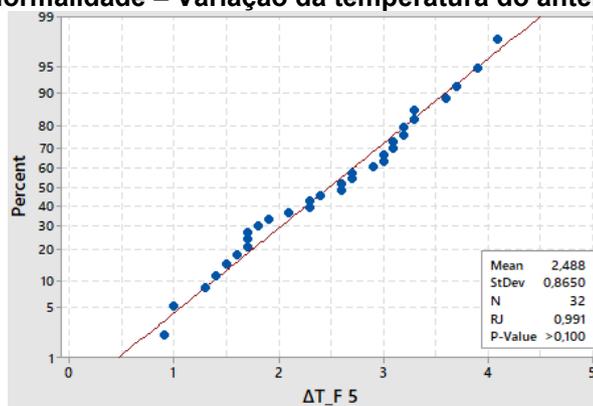
Fonte: Autoria própria

Figura 32 – Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)



Fonte: Autoria própria

Figura 33 - Normalidade – Variação da temperatura do antebraço - Nível 5



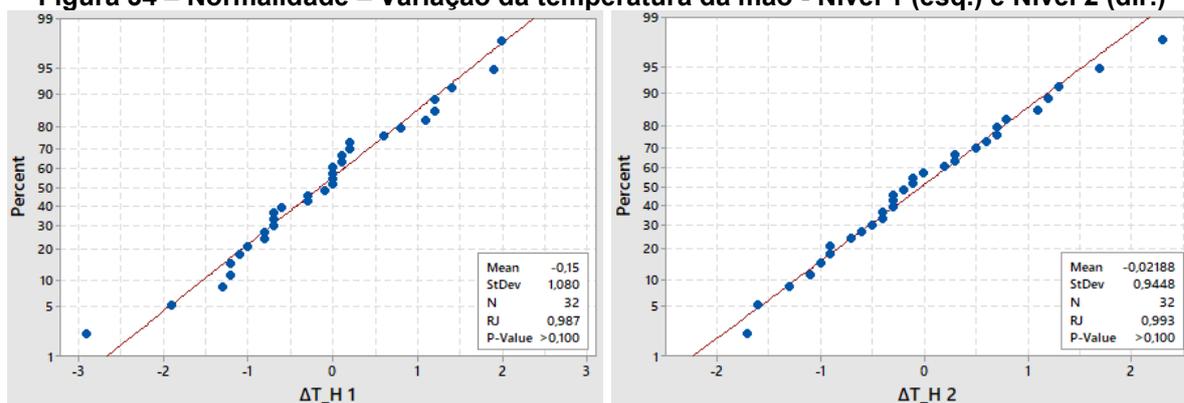
Fonte: Autoria própria

Através dos testes apresentados, verificou-se as variações de temperatura do antebraço seguem distribuição normal em todos os níveis OCRA, uma vez que todos obtiveram p-valor maior que 0,05.

4.3.3 Normalidade da variação de temperatura da mão

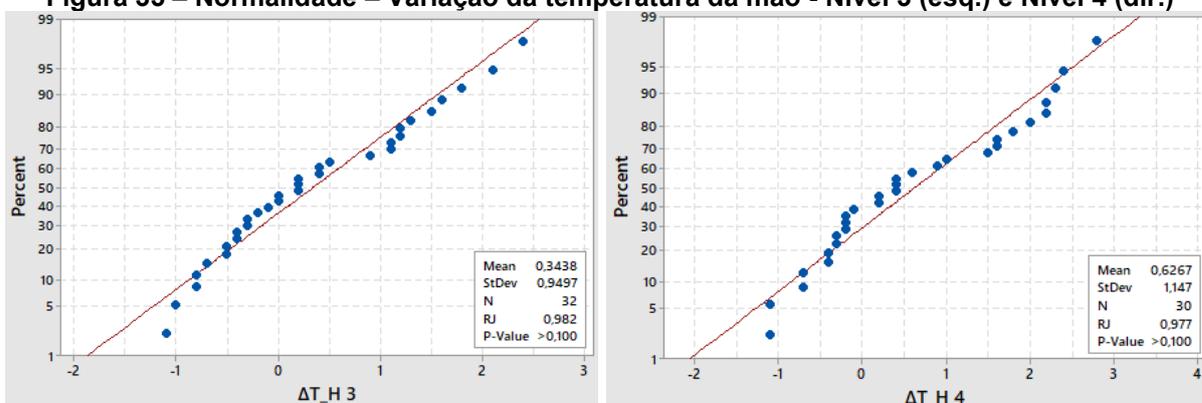
As Figuras 34 a 36 apresentam os resultados dos testes de normalidade da variação de temperatura da mão, por nível, bem como o p-valor de cada teste.

Figura 34 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 1 (esq.) e Nível 2 (dir.)



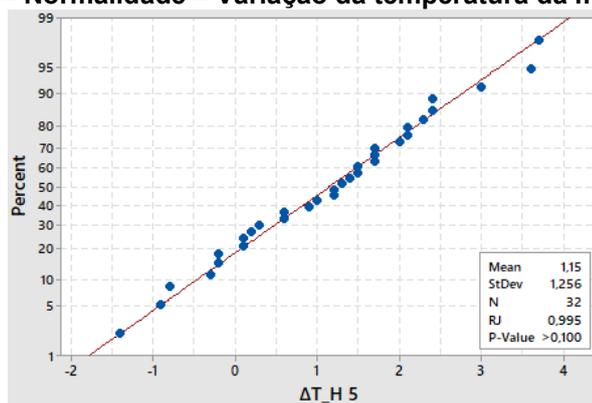
Fonte: Autoria própria

Figura 35 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 3 (esq.) e Nível 4 (dir.)



Fonte: Autoria própria

Figura 36 – Normalidade – Variação da temperatura da mão - Nível 5



Fonte: Autoria própria

Através dos testes apresentados, verificou-se as variações de temperatura da mão seguem distribuição normal em todos os níveis OCRA, uma vez que todos obtiveram p-valor maior que 0,05.

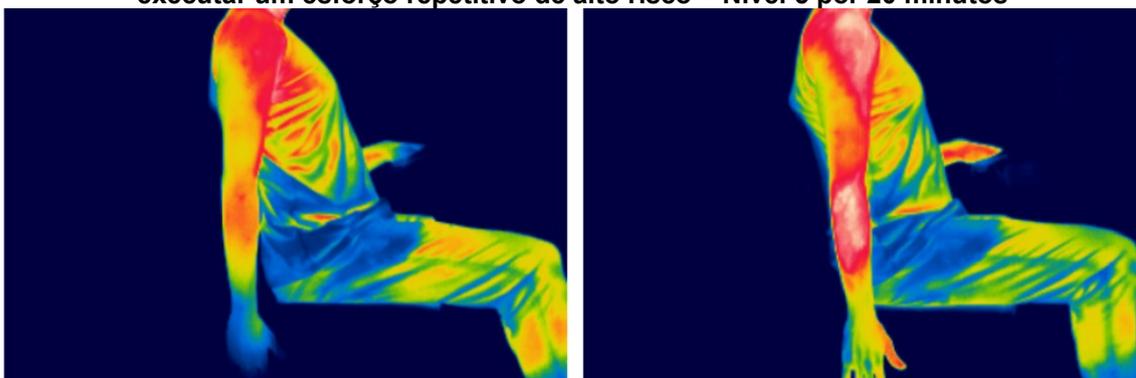
4.4 VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA PELE

Nesta seção serão apresentados através de Tabelas os resultados de variação de temperatura por ROI após a execução de esforços repetitivos de diferentes níveis.

A proposta deste estudo demanda que ocorra variação de temperatura (preferencialmente positiva) entre o repouso e a execução de esforços repetitivos, de modo que a mesma possa ser quantificada através de termografia infravermelha.

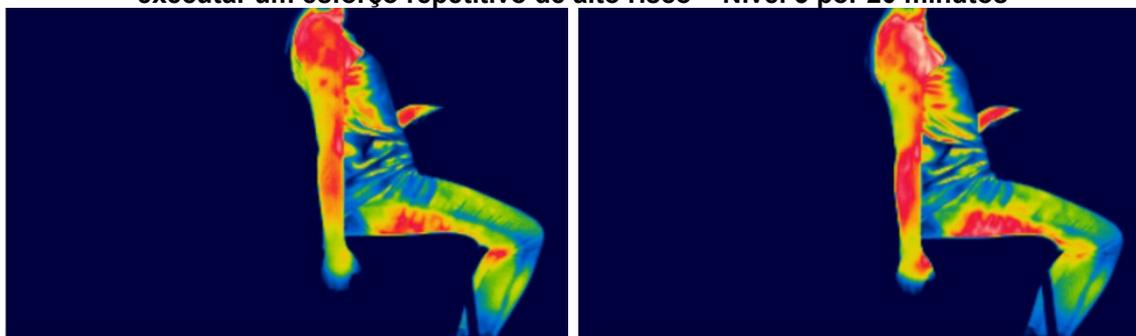
As Figuras 37 e 38 ilustram a variação da temperatura da pele em um participante homem e uma participante mulher, comparando a situação de repouso e a situação após a execução de um esforço repetitivo de nível 5, ou seja, de alto risco (zona roxa), por 20 minutos.

Figura 37 – Imagem termográfica de um participante homem, antes (esq.) e depois (dir.) de executar um esforço repetitivo de alto risco – Nível 5 por 20 minutos



Fonte: Adaptado de Soares et al. (2020)

Figura 38 – Imagem termográfica de uma participante mulher, antes (esq.) e depois (dir.) de executar um esforço repetitivo de alto risco – Nível 5 por 20 minutos



Fonte: Adaptado de Soares et al. (2020)

Espera-se também que as variações de temperatura ao longo dos diferentes níveis sejam estatisticamente diferentes entre si, dentro de cada região de interesse. Para avaliar tais hipóteses, aplicou-se o Teste T para amostras emparelhadas, consistindo em testes de hipótese baseados no p-valor, onde p deve ser menor que 0,05 para que seja possível afirmar que há diferença significativa com um grau de confiança de 95%. A seguir são apresentadas as hipóteses para teste, de modo que se o p-valor for menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula.

- H0: não há diferença significativa de temperatura na região de interesse ao comparar a situação de repouso e a situação após esforço repetitivo;

- H1: é possível afirmar que há diferença significativa de temperatura na região de interesse ao comparar a situação de repouso e a situação após esforço repetitivo.

4.4.1 Variação intra níveis da temperatura do ombro

Apresenta-se nas Tabelas 33, 35, 37, 39 e 41 a variação de temperatura na região do ombro, de acordo com o nível de esforço repetitivo executado pelo participante. As siglas t0 e t20 indicam a temperatura (°C) da região de interesse no tempo 0 minutos e 20 minutos respectivamente, enquanto ΔT representa a variação da temperatura (°C).

Tabela 33 – Variação de temperatura do ombro – Nível 1

| Participante | t0 | t20 | ΔT | Participante | t0 | t20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 31,2 | 33,0 | 1,8 | 17 | 31,0 | 32,5 | 1,5 |
| 2 | 31,5 | 32,0 | 0,5 | 18 | 33,9 | 34,5 | 0,6 |
| 3 | 33,0 | 34,3 | 1,3 | 19 | 33,5 | 33,9 | 0,4 |
| 4 | 33,1 | 33,9 | 0,8 | 20 | 31,0 | 31,1 | 0,1 |
| 5 | 32,0 | 33,7 | 1,7 | 21 | 31,8 | 32,0 | 0,2 |
| 6 | 31,9 | 32,4 | 0,5 | 22 | 31,9 | 31,3 | -0,6 |
| 7 | 33,1 | 34,0 | 0,9 | 23 | 33,9 | 35,2 | 1,3 |
| 8 | 34,1 | 34,4 | 0,3 | 24 | 33,4 | 33,9 | 0,5 |
| 9 | 32,7 | 33,0 | 0,3 | 25 | 32,2 | 32,6 | 0,4 |
| 10 | 32,5 | 33,5 | 1,0 | 26 | 33,8 | 34,8 | 1,0 |
| 11 | 32,5 | 34,1 | 1,6 | 27 | 31,5 | 31,7 | 0,2 |
| 12 | 33,3 | 34,7 | 1,4 | 28 | 32,3 | 33,3 | 1,0 |
| 13 | 33,1 | 34,0 | 0,9 | 29 | 30,2 | 31,9 | 1,7 |
| 14 | 33,5 | 33,7 | 0,2 | 30 | 32,4 | 34,1 | 1,7 |
| 15 | 31,8 | 33,5 | 1,7 | 31 | 31,2 | 33,0 | 1,8 |
| 16 | 31,8 | 32,8 | 1,0 | 32 | 30,8 | 31,3 | 0,5 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 33 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura nos ombros após a execução de esforço repetitivo de nível 1, ou seja, risco aceitável. A variação média de temperatura foi de 0,881 °C, com desvio padrão 0,621 °C.

Aplicou-se também o teste T pareado para comparação de médias entre as temperaturas t0 e t20.

Tabela 34 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 1

| Par | t | gl | Significância |
|---------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do ombro em T0 - T20 | -8,030 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 34 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho, pois $p < 0,05$, quando analisado o ombro no nível 1 de esforço repetitivo. Ou seja, mesmo no nível de esforço de menor risco foi manifestado aumento de temperatura da pele dos ombros dos participantes deste estudo.

Tabela 35 – Variação de temperatura do ombro – Nível 2

| Participante | t0 | t20 | ΔT | Participante | t0 | t20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 30,8 | 33,2 | 2,4 | 17 | 32,5 | 32,5 | 0,0 |
| 2 | 33,1 | 33,7 | 0,6 | 18 | 34,2 | 35,0 | 0,8 |
| 3 | 33,9 | 35,1 | 1,2 | 19 | 32,7 | 33,2 | 0,5 |
| 4 | 33,1 | 34,2 | 1,1 | 20 | 31,6 | 32,5 | 0,9 |
| 5 | 32,7 | 33,4 | 0,7 | 21 | 31,3 | 32,6 | 1,3 |
| 6 | 32,5 | 34,0 | 1,5 | 22 | 32,8 | 34,4 | 1,6 |
| 7 | 31,9 | 33,8 | 1,9 | 23 | 34,0 | 34,8 | 0,8 |
| 8 | 33,4 | 34,3 | 0,9 | 24 | 32,6 | 33,6 | 1,0 |
| 9 | 31,8 | 32,6 | 0,8 | 25 | 33,1 | 34,4 | 1,3 |
| 10 | 33,6 | 34,7 | 1,1 | 26 | 33,9 | 34,7 | 0,8 |
| 11 | 32,2 | 34,4 | 2,2 | 27 | 31,5 | 32,3 | 0,8 |
| 12 | 33,4 | 34,9 | 1,5 | 28 | 33,3 | 35,1 | 1,8 |
| 13 | 32,5 | 34,3 | 1,8 | 29 | 30,4 | 31,4 | 1,0 |
| 14 | 33,2 | 33,9 | 0,7 | 30 | 31,8 | 34,3 | 2,5 |
| 15 | 32,0 | 33,8 | 1,8 | 31 | 33,5 | 34,1 | 0,6 |
| 16 | 32,5 | 33,8 | 1,3 | 32 | 31,0 | 31,4 | 0,4 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 35 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura nos ombros após a execução de esforço repetitivo de nível 2, ou seja, risco muito baixo. A variação média de temperatura foi de 1,175 °C, com desvio padrão 0,594 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 2 foi maior do que no nível 1 de esforço repetitivo.

Tabela 36 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 2

| Par | t | gl | Significância |
|---------------------------------------|---------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do ombro em T0 - T20 | -11,199 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 36 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o ombro no nível 2 de esforço repetitivo.

Tabela 37 – Variação de temperatura do ombro – Nível 3

| Participante | t0 | t20 | ΔT | Participante | t0 | t20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 33,3 | 34,6 | 1,3 | 17 | 33,3 | 34,9 | 1,6 |
| 2 | 33,7 | 35,1 | 1,4 | 18 | 34,1 | 35,3 | 1,2 |
| 3 | 34,2 | 35,2 | 1,0 | 19 | 33,1 | 32,7 | -0,4 |
| 4 | 32,8 | 34,6 | 1,8 | 20 | 33,7 | 34,2 | 0,5 |
| 5 | 33,1 | 34,2 | 1,1 | 21 | 31,9 | 33,6 | 1,7 |
| 6 | 33,1 | 35,2 | 2,1 | 22 | 32,9 | 34,4 | 1,5 |
| 7 | 32,5 | 33,8 | 1,3 | 23 | 34,0 | 35,9 | 1,9 |
| 8 | 33,0 | 34,5 | 1,5 | 24 | 30,7 | 32,9 | 2,2 |
| 9 | 32,7 | 33,8 | 1,1 | 25 | 33,5 | 34,2 | 0,7 |
| 10 | 34,0 | 35,2 | 1,2 | 26 | 32,8 | 34,7 | 1,9 |
| 11 | 33,0 | 34,9 | 1,9 | 27 | 31,6 | 32,3 | 0,7 |
| 12 | 34,5 | 35,7 | 1,2 | 28 | 31,5 | 34,1 | 2,6 |
| 13 | 33,0 | 35,0 | 2,0 | 29 | 31,0 | 32,5 | 1,5 |
| 14 | 33,6 | 34,9 | 1,3 | 30 | 30,9 | 33,7 | 2,8 |
| 15 | 32,4 | 34,1 | 1,7 | 31 | 32,2 | 34,2 | 2,0 |
| 16 | 32,8 | 33,8 | 1,0 | 32 | 31,8 | 32,1 | 0,3 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 37 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura nos ombros após a execução de esforço repetitivo de nível 3, ou seja, risco baixo. A variação média de temperatura foi de 1,425 °C, com desvio padrão 0,655 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 3 foi maior do que no nível 2 de esforço repetitivo.

Tabela 38 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 3

| Par | t | gl | Significância |
|---------------------------------------|---------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do ombro em T0 - T20 | -12,316 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 38 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho, pois $p < 0,05$, quando analisado o ombro no nível 3 de esforço repetitivo.

Tabela 39 – Variação de temperatura do ombro – Nível 4

| Participante | t0 | t20 | ΔT | Participante | t0 | t20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 33,4 | 35,1 | 1,7 | 17 | 32,0 | 34,7 | 2,7 |
| 2 | 33,6 | 35,2 | 1,6 | 18 | 33,2 | 35,8 | 2,6 |
| 3 | 33,7 | 35,9 | 2,2 | 19 | 32,8 | 33,1 | 0,3 |
| 4 | 33,1 | 33,8 | 0,7 | 20 | 31,8 | 33,8 | 2,0 |
| 5 | 33,8 | 34,9 | 1,1 | 21 | 32,5 | 34,8 | 2,3 |
| 6 | 33,9 | 35,7 | 1,8 | 22 | 32,0 | 34,9 | 2,9 |
| 7 | 34,3 | 35,5 | 1,2 | 23 | 34,0 | 36,3 | 2,3 |
| 8 | 34,2 | 35,4 | 1,2 | 24 | 33,3 | 34,8 | 1,5 |
| 9 | 32,7 | 34,1 | 1,4 | 25 | 33,7 | 34,5 | 0,8 |
| 10 | 33,7 | 34,2 | 0,5 | 26 | 34,1 | 35,8 | 1,7 |
| 11 | 33,6 | 35,8 | 2,2 | 27 | 32,8 | 34,2 | 1,4 |
| 12 | 32,9 | 35,0 | 2,1 | 28 | 33,5 | 35,2 | 1,7 |
| 13 | 32,8 | 35,2 | 2,4 | 29 | 30,6 | 33,4 | 2,8 |
| 14 | 32,8 | 35,0 | 2,2 | 30 | 31,9 | 34,4 | 2,5 |
| 15 | 32,4 | 34,3 | 1,9 | 31 | 31,7 | 33,6 | 1,9 |
| 16 | 32,6 | 33,5 | 0,9 | 32 | 32,5 | 33,5 | 1,0 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 39 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura nos ombros após a execução de esforço repetitivo de nível 4, ou seja, risco médio. A variação média de temperatura foi de 1,734 °C, com desvio padrão 0,691 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 4 foi maior do que no nível 3 de esforço repetitivo.

Tabela 40 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 4

| Par | t | gl | Significância |
|---------------------------------------|---------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do ombro em T0 - T20 | -14,203 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 40 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o ombro no nível 4 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 41 – Variação de temperatura do ombro – Nível 5

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 33,4 | 35,4 | 2,0 | 17 | 32,8 | 34,6 | 1,8 |
| 2 | 31,3 | 33,8 | 2,5 | 18 | 33,0 | 35,1 | 2,1 |
| 3 | 33,8 | 36,0 | 2,2 | 19 | 33,3 | 34,7 | 1,4 |
| 4 | 32,6 | 34,4 | 1,8 | 20 | 32,7 | 33,5 | 0,8 |
| 5 | 33,2 | 34,4 | 1,2 | 21 | 32,4 | 34,5 | 2,1 |
| 6 | 32,9 | 35,5 | 2,6 | 22 | 33,5 | 36,6 | 3,1 |
| 7 | 34,6 | 35,9 | 1,3 | 23 | 34,6 | 35,5 | 0,9 |
| 8 | 32,3 | 34,1 | 1,8 | 24 | 33,7 | 35,1 | 1,4 |
| 9 | 33,1 | 35,2 | 2,1 | 25 | 32,8 | 33,4 | 0,6 |
| 10 | 34,0 | 35,8 | 1,8 | 26 | 33,5 | 34,9 | 1,4 |
| 11 | 32,2 | 35,2 | 3,0 | 27 | 33,4 | 34,2 | 0,8 |
| 12 | 33,7 | 35,7 | 2,0 | 28 | 32,6 | 34,5 | 1,9 |
| 13 | 33,9 | 35,4 | 1,5 | 29 | 31,2 | 34,0 | 2,8 |
| 14 | 34,6 | 36,0 | 1,4 | 30 | 33,3 | 35,0 | 1,7 |
| 15 | 33,0 | 35,4 | 2,4 | 31 | 32,4 | 34,8 | 2,4 |
| 16 | 31,8 | 32,4 | 0,6 | 32 | 32,0 | 33,3 | 1,3 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 41 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura nos ombros após a execução de esforço repetitivo de nível 5, ou seja, risco alto. A variação média de temperatura foi de 1,772 °C, com desvio padrão 0,666 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 5 foi maior do que no nível 4 de esforço repetitivo.

Tabela 42 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do ombro – Nível 5

| Par | t | gl | Significância |
|---------------------------------------|---------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do ombro em T0 - T20 | -15,042 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 42 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho, pois $p < 0,05$, quando analisado o ombro no nível 5 de esforço repetitivo.

4.4.2 Variação intra níveis da temperatura do antebraço

Apresenta-se nas Tabelas 43, 45, 47, 49 e 51 a variação de temperatura na região do antebraço, de acordo com o nível de esforço repetitivo executado pelo participante.

Tabela 43 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 1

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 29,8 | 31,9 | 2,1 | 17 | 30,4 | 32,4 | 2,0 |
| 2 | 30,4 | 30,8 | 0,4 | 18 | 33,3 | 34,2 | 0,9 |
| 3 | 32,4 | 33,2 | 0,8 | 19 | 33,7 | 33,5 | -0,2 |
| 4 | 32,3 | 33,4 | 1,1 | 20 | 29,6 | 30,3 | 0,7 |
| 5 | 30,3 | 31,8 | 1,5 | 21 | 30,9 | 30,7 | -0,2 |
| 6 | 31,8 | 32,1 | 0,3 | 22 | 32,0 | 31,7 | -0,3 |
| 7 | 33,7 | 34,2 | 0,5 | 23 | 31,7 | 32,8 | 1,1 |
| 8 | 32,0 | 32,3 | 0,3 | 24 | 31,7 | 32,5 | 0,8 |
| 9 | 30,6 | 31,5 | 0,9 | 25 | 29,3 | 29,8 | 0,5 |
| 10 | 31,6 | 32,2 | 0,6 | 26 | 32,1 | 33,1 | 1,0 |
| 11 | 33,1 | 34,4 | 1,3 | 27 | 30,8 | 31,1 | 0,3 |
| 12 | 31,2 | 32,6 | 1,4 | 28 | 31,5 | 31,5 | 0,0 |
| 13 | 30,8 | 30,6 | -0,2 | 29 | 29,2 | 29,3 | 0,1 |
| 14 | 31,8 | 32,6 | 0,8 | 30 | 31,4 | 32,2 | 0,8 |
| 15 | 30,6 | 32,2 | 1,6 | 31 | 30,7 | 32,0 | 1,3 |
| 16 | 31,0 | 31,2 | 0,2 | 32 | 31,0 | 31,2 | 0,2 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 43 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura no antebraço após a execução de esforço repetitivo de nível 1, ou seja, risco aceitável. A variação média de temperatura foi de 0,706 °C, com desvio padrão 0,629 °C.

Tabela 44 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 1

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do antebraço em T0 - T20 | -6,348 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 44 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o antebraço no nível 1 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$. Ou seja, mesmo no nível de esforço de menor risco foi manifestado aumento de temperatura da pele do antebraço dos participantes deste estudo.

Tabela 45 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 2

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|---------------------|-----------|------------|------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------------------------|
| 1 | 30,6 | 32,5 | 1,9 | 17 | 31,5 | 32,3 | 0,8 |
| 2 | 33,4 | 33,7 | 0,3 | 18 | 33,5 | 34,1 | 0,6 |
| 3 | 32,5 | 34,3 | 1,8 | 19 | 33,2 | 33,8 | 0,6 |
| 4 | 32,7 | 33,0 | 0,3 | 20 | 30,8 | 31,8 | 1,0 |
| 5 | 31,1 | 31,5 | 0,4 | 21 | 31,9 | 32,5 | 0,6 |
| 6 | 32,8 | 33,4 | 0,6 | 22 | 32,9 | 33,4 | 0,5 |
| 7 | 32,9 | 33,7 | 0,8 | 23 | 31,9 | 32,1 | 0,2 |
| 8 | 32,2 | 33,0 | 0,8 | 24 | 30,7 | 32,1 | 1,4 |
| 9 | 30,6 | 31,1 | 0,5 | 25 | 32,1 | 32,4 | 0,3 |
| 10 | 33,7 | 34,8 | 1,1 | 26 | 33,7 | 33,9 | 0,2 |
| 11 | 32,2 | 34,1 | 1,9 | 27 | 31,4 | 32,1 | 0,7 |
| 12 | 32,0 | 33,2 | 1,2 | 28 | 32,2 | 33,9 | 1,7 |
| 13 | 30,5 | 32,0 | 1,5 | 29 | 29,5 | 29,8 | 0,3 |
| 14 | 31,1 | 33,1 | 2,0 | 30 | 30,6 | 32,1 | 1,5 |
| 15 | 31,3 | 32,8 | 1,5 | 31 | 31,6 | 32,1 | 0,5 |
| 16 | 32,9 | 32,8 | -0,1 | 32 | 31,2 | 31,6 | 0,4 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 45 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura no antebraço após a execução de esforço repetitivo de nível 2, ou seja, risco muito baixo. A variação média de temperatura foi de 0,869 °C, com desvio padrão 0,594 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 2 foi maior do que no nível 1 de esforço repetitivo.

Tabela 46 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 2

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do antebraço em T0 - T20 | -8,277 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 46 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o antebraço no nível 2 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 47 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 3

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 32,5 | 35,1 | 2,6 | 17 | 32,1 | 35,0 | 2,9 |
| 2 | 33,1 | 34,6 | 1,5 | 18 | 32,8 | 34,2 | 1,4 |
| 3 | 32,9 | 34,6 | 1,7 | 19 | 32,5 | 33,0 | 0,5 |
| 4 | 32,3 | 33,8 | 1,5 | 20 | 32,5 | 33,7 | 1,2 |
| 5 | 31,7 | 32,9 | 1,2 | 21 | 31,4 | 32,3 | 0,9 |
| 6 | 32,8 | 34,2 | 1,4 | 22 | 33,2 | 33,4 | 0,2 |
| 7 | 33,0 | 33,8 | 0,8 | 23 | 32,9 | 34,5 | 1,6 |
| 8 | 32,0 | 33,4 | 1,4 | 24 | 32,1 | 33,1 | 1,0 |
| 9 | 31,5 | 33,2 | 1,7 | 25 | 31,9 | 32,4 | 0,5 |
| 10 | 33,8 | 35,5 | 1,7 | 26 | 33,0 | 34,2 | 1,2 |
| 11 | 33,6 | 35,0 | 1,4 | 27 | 31,4 | 32,2 | 0,8 |
| 12 | 32,9 | 35,0 | 2,1 | 28 | 30,5 | 32,0 | 1,5 |
| 13 | 31,9 | 34,1 | 2,2 | 29 | 28,9 | 30,6 | 1,7 |
| 14 | 31,7 | 33,6 | 1,9 | 30 | 29,6 | 30,7 | 1,1 |
| 15 | 30,9 | 33,5 | 2,6 | 31 | 32,8 | 32,8 | 0,0 |
| 16 | 32,0 | 32,9 | 0,9 | 32 | 30,6 | 32,3 | 1,7 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 47 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura no antebraço após a execução de esforço repetitivo de nível 3, ou seja, risco baixo. A variação média de temperatura foi de 1,400 °C, com desvio padrão 0,663 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 3 foi maior do que no nível 2 de esforço repetitivo.

Tabela 48 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 3

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------|---------|----|---------------|
| Temperatura (°C) do antebraço em T0 - T20 | -11,939 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 48 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o antebraço no nível 3 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 49 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 4

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 32,8 | 35,3 | 2,5 | 17 | 31,1 | 34,6 | 3,5 |
| 2 | 33,1 | 34,7 | 1,6 | 18 | 33,8 | 35,2 | 1,4 |
| 3 | 33,0 | 35,6 | 2,6 | 19 | 32,6 | 34,1 | 1,5 |
| 4 | 33,2 | 34,6 | 1,4 | 20 | 30,8 | 33,0 | 2,2 |
| 5 | 32,0 | 33,3 | 1,3 | 21 | 32,0 | 33,6 | 1,6 |
| 6 | 34,0 | 34,8 | 0,8 | 22 | 31,5 | 34,0 | 2,5 |
| 7 | 34,9 | 35,1 | 0,2 | 23 | 32,5 | 34,1 | 1,6 |
| 8 | 33,2 | 34,3 | 1,1 | 24 | 32,3 | 34,8 | 2,5 |
| 9 | 31,4 | 33,4 | 2,0 | 25 | 32,7 | 33,2 | 0,5 |
| 10 | 33,8 | 34,8 | 1,0 | 26 | 33,2 | 35,6 | 2,4 |
| 11 | 33,6 | 35,7 | 2,1 | 27 | 31,6 | 34,1 | 2,5 |
| 12 | 32,2 | 33,9 | 1,7 | 28 | 31,5 | 34,8 | 3,3 |
| 13 | 31,5 | 34,1 | 2,6 | 29 | 28,9 | 30,9 | 2,0 |
| 14 | 30,7 | 34,1 | 3,4 | 30 | 30,0 | 32,0 | 2,0 |
| 15 | 30,4 | 34,1 | 3,7 | 31 | 31,8 | 33,2 | 1,4 |
| 16 | 31,9 | 33,3 | 1,4 | 32 | 31,4 | 32,5 | 1,1 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 49 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura no antebraço após a execução de esforço repetitivo de nível 4, ou seja, risco médio. A variação média de temperatura foi de 1,919 °C, com desvio padrão 0,858 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 4 foi maior do que no nível 3 de esforço repetitivo.

Tabela 50 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 4

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------|----------|-----------|----------------------|
| Temperatura (°C) do antebraço em T0 - T20 | -12,654 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 50 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o antebraço no nível 4 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 51 – Variação de temperatura do antebraço – Nível 5

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|---------------------|-----------|------------|------------|---------------------|-----------|------------|------------|
| 1 | 31,8 | 35,7 | 3,9 | 17 | 32,9 | 34,7 | 1,8 |
| 2 | 30,8 | 33,7 | 2,9 | 18 | 34,2 | 35,1 | 0,9 |
| 3 | 32,3 | 35,9 | 3,6 | 19 | 32,8 | 34,7 | 1,9 |
| 4 | 31,3 | 35,4 | 4,1 | 20 | 30,2 | 33,2 | 3,0 |
| 5 | 31,4 | 33,1 | 1,7 | 21 | 31,3 | 33,9 | 2,6 |
| 6 | 32,2 | 35,3 | 3,1 | 22 | 32,4 | 35,4 | 3,0 |
| 7 | 34,8 | 35,8 | 1,0 | 23 | 32,3 | 33,9 | 1,6 |
| 8 | 31,9 | 34,0 | 2,1 | 24 | 33,0 | 35,4 | 2,4 |
| 9 | 31,6 | 34,9 | 3,3 | 25 | 31,2 | 32,5 | 1,3 |
| 10 | 32,7 | 35,4 | 2,7 | 26 | 33,4 | 35,1 | 1,7 |
| 11 | 32,2 | 35,4 | 3,2 | 27 | 33,0 | 34,4 | 1,4 |
| 12 | 32,0 | 35,1 | 3,1 | 28 | 30,5 | 33,7 | 3,2 |
| 13 | 31,8 | 34,5 | 2,7 | 29 | 29,8 | 32,4 | 2,6 |
| 14 | 33,2 | 35,5 | 2,3 | 30 | 32,0 | 33,5 | 1,5 |
| 15 | 32,0 | 35,7 | 3,7 | 31 | 31,7 | 33,4 | 1,7 |
| 16 | 30,7 | 34,0 | 3,3 | 32 | 31,1 | 33,4 | 2,3 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 51 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura no antebraço após a execução de esforço repetitivo de nível 5, ou seja, risco alto. A variação média de temperatura foi de 2,488 °C, com desvio padrão 0,865 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 5 foi maior do que no nível 4 de esforço repetitivo.

Tabela 52 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura do antebraço – Nível 5

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------|----------|-----------|----------------------|
| Temperatura (°C) do antebraço em T0 - T20 | -16,268 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 52 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisado o antebraço no nível 5 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

4.4.3 Variação intra níveis da temperatura da mão

Apresenta-se nas Tabelas 53, 55, 57, 59 e 61 a variação de temperatura na região da mão, de acordo com o nível de esforço repetitivo executado pelo participante.

Tabela 53 – Variação de temperatura da mão – Nível 1

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|---------------------|-----------|------------|------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------------------------|
| 1 | 28,3 | 28,4 | 0,1 | 17 | 26,4 | 26,3 | -0,1 |
| 2 | 29,8 | 29,1 | -0,7 | 18 | 33,5 | 32,5 | -1,0 |
| 3 | 30,4 | 30,4 | 0,0 | 19 | 34,1 | 34,1 | 0,0 |
| 4 | 32,6 | 33,7 | 1,1 | 20 | 30,1 | 29,4 | -0,7 |
| 5 | 28,5 | 30,4 | 1,9 | 21 | 27,3 | 27,9 | 0,6 |
| 6 | 29,9 | 29,9 | 0,0 | 22 | 30,7 | 29,5 | -1,2 |
| 7 | 34,5 | 34,7 | 0,2 | 23 | 29,0 | 30,2 | 1,2 |
| 8 | 31,5 | 30,2 | -1,3 | 24 | 33,6 | 33,3 | -0,3 |
| 9 | 32,0 | 30,8 | -1,2 | 25 | 28,1 | 28,9 | 0,8 |
| 10 | 27,6 | 27,6 | 0,0 | 26 | 32,1 | 31,4 | -0,7 |
| 11 | 33,6 | 33,3 | -0,3 | 27 | 32,1 | 31,0 | -1,1 |
| 12 | 32,7 | 32,1 | -0,6 | 28 | 29,6 | 29,8 | 0,2 |
| 13 | 29,4 | 28,6 | -0,8 | 29 | 26,3 | 25,5 | -0,8 |
| 14 | 33,8 | 30,9 | -2,9 | 30 | 30,1 | 30,2 | 0,1 |
| 15 | 26,0 | 27,2 | 1,2 | 31 | 28,4 | 30,4 | 2,0 |
| 16 | 29,0 | 30,4 | 1,4 | 32 | 32,5 | 30,6 | -1,9 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 53 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura da mão após a execução de esforço repetitivo de nível 1, ou seja, risco aceitável. A variação média de temperatura foi de $-0,150^{\circ}\text{C}$, com desvio padrão $1,080^{\circ}\text{C}$. Neste caso, ocorreu redução da temperatura da pele da mão, mesmo após executar um trabalho repetitivo, porém considerado como risco aceitável.

Tabela 54 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 1

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------------------------|-------|----|---------------|
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da mão em T0 - T20 | 0,786 | 31 | 0,438 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 54 foi 0,438, ou seja, $p > 0,05$. Dessa forma, não é possível afirmar que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho, quando analisada a pele da mão no nível 1 de esforço repetitivo.

Tabela 55 – Variação de temperatura da mão – Nível 2

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 28,8 | 28,7 | -0,1 | 17 | 30,1 | 28,5 | -1,6 |
| 2 | 34,6 | 34,2 | -0,4 | 18 | 34,3 | 33,4 | -0,9 |
| 3 | 32,1 | 32,4 | 0,3 | 19 | 33,9 | 33,9 | 0,0 |
| 4 | 33,5 | 34,0 | 0,5 | 20 | 30,5 | 30,1 | -0,4 |
| 5 | 31,1 | 31,8 | 0,7 | 21 | 32,2 | 32,5 | 0,3 |
| 6 | 34,6 | 34,1 | -0,5 | 22 | 33,0 | 32,7 | -0,3 |
| 7 | 33,8 | 34,6 | 0,8 | 23 | 32,7 | 31,4 | -1,3 |
| 8 | 28,4 | 27,5 | -0,9 | 24 | 28,6 | 29,8 | 1,2 |
| 9 | 32,1 | 30,4 | -1,7 | 25 | 31,3 | 32,6 | 1,3 |
| 10 | 34,6 | 34,8 | 0,2 | 26 | 30,7 | 29,7 | -1,0 |
| 11 | 33,0 | 32,8 | -0,2 | 27 | 33,4 | 33,3 | -0,1 |
| 12 | 33,0 | 32,3 | -0,7 | 28 | 32,3 | 33,4 | 1,1 |
| 13 | 28,8 | 29,4 | 0,6 | 29 | 27,2 | 26,6 | -0,6 |
| 14 | 31,5 | 30,4 | -1,1 | 30 | 27,7 | 29,4 | 1,7 |
| 15 | 27,2 | 27,9 | 0,7 | 31 | 29,1 | 31,4 | 2,3 |
| 16 | 32,8 | 32,5 | -0,3 | 32 | 33,4 | 33,1 | -0,3 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 55 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura da mão após a execução de esforço repetitivo de nível 2, ou seja, risco muito baixo. A variação média de temperatura foi de $-0,022$ °C, com desvio padrão $0,945$ °C. Novamente, assim como no nível 1 de esforço repetitivo, notou-se que ocorreu resfriamento da temperatura da pele da mão, mesmo após a execução de esforço repetitivo (risco muito baixo).

Tabela 56 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 2

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------|----------|-----------|----------------------|
| Temperatura (°C) da mão em T0 - T20 | 0,131 | 31 | 0,897 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 56 foi $0,897$, ou seja, $p > 0,05$. Dessa forma, não é possível afirmar que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho, quando analisada a mão no nível 2 de esforço repetitivo.

Tabela 57 – Variação de temperatura da mão – Nível 3

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 31,9 | 31,7 | -0,2 | 17 | 30,5 | 32,6 | 2,1 |
| 2 | 34,1 | 34,1 | 0,0 | 18 | 33,5 | 33,4 | -0,1 |
| 3 | 29,6 | 30,7 | 1,1 | 19 | 33,6 | 32,8 | -0,8 |
| 4 | 32,6 | 33,7 | 1,1 | 20 | 34,3 | 33,8 | -0,5 |
| 5 | 30,4 | 32,0 | 1,6 | 21 | 29,2 | 30,7 | 1,5 |
| 6 | 33,9 | 33,4 | -0,5 | 22 | 32,5 | 32,7 | 0,2 |
| 7 | 34,3 | 34,7 | 0,4 | 23 | 32,6 | 32,2 | -0,4 |
| 8 | 33,4 | 33,1 | -0,3 | 24 | 30,8 | 31,3 | 0,5 |
| 9 | 33,4 | 32,3 | -1,1 | 25 | 32,9 | 33,1 | 0,2 |
| 10 | 34,2 | 34,6 | 0,4 | 26 | 27,3 | 28,2 | 0,9 |
| 11 | 34,0 | 34,2 | 0,2 | 27 | 31,2 | 32,4 | 1,2 |
| 12 | 35,6 | 34,8 | -0,8 | 28 | 31,0 | 30,3 | -0,7 |
| 13 | 33,5 | 33,5 | 0,0 | 29 | 26,6 | 25,6 | -1,0 |
| 14 | 30,1 | 29,7 | -0,4 | 30 | 25,1 | 26,4 | 1,3 |
| 15 | 25,2 | 27,0 | 1,8 | 31 | 29,9 | 32,3 | 2,4 |
| 16 | 32,6 | 32,3 | -0,3 | 32 | 31,4 | 32,6 | 1,2 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 57 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura da mão após a execução de esforço repetitivo de nível 3, ou seja, risco baixo. A variação média de temperatura foi de 0,344 °C, com desvio padrão 0,950 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 3 foi maior do que no nível 2 de esforço repetitivo, além de ter ocorrido aumento da temperatura da mão neste nível de tarefa.

Tabela 58 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 3

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) da mão em T0 - T20 | -2,048 | 31 | 0,049 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 58 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisada a mão no nível 3 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 59 – Variação de temperatura da mão – Nível 4

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 31,7 | 31,3 | -0,4 | 17 | 28,4 | 31,2 | 2,8 |
| 2 | 33,5 | 33,7 | 0,2 | 18 | 34,1 | 34,3 | 0,2 |
| 3 | 32,0 | 34,3 | 2,3 | 19 | 32,4 | 33,9 | 1,5 |
| 4 | 33,7 | 33,3 | -0,4 | 20 | 30,4 | 30,8 | 0,4 |
| 5 | 32,7 | 33,6 | 0,9 | 21 | 31,1 | 33,1 | 2,0 |
| 6 | 34,3 | 34,2 | -0,1 | 22 | 32,3 | 34,1 | 1,8 |
| 7 | 35,6 | 35,4 | -0,2 | 23 | 31,0 | 31,2 | 0,2 |
| 8 | 34,8 | 34,1 | -0,7 | 24 | 34,1 | 33,4 | -0,7 |
| 9 | 32,8 | 32,5 | -0,3 | 25 | 32,6 | 32,2 | -0,4 |
| 10 | 34,0 | 32,9 | -1,1 | 26 | 34,4 | 34,2 | -0,2 |
| 11 | 34,0 | 35,0 | 1,0 | 27 | 33,1 | 32,8 | -0,3 |
| 12 | 31,5 | 31,9 | 0,4 | 28 | 32,8 | 33,2 | 0,4 |
| 13 | 29,6 | 31,8 | 2,2 | 29 | 27,2 | 27,0 | -0,2 |
| 14 | 26,9 | 29,3 | 2,4 | 30 | 26,8 | 28,4 | 1,6 |
| 15 | 24,7 | 26,3 | 1,6 | 31 | 30,8 | 33,0 | 2,2 |
| 16 | 33,1 | 32,0 | -1,1 | 32 | 32,6 | 33,2 | 0,6 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 59 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura da mão após a execução de esforço repetitivo de nível 4, ou seja, risco médio. A variação média de temperatura foi de 0,581 °C, com desvio padrão 1,126 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 4 foi maior do que no nível 3 de esforço repetitivo, além de ter ocorrido aumento da temperatura da mão neste nível de tarefa.

Tabela 60 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 4

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) da mão em T0 - T20 | -2,919 | 31 | 0,006 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 60 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisada a mão no nível 4 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

Tabela 61 – Variação de temperatura da mão – Nível 5

| Participante | T0 | T20 | ΔT | Participante | T0 | T20 | ΔT |
|--------------|------|------|------------|--------------|------|------|------------|
| 1 | 29,3 | 33,0 | 3,7 | 17 | 29,7 | 32,1 | 2,4 |
| 2 | 31,4 | 32,9 | 1,5 | 18 | 31,9 | 32,9 | 1,0 |
| 3 | 30,9 | 34,5 | 3,6 | 19 | 33,9 | 34,8 | 0,9 |
| 4 | 32,1 | 33,5 | 1,4 | 20 | 30,7 | 30,8 | 0,1 |
| 5 | 31,2 | 33,3 | 2,1 | 21 | 31,1 | 33,5 | 2,4 |
| 6 | 32,8 | 34,0 | 1,2 | 22 | 32,8 | 34,8 | 2,0 |
| 7 | 35,3 | 35,4 | 0,1 | 23 | 33,7 | 32,3 | -1,4 |
| 8 | 33,1 | 32,2 | -0,9 | 24 | 33,3 | 33,5 | 0,2 |
| 9 | 33,8 | 33,6 | -0,2 | 25 | 31,4 | 32,0 | 0,6 |
| 10 | 32,8 | 34,0 | 1,2 | 26 | 34,4 | 33,6 | -0,8 |
| 11 | 32,9 | 34,6 | 1,7 | 27 | 33,5 | 33,3 | -0,2 |
| 12 | 32,4 | 32,7 | 0,3 | 28 | 31,2 | 32,7 | 1,5 |
| 13 | 30,6 | 32,9 | 2,3 | 29 | 26,8 | 28,5 | 1,7 |
| 14 | 32,3 | 34,4 | 2,1 | 30 | 32,5 | 32,2 | -0,3 |
| 15 | 29,8 | 31,5 | 1,7 | 31 | 30,4 | 33,4 | 3,0 |
| 16 | 28,6 | 29,2 | 0,6 | 32 | 32,4 | 33,7 | 1,3 |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 61 apresenta os resultados obtidos para variação de temperatura da mão após a execução de esforço repetitivo de nível 5, ou seja, risco alto. A variação média de temperatura foi de 1,150 °C, com desvio padrão 1,256 °C. Conforme o esperado, a variação de temperatura da pele no nível 5 foi maior do que no nível 4 de esforço repetitivo, além de ter ocorrido aumento da temperatura da mão neste nível de tarefa.

Tabela 62 – Teste de amostras emparelhadas – Temperatura da mão – Nível 5

| Par | t | gl | Significância |
|-------------------------------------|--------|----|---------------|
| Temperatura (°C) da mão em T0 - T20 | -5,179 | 31 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A estatística do teste na Tabela 62 indica que houve diferença significativa de temperatura entre a situação de repouso e a situação de trabalho quando analisada a mão no nível 5 de esforço repetitivo, pois $p < 0,05$.

4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: ΔT X Δ OCRA

Nesta seção será analisada a correlação entre a variação de temperatura da pele com o respectivo nível de esforço repetitivo executado pelo participante, por ROI. Será adotada a partir deste momento a seguinte nomenclatura para tratar a variação da temperatura da pele e de esforço repetitivo:

- Δ OCRA - variação do nível de esforço repetitivo (variando de 1 à 5);
- ΔT - variação de temperatura da pele, em °C;
- ΔT_S - variação de temperatura da pele do ombro (*shoulder*), em °C;
- ΔT_F - variação de temperatura da pele do antebraço (*forearm*), em °C;
- ΔT_H - variação de temperatura da pele da mão (*hand*), em °C.

O objetivo da análise de correlação empregada neste estudo é medir o grau de correlação entre duas variáveis, buscando determinar se há uma correlação linear entre elas. As seguintes associações foram mensuradas através da análise de correlação, através de 160 pares de dados para cada uma das ROIs e o respectivo nível OCRA executado pelo participante (calculado em 4.2).

- ΔT_S x Δ OCRA - correlação entre a variação da temperatura do ombro (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo;
- ΔT_F x Δ OCRA - correlação entre a variação da temperatura do antebraço (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo;
- ΔT_H x Δ OCRA - correlação entre a variação da temperatura da mão (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo;

4.5.1 Correlação: ΔT_S x Δ OCRA

A Tabela 63 apresenta os resultados da análise de correlação para o par de variáveis ΔT_S x Δ OCRA - correlação entre a variação da temperatura do ombro (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 63 – Análise de correlação - ΔT_S x $\Delta OCRA$

| Par | Correlação de Pearson (<i>r</i>) | p-valor | N |
|------------------------------|------------------------------------|---------|-----|
| ΔT_S x $\Delta OCRA$ | 0,426 | 0,000 | 160 |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados da análise de correlação, existe correlação linear positiva e significativa ($p < 0,001$) quando analisado o par ΔT_S x $\Delta OCRA$, com *r* de Pearson igual a 0,426.

4.5.2 Correlação: ΔT_F x $\Delta OCRA$

A Tabela 64 apresenta os resultados da análise de correlação para o par de variáveis ΔT_F x $\Delta OCRA$ - correlação entre a variação da temperatura do antebraço (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 64 – Análise de correlação - ΔT_F x $\Delta OCRA$

| Par | Correlação de Pearson (<i>r</i>) | p-valor | N |
|------------------------------|------------------------------------|---------|-----|
| ΔT_F x $\Delta OCRA$ | 0,658 | 0,000 | 160 |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados da análise de correlação, existe correlação linear positiva e significativa ($p < 0,001$) quando analisado o par ΔT_F x $\Delta OCRA$, com *r* de Pearson igual a 0,658, sendo esta a maior correlação obtida neste estudo.

4.5.3 Correlação: ΔT_H x $\Delta OCRA$

A Tabela 65 apresenta os resultados da análise de correlação para o par de variáveis ΔT_H x $\Delta OCRA$ - correlação entre a variação da temperatura da mão (°C) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 65 – Análise de correlação - ΔT_H x $\Delta OCRA$

| Par | Correlação de Pearson (<i>r</i>) | p-valor | N |
|------------------------------|------------------------------------|---------|-----|
| ΔT_H x $\Delta OCRA$ | 0,423 | 0,000 | 160 |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados da análise de correlação, existe correlação linear positiva e significativa ($p < 0,001$) quando analisado o par ΔT_H x $\Delta OCRA$, com *r* de Pearson igual a 0,423, sendo esta a menor correlação obtida neste estudo.

4.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO: ΔT X $\Delta OCRA$

Para atingir o objetivo deste trabalho é necessário determinar uma equação que permita calcular o nível OCRA de esforço repetitivo usando como informação de entrada apenas a temperatura da pele de uma das ROIs deste estudo. Facilitar a aplicação do Índice OCRA é uma das metas deste trabalho, portanto, quanto menos variáveis sejam necessárias medir, mais simples torna-se a aplicação. Portanto, apesar de terem sido coletadas várias variáveis neste estudo, primeiramente serão analisados apenas os pares ΔT_S x $\Delta OCRA$, ΔT_F x $\Delta OCRA$ e ΔT_H x $\Delta OCRA$.

4.6.1 Regressão: ΔT_S x $\Delta OCRA$

A Tabela 66 apresenta os resultados da análise de regressão para o par de variáveis ΔT_S x $\Delta OCRA$ - regressão entre a variação da temperatura do ombro ($^{\circ}C$) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 66 – Análise de regressão - ΔT_S x $\Delta OCRA$

| Modelo | B | Erro padrão | Correlação de Pearson (<i>r</i>) | R^2 | Significância |
|------------------------------|-------|-------------|------------------------------------|-------|---------------|
| Constante | 2,221 | 0,509 | - | - | 0,000 |
| ΔT_S ($^{\circ}C$) | 1,919 | 0,324 | 0,426 | 0,182 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

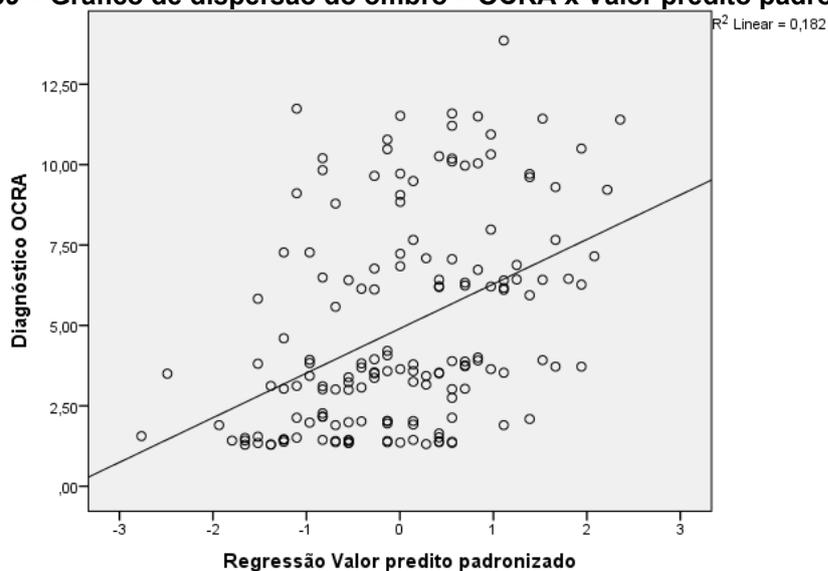
Com base nos resultados da Tabela 66, formula-se a Equação 9 para o cálculo do Índice OCRA, sabendo que $R^2 = 0,182$ e $r = 0,426$. Isso significa que a variação da temperatura da pele do ombro é responsável por 18,2% da variação do Índice OCRA.

(9)

$$\text{OCRA} = 2,221 + (1,919 * \Delta T_S)$$

Na Figura 39 observa-se o gráfico de dispersão da análise de regressão anterior e a Equação 9 plotada.

Figura 39 – Gráfico de dispersão do ombro – OCRA x Valor predito padronizado



Fonte: Autoria própria

4.6.2 Regressão: ΔT_F x ΔOCRA

A Tabela 67 apresenta os resultados da análise de regressão para o par de variáveis ΔT_F x ΔOCRA - regressão entre a variação da temperatura do antebraço ($^{\circ}\text{C}$) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 67 – Análise de regressão - ΔT_F x ΔOCRA

| Modelo | B | Erro padrão | Correlação de Pearson (r) | R^2 | Significância |
|-------------------------------------|-------|-------------|-------------------------------|-------|---------------|
| Constante | 1,684 | 0,352 | - | - | 0,000 |
| ΔT_F ($^{\circ}\text{C}$) | 2,181 | 0,199 | 0,658 | 0,432 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

Com base nos resultados da Tabela 67, formula-se a Equação 10 para o cálculo do Índice OCRA, sabendo que $R^2 = 0,432$ e $r = 0,658$. Isso significa que a

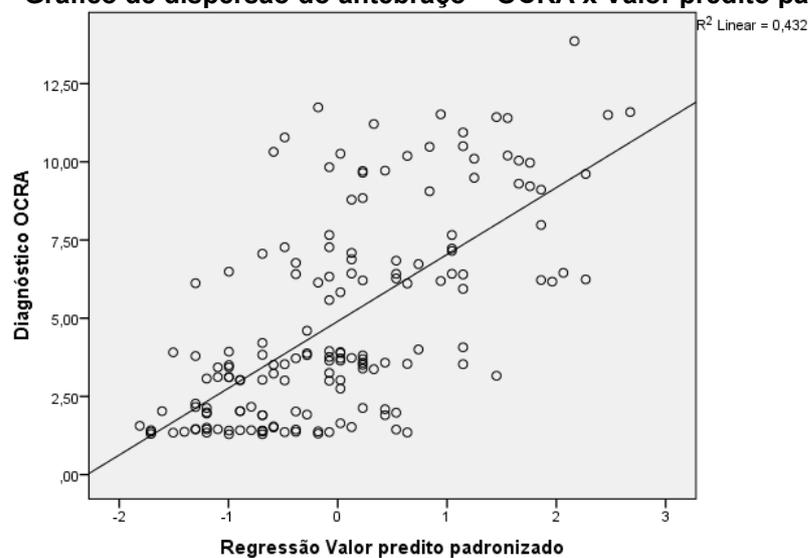
variação da temperatura da pele do antebraço é responsável por 43,2% da variação do Índice OCRA.

(10)

$$OCRA = 1,684 + (2,181 * \Delta T_F)$$

Na Figura 40 observa-se o gráfico de dispersão da análise de regressão anterior e a Equação 10 plotada.

Figura 40 – Gráfico de dispersão do antebraço – OCRA x Valor predito padronizado



Fonte: Autoria própria

4.6.3 Regressão: ΔT_H x $\Delta OCRA$

A Tabela 68 apresenta os resultados da análise de regressão para o par de variáveis ΔT_H x $\Delta OCRA$ - regressão entre a variação da temperatura da mão ($^{\circ}C$) e a variação do nível de esforço repetitivo.

Tabela 68 – Análise de regressão - ΔT_H x $\Delta OCRA$

| Modelo | B | Erro padrão | Correlação de Pearson (r) | R ² | Significância |
|------------------------------|-------|-------------|---------------------------|----------------|---------------|
| Constante | 4,452 | 0,246 | - | - | 0,000 |
| ΔT_H ($^{\circ}C$) | 1,185 | 0,202 | 0,423 | 0,179 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

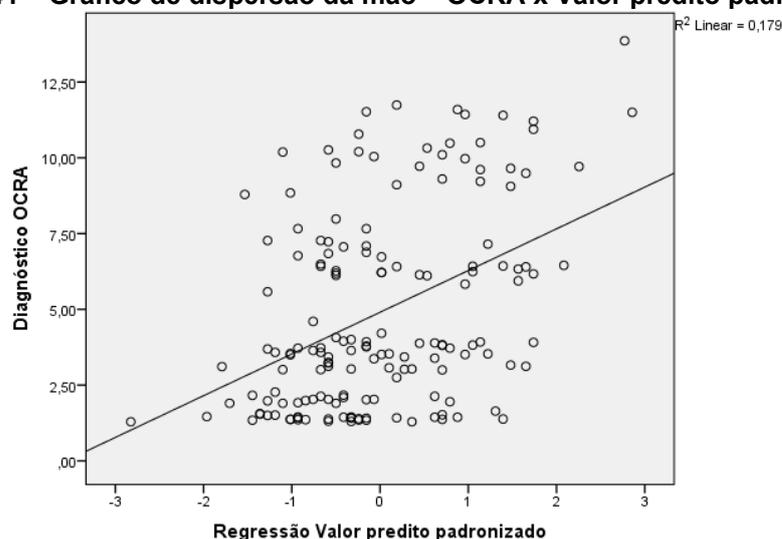
Com base nos resultados da Tabela 68, formula-se a Equação 11 para o cálculo do Índice OCRA, sabendo que $R^2 = 0,179$ e $r = 0,423$. Isso significa que a variação da temperatura da pele da mão é responsável por 17,9% da variação do Índice OCRA.

(11)

$$OCRA = 4,452 + (1,185 * \Delta T_H)$$

Na Figura 41 observa-se o gráfico de dispersão da análise de regressão anterior e a Equação 11 plotada.

Figura 41 – Gráfico de dispersão da mão – OCRA x Valor predito padronizado



Fonte: Autoria própria

4.7 PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS ORIUNDOS DE MOVIMENTOS REPETITIVOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATRAVÉS DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA E A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PELE DO ANTEBRAÇO

Os resultados apresentados até o momento buscaram determinar qual das três ROIs analisadas nesse trabalho possuía o melhor potencial de ser utilizada em uma ferramenta de análise de risco. Essa avaliação foi realizada através da análise de correlação e regressão, que demonstraram nesse estudo que a região de interesse do antebraço apresentou a maior correlação de Pearson, com $r = 0,658$ e $R^2 = 0,432$.

Através deste resultado, propõe-se uma ferramenta de avaliação de riscos oriundos de movimentos repetitivos dos membros superiores, através de termografia

infravermelha. O avaliador deve possuir condições de efetuar uma análise com câmera termográfica, seguindo os passos aplicados neste estudo.

A aplicação desta proposta de ferramenta possui quatro fases, conforme o Quadro 9, além de um fluxograma apresentado na Figura 42.

Quadro 9 – Fases de aplicação da proposta

| | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase 1 | <i>Dia anterior à avaliação:</i> os trabalhadores que serão avaliados devem ser informados de hábitos que devem ser evitados, para evitar que interfiram no resultado do estudo |
| Fase 2 | <i>Dia da avaliação de risco:</i> o avaliador e o trabalhador avaliado preparam-se para avaliação, em fatores como vestimenta e posicionamento da câmera termográfica. |
| Fase 3 | <i>Avaliação de risco:</i> trabalhador executa sua tarefa repetitiva, submetendo-se ao protocolo de medição termográfica definido por este estudo e aplicado pelo avaliador. |
| Fase 4 | <i>Análise de risco:</i> após finalizar o trabalho repetitivo, transfere-se as imagens térmicas para análise em computador, cálculo do Índice OCRA Predito e diagnóstico de risco. |

Fonte: Autoria própria

O resultado deste estudo levou ao cálculo do Índice OCRA Predito, ou OCRA_*Pred*, cujo cálculo realizado origina-se dos resultados desse estudo e da Equação 10. Propõe-se, portanto, a Equação 12:

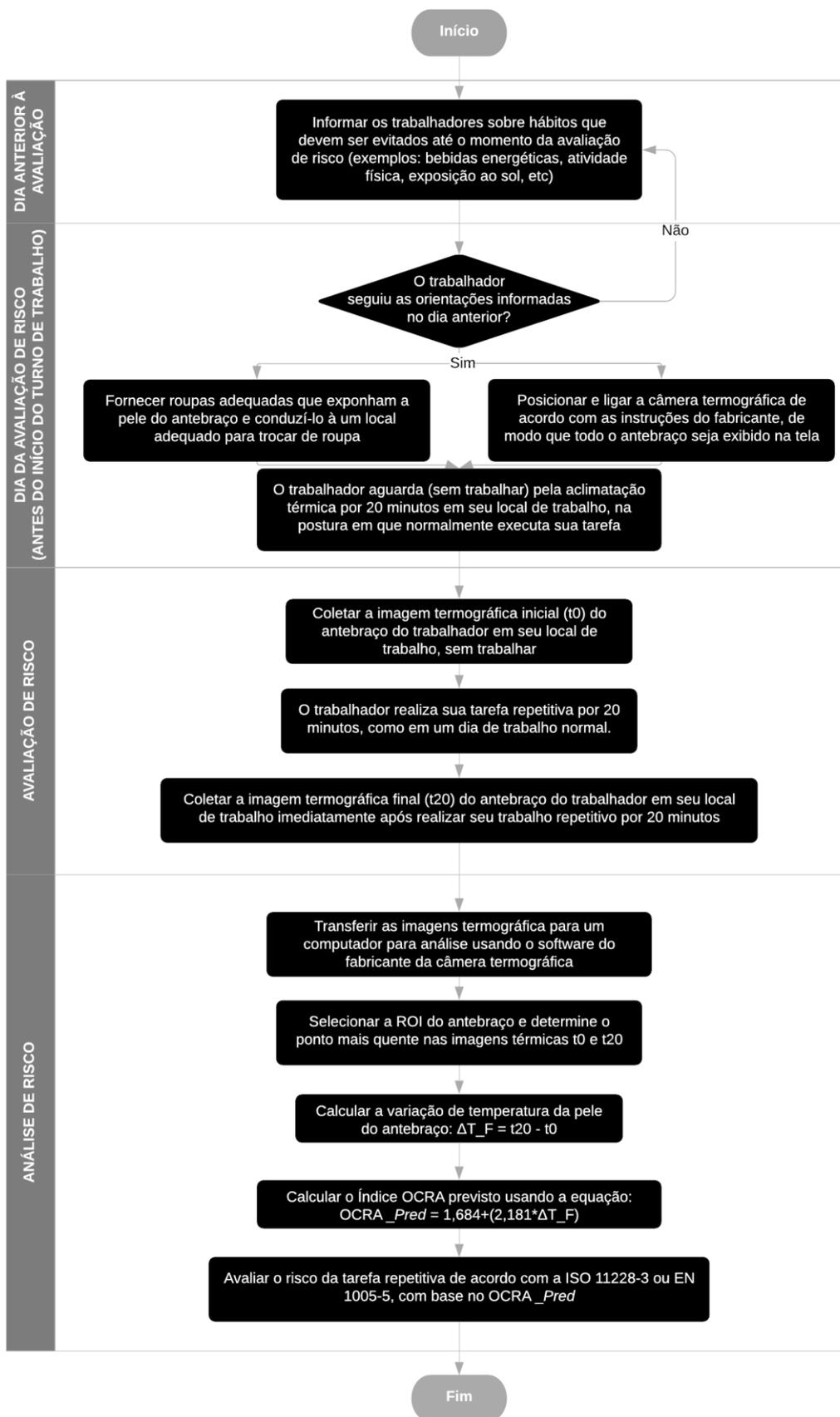
(12)

$$OCRA_{Pred} = 1,684 + (2,181 * \Delta T_F)$$

Onde:

OCRA_*Pred* = Índice OCRA Predito;

ΔT_F = variação de temperatura da pele do antebraço, em °C.

Figura 42 – Fluxograma de aplicação da ferramenta utilizando ΔT_F 

Fonte: Autoria própria

4.8 PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS ORIUNDOS DE MOVIMENTOS REPETITIVOS DOS MEMBROS SUPERIORES, ATRAVÉS DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA, UTILIZANDO A TEMPERATURA DO AR E A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PELE DO ANTEBRAÇO

O objetivo deste trabalho foi formular uma proposta de ferramenta de avaliação de riscos oriundos de movimentos repetitivos dos membros superiores, através de termografia infravermelha. Esse objetivo foi atingido ao selecionar-se a ROI do antebraço e empregar os métodos utilizados neste estudo. No entanto, obteve-se $r = 0,658$ e $R^2 = 0,432$, o que permite concluir que existem outras variáveis que podem influenciar na variação da temperatura da pele além do esforço repetitivo executado pelo trabalhador.

Neste trabalho, foram coletadas outras variáveis além da variação da temperatura da pele. Portanto, para verificar se é possível melhorar a correlação dos resultados deste estudo, efetuou-se uma análise de regressão múltipla envolvendo as outras variáveis deste estudo. Os resultados da análise de regressão são apresentados na Tabela 69.

Tabela 69 – Análise de regressão múltipla

| Modelo | B | Erro padrão | Correlação de Pearson (r) | Significância |
|----------------------------|---------|-------------|---------------------------|---------------|
| Gênero (M;F) | 0,893 | 0,503 | 0,017 | 0.078 |
| Idade (anos) | -0,035 | 0,041 | 0,038 | 0.395 |
| Peso (Kg) | 0,174 | 0,110 | 0,002 | 0.115 |
| Altura (m) | -14,045 | 9,596 | -0,020 | 0.145 |
| IMC (Kg/m ²) | -0,480 | 0,329 | 0,019 | 0.146 |
| Temperatura do ar (°C) | 0,614 | 0,115 | 0,439 | 0.000* |
| Umidade relativa do ar (%) | -0,010 | 0,023 | -0,090 | 0.673 |
| ΔT_F (°C) | 2,116 | 0,193 | 0,658 | 0.000* |

Fonte: Autoria própria

A Tabela 69 apresentou a análise de regressão múltipla utilizando além da variação da temperatura da pele do antebraço, também as outras variáveis coletadas

neste estudo. Tal análise levou à um resultado de regressão múltipla com $r = 0,746$ e $R^2 = 0,557$, o que foi nitidamente melhor do que obtido na seção 4.7.

Porém, nota-se também que nem todas as variáveis utilizadas apresentaram correlação significativa com o modelo ($p < 0,001$), e sim apenas a variação da temperatura da pele do antebraço (ΔT_F) e a temperatura do ar (marcadas com um asterisco na Tabela 69). Além disso, a análise de resíduos indicou a presença de cinco resultados *outliers* que poderiam influenciar os índices de correlação e regressão. Portanto, foi realizada uma nova análise de regressão múltipla (Tabela 70), após a exclusão dos *outliers* e utilizando as variáveis independentes: temperatura do ar (T_a) e variação da temperatura da pele do antebraço (ΔT_F).

Tabela 70 – Análise de regressão múltipla utilizando como variáveis independentes: T_a e ΔT_F

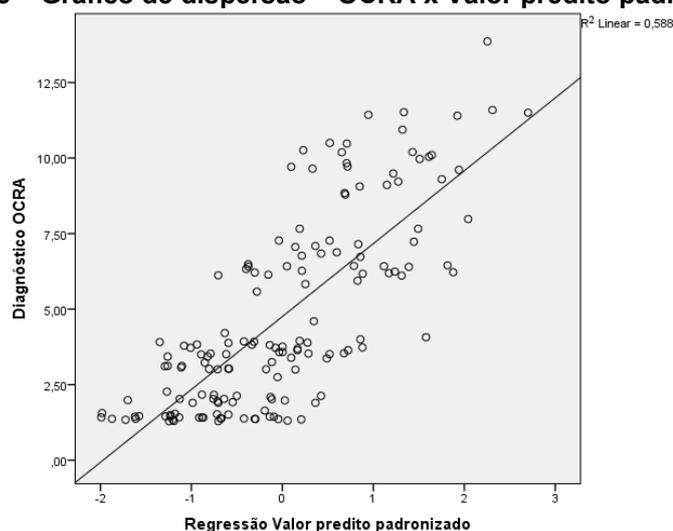
| Modelo | B | Erro padrão | Correlação de Pearson (r) | Significância |
|------------------------|---------|-------------|-------------------------------|---------------|
| Constante | -10,173 | 2,143 | - | 0,000 |
| Temperatura do ar (°C) | 0,567 | 0,104 | 0,422 | 0,000 |
| ΔT_F (°C) | 2,083 | 0,169 | 0,713 | 0,000 |

Fonte: Autoria própria

A remoção de *outliers* provocou um aumento da correlação entre ΔT_F e Δ_{OCRA} , passando de $r = 0,658$ para $r = 0,713$, enquanto o modelo de regressão múltipla representado pela Equação 13 e ilustrado na Figura 43 apresentou $r = 0,767$ e $R^2 = 0,588$. Portanto, propõe-se uma nova equação de predição do Índice OCRA, conforme a seguir:

(13)

$$OCRA_{Pred} = -10,173 + (0,567 * T_a) + (2,083 * \Delta T_F)$$

Figura 43 – Gráfico de dispersão – OCRA x Valor predito padronizado

Fonte: Autoria própria

Para esta equação de cálculo do Índice OCRA Predito, foi aplicado um teste T pareado para comparar os resultados reais de diagnóstico OCRA (demonstrados em 4.2) e os resultados encontrados ao utilizar a Equação 13 para calcular o OCRA Predito.

A Tabela 71 sumariza os resultados obtidos para o teste T pareado comparando OCRA x OCRA_Pred.

Tabela 71 – Teste de amostras emparelhadas – OCRA x OCRA_Pred

| Par | t | gl | Significância |
|------------------|-------|-----|---------------|
| OCRA x OCRA_Pred | 0,000 | 154 | 1000 |

Fonte: Autoria própria

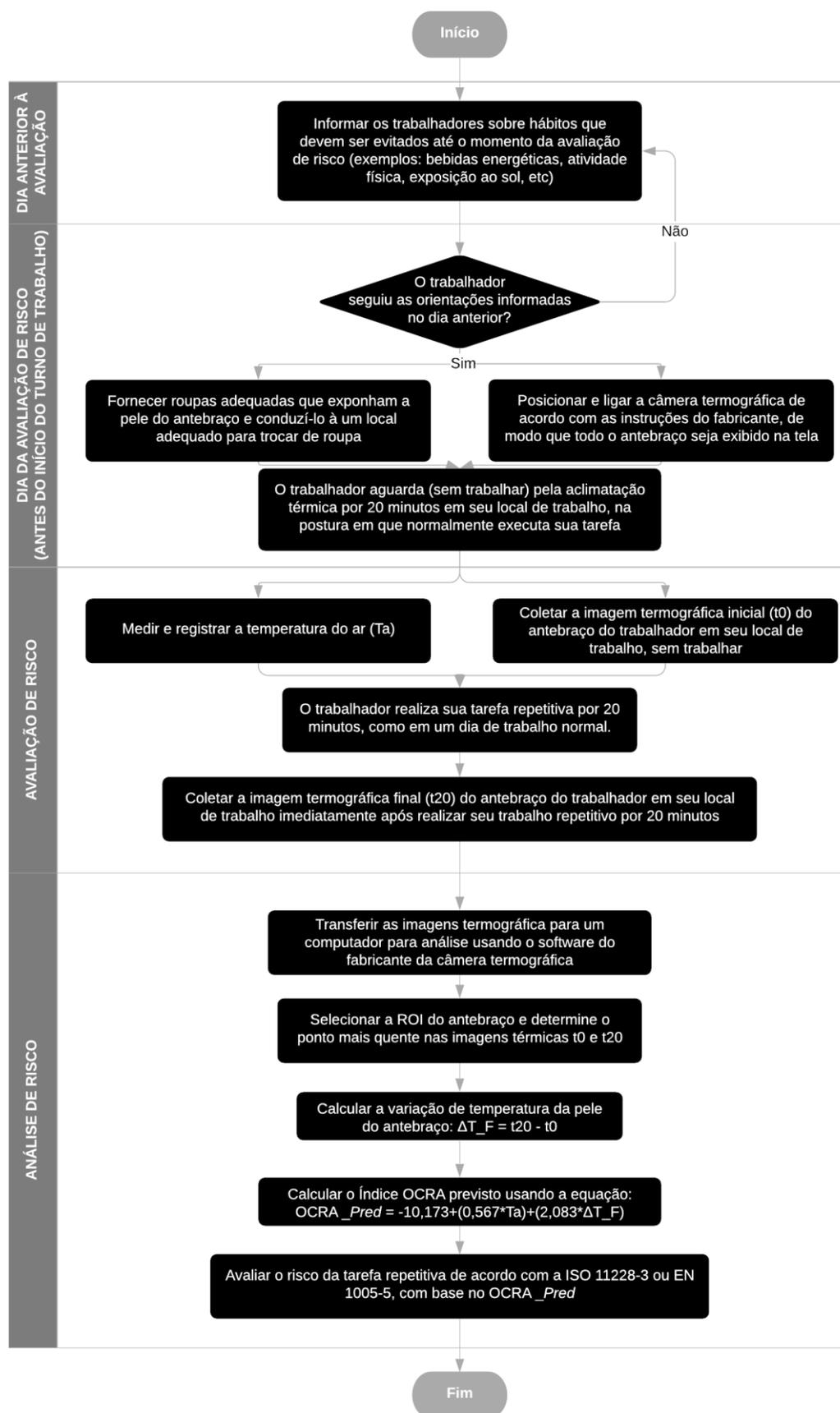
Nota-se que $p > 0,05$, portanto, pode-se afirmar que os resultados obtidos utilizando a Equação 13 e os resultados de aplicação do Índice OCRA são estatisticamente iguais. Porém, sabe-se que o nível de correlação da Equação 13 não é perfeito, o que significa que outras variáveis ainda influenciam a variação da temperatura da pele além do nível de esforço repetitivo. Isso significa que, apesar de poder-se afirmar que os resultados obtidos são estatisticamente iguais, não pode-se afirmar que são idênticos, pois $r \neq 1$.

Com base nos resultados apresentados, nota-se que é mais produtivo e preciso utilizar a Equação 13 como proposta final deste estudo, ao invés de propor o uso da Equação 12, demonstrada em 4.7.

Durante a realização de estudos aplicando termografia infravermelha em seres humanos já será necessário que o avaliador meça a temperatura do ar para inserir no software de análise de imagens térmicas fornecido pelo fabricante, além de manter o ambiente dentro dos intervalos de temperatura indicados pela literatura. Portanto, acrescentar esta variável à aplicação desta proposta de ferramenta ainda a mantém prática e rápida, com o bônus de obter-se maior precisão ao utilizar a Equação 13.

Desta forma, atualiza-se a proposta de ferramenta deste estudo, conforme a Figura 44, onde é demonstrado o fluxograma de aplicação desta proposta de ferramenta utilizando ΔT_F (°C) e T_a (°C).

Figura 44 – Fluxograma de aplicação da ferramenta utilizando ΔT_F e T_a



Fonte: Autoria própria

5 DISCUSSÃO

O Índice OCRA indiscutivelmente é um método eficaz para analisar os riscos presentes em tarefas repetitivas que utilizam os membros superiores. Diversos autores e organizações já atestaram a eficácia do método, tornando-o consagrado (ANTONUCCI, 2019; CEN, 2007; ISO,2015). Porém, também é evidente que a sua aplicação não é tão simples e acessível, o que pode levar a uma redução de sua aplicação na prática de maneira preventiva.

A ação preventiva da Ergonomia busca reduzir a ocorrência de problemas ergonômicos preferencialmente já no projeto de um posto de trabalho, mas também pode ser realizada em andamento da tarefa, como forma de monitoramento. Portanto, promover acessibilidade a conhecimentos e ferramentas que venham aumentar a disseminação de boas práticas ergonômicas justifica a tentativa proposta neste estudo de criar uma nova maneira de aplicar uma ferramenta ergonômica já consagrada no meio acadêmico.

O uso de novas tecnologias e a promoção de novas aplicações de tecnologias já existentes é um possível caminho aplicado pela área de Ergonomia para facilitar o acesso aos conhecimentos da área. Neste estudo foi selecionada a tecnologia da termografia infravermelha, acessível através do uso de câmeras termográficas.

A aplicação da ferramenta proposta neste estudo requer que o avaliador esteja presente em diferentes locais do posto de trabalho, para que seja possível avaliar os esforços repetitivos dos trabalhadores. Desta forma, a portabilidade do equipamento utilizado torna-se essencial, visto que a avaliação precisa de um esforço repetitivo exige visitas ao local de trabalho para observação detalhada da jornada de trabalho.

Quanto menos o avaliador interferir na execução da tarefa, mais fidedigna será a avaliação de risco ao qual o trabalhador está sujeito. Portanto, as outras características apresentadas por câmeras termográficas continuam a ser vantajosas, como por exemplo: segura em relação à radiação (FAUST et al. (2014), não invasiva (DIBAI-FILHO et al., 2015), indolor (NG, 2009) e sem necessidade de contato com a pele do participante (SZENTKUTI et al., 2011).

Na seção 4.2 foi aplicado o Índice OCRA “tradicional”, ou seja, exatamente como apresentado na literatura existente (CEN; 2007; ISO, 2015) para avaliar a efetividade do projeto de posto de trabalho utilizado nos experimentos desse estudo. Notou-se que as médias do Índice OCRA calculado estavam dentro dos limites especificados pela literatura do Índice OCRA, o que demonstra sucesso no dimensionamento da tarefa.

Porém, foi percebido que nem todos os participantes conseguiram permanecer dentro dos níveis de esforço repetitivo dimensionado, principalmente nos níveis mais leves de esforço repetitivo. Acredita-se que o pequeno intervalo de diagnóstico entre um nível de risco e outro, particularmente nos níveis mais baixos, levou a esta variabilidade de diagnóstico. Conforme o nível de risco da tarefa aumentava, aumentava também o intervalo entre um nível de risco e outro.

Essa afirmação é feita também em função de que todos os participantes tinham o mesmo nível de experiência na tarefa, porém pessoalmente notou-se que alguns tinham mais ou menos facilidade e destreza para executarem as tarefas propostas. Essa variabilidade é necessária e desejada em um trabalho que busca desenvolver análises de correlação e de regressão, afinal formam-se novos pares de dados que serão comparados buscando uma maneira de prever um dado fenômeno através de uma equação de regressão linear.

O monitoramento da temperatura da pele pode fornecer informações importantes sobre o desempenho e a reação dos músculos e articulações (LASANEN et al., 2015; VARDASCA et al., 2019) e que podem indicar a presença ou desenvolvimento de distúrbios musculoesqueléticos (FLORES-OLIVARES et al., 2015; SANCHIS-SÁNCHEZ et al., 2014, VARDASCA et al., 2019). Notou-se que em todas as ROIs analisadas neste trabalho ocorreu aumento da temperatura da pele, com exceção da mão que sofreu redução da temperatura da pele nos níveis mais baixos de esforço repetitivo.

Os testes T pareados realizados e apresentados na seção 4.4 demonstraram que nas ROIs do ombro e antebraço ocorreu variação significativa da temperatura da pele, e de maneira positiva, sendo este o resultado desejado ao realizar este experimento.

Trabalhos prévios encontrados na literatura (BERTMARING et al., 2008; CAMARGO et al., 2012; GOLD et al, 2004 e 2010; GOVINDU e BABSKI-REEVES,

2012; ROSSIGNOLI et al, 2016) analisaram as mesmas regiões de interesse deste estudo e também observaram aumento da temperatura da pele após a execução de esforços físicos. Porém, devido ao ineditismo do presente trabalho, não existiam (até o momento do levantamento bibliográfico deste trabalho) outros trabalhos que tenham aplicado o Índice OCRA e termografia infravermelha, de modo que a amplitude da variação de temperatura entre este trabalho e os encontrados na literatura não pôde ser comparada quantitativamente.

A ROI da mão não apresentou variação significativa de temperatura da pele nos níveis 1 e 2 de risco, o que inviabilizou o uso desta ROI para o desenvolvimento da ferramenta proposta. É necessário que perceba-se mudança de temperatura significativa em todos os níveis de esforço repetitivo (mesmo os mais leves) para utilizar a ROI da mão, o que não ocorreu.

Neste posto de trabalho a mão realizou ações essencialmente estáticas durante a execução da postura de pinça para segurar as porcas durante a tarefa, enquanto o ombro e o antebraço se movem o tempo todo, o que pode explicar o decréscimo de temperatura observado em alguns participantes e falta de evidências de mudança significativa de temperatura da pele da mão nos níveis iniciais de esforço repetitivo.

Em um estudo anterior de Reste et al. (2015), também foram encontrados resultados onde foi observada diminuição da temperatura da pele da mão em trabalhos essencialmente estáticos, utilizando um mouse de computador. Uma outra possibilidade de ter sido encontrada redução de temperatura da pele da mão deve-se ao efeito de vasoconstrição que pode ocorrer em resposta à execução de exercícios físicos (AMARO et al, 2019; FERNÁNDEZ-CUEVAS et al., 2015).

No entanto, conforme hipotetizado, a temperatura da mão aumentou conforme a execução de níveis de risco mais altos de esforço repetitivo, conforme encontrado nos estudos de Camargo et al. (2012), ao analisar o punho em trabalhos de digitação.

A análise de correlação permitiu concluir que o antebraço apresentou a mais alta correlação entre as ROIs analisadas no estudo. A segunda maior correlação ocorreu na região do ombro, e a terceira na região da mão (mesmo após as análises anteriores). Como o propósito deste estudo buscou uma nova ferramenta de análise de esforço repetitivo, a escolha óbvia a ser feita foi escolher a região do antebraço como base para o desenvolvimento da ferramenta. Ainda, após a remoção de outliers

presentes na amostra, notou-se um aumento do valor de r de Pearson, que passou de 0,658 para 0,713.

Foi possível desenvolver uma proposta de análise de riscos provenientes de esforços repetitivos dos membros superiores utilizando como informação de entrada apenas a variação da temperatura da pele do antebraço, sendo esta a proposta inicial deste estudo. No entanto, sendo possível aumentar a abrangência de variáveis e possivelmente melhorar a correlação do método, optou-se por efetuar também uma análise de regressão múltipla envolvendo variáveis pessoais e também ambientais.

A temperatura do ar mostrou possuir influência significativa na variação da temperatura da pele, permitindo que ao inserir esta variável no modelo fosse obtida uma correlação maior, com $r = 0,746$ e $R^2 = 0,557$, tornando a proposta mais robusta. A temperatura do ar pode influenciar a temperatura da pele quando exposta ao ambiente (BARTUZI et al., 2012), e esse fenômeno é descrito na literatura (AKIMOV e SON'KIN, 2011; FERNÁNDEZ-CUEVAS et al, 2015).

Deve-se ressaltar que o modelo proposto não consegue prever perfeitamente o nível de esforço repetitivo de acordo com o Índice OCRA. A correlação obtida pelo modelo não foi perfeita, pois outras variáveis tiveram influência na variação da temperatura da pele além do nível de esforço repetitivo. O sistema de termorregulação do ser humano é complexo (HALL E GUYTON. 2015; PARSONS, 2002) e os diversos fatores internos que também podem influenciar a temperatura das pele não foram escopo deste estudo, porém tais fatores são relatados previamente na literatura, tais como a vasoconstrição, vasodilatação, evaporação do suor e demais formas de troca de calor presentes no corpo humano (KENNY e MCGINN, 2017).

Por fim, aborda-se nesta seção o método proposto de avaliação de riscos. O fato de não haver uma correlação perfeita do modelo proposto com Índice OCRA ainda permite que o método proposto seja aplicado de maneira prática, trazendo consigo as diversas vantagens já discutidas do uso da tecnologia de câmeras termográficas.

Um dos pontos fortes e que demonstra que o objetivo deste trabalho foi atingido é a praticidade que o método traz, tanto pela tecnologia empregada, quanto pela velocidade, facilidade e redução do número de variáveis que devem ser medidas. Foram apresentadas duas propostas, onde na primeira utiliza-se apenas a variação da temperatura da pele do antebraço, enquanto a outra proposta adiciona também a

temperatura do ar. O Índice OCRA original (CEN, 2007; ISO, 2015) utiliza uma quantidade maior de variáveis, conforme demonstrado em 2.4.

Porém, utilizar menos variáveis enfraquece o método, portanto recomenda-se que o avaliador opte pela segunda proposta deste estudo sempre que possível, pois assim irá obter resultados mais precisos. Mas deve-se ter em mente que a melhor precisão possível sempre será obtida com a aplicação do Índice OCRA original, e não o método proposto neste trabalho. O Índice OCRA original fornece maiores detalhes aos projetistas e ergonômicos, pois pontua cada parte do método de maneira separada através de seus multiplicadores de força, postura, repetitividade, recuperação, fatores complementares e duração líquida. Sabendo tais detalhes, é possível promover melhorias no local de trabalho com o intuito de reduzir riscos laborais, mas aplicando apenas a termografia infravermelha não é possível identificar em qual ponto do posto de trabalho devem ser implementadas melhorias.

Existe na normalização do Índice OCRA a proposta do Checklist OCRA (ABNT ISO, 2014). Esta proposta buscou tornar mais simples a aplicação do Índice OCRA, assim como a proposta nesse estudo. O Checklist OCRA agiliza a aplicação do Índice OCRA, sendo indicado para avaliações simples e rápidas, conforme a proposta do presente trabalho buscou atingir, com o auxílio da termografia infravermelha. Aplicar o Índice OCRA Preditivo ainda permite coletar menos variáveis, portanto sendo mais ágil nesse aspecto em relação ao Checklist OCRA.

Para avaliações detalhadas, a ABNT ISO (2014) recomenda em seu Anexo C a aplicação do Índice OCRA, sendo este o aplicado como base nesse estudo, sendo também o mais completo segundo Antonucci (2019). No entanto, para análises detalhadas, em detrimento do Índice OCRA, existem também outras metodologias detalhadas de análise de risco, como o *Strain Index* e o *Hand Activity Level*, que podem ser escolhidos pelo avaliador.

A proposta deste estudo possui outra provável fraqueza: a sua real aplicação em ambientes laborais reais, e não em laboratório. Este passo é a continuação deste estudo, como indicação de trabalhos futuros por parte do autor.

Um ambiente real de trabalho não terá as mesmas condições existentes no momento da criação deste método, pois o mesmo foi desenvolvido em laboratório, com controle de variáveis ambientais e condições padronizadas de ambiente, tarefa,

disposição de móveis, vestimenta e ausência de fontes de radiação que não fosse a iluminação artificial (que foi igual em todos os experimentos).

A aplicação deste método em um ambiente real terá dificuldades em manter as mesmas condições de execução de análise de risco. Por isso, será fundamental que a aclimação seja realizada corretamente e pelo tempo mínimo recomendado pela literatura. Desta forma, mesmo que exista a presença de fontes de radiação no local de trabalho avaliado, acredita-se que uma vez que o trabalhador esteja aclimatado, ainda seja possível medir corretamente apenas a variação de temperatura da pele ao empregar os passos propostos neste estudo, e conseqüentemente aplicar este método.

Portanto, o método do Índice OCRA Predito proposto neste estudo deve ser empregado como forma de análise rápida e ágil de riscos oriundos de movimentos repetitivos dos membros superiores, porém não recomenda-se que ele seja empregado como forma de resolução de problemas e projeto de melhorias em um posto de trabalho. Este método não possui a precisão suficiente para substituir o Índice OCRA original devido às diversas informações extras que são obtidas ao aplicar o método original. No entanto, acredita-se que há benefícios claros na aplicação do método do Índice OCRA Predito, avaliado através de termografia infravermelha, evoluindo o campo de conhecimentos da Ergonomia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese de doutorado buscou facilitar a aplicação e promover a acessibilidade ao método do Índice OCRA de avaliação de risco proveniente de esforços repetitivos dos membros superiores, e conseqüentemente estimar o número de trabalhadores afetados por doenças músculo esqueléticas. Para atingir este objetivo, empregou-se uma tecnologia já existente, a termografia infravermelha.

Através de experimentos realizados em laboratório, foram formuladas duas propostas de análise de esforços repetitivos aplicando-se a termografia infravermelha. A primeira proposta utiliza como informação de entrada coletada pelo avaliador apenas a variação de temperatura da pele do antebraço, após seguir os procedimentos expostos neste trabalho. Já a segunda opção aumenta a precisão do método proposto ao acrescentar como informação de entrada também a temperatura do ar no momento da coleta de dados.

Ao aplicar um dos métodos propostos, o avaliador poderá encontrar o Índice OCRA Predito, podendo então avaliar qual a intensidade do risco ao qual o trabalhador ou grupo de trabalhadores está sujeito. Essa avaliação dá-se de maneira rápida e facilitada, permitindo que seja coletada apenas uma variável do posto de trabalho (para usar a primeira proposta) ou duas variáveis (para usar a segunda proposta).

Portanto, o resultado apresentado neste estudo é indicado para avaliadores que desejam uma rápida análise dos riscos oriundos de movimentos repetitivos dos membros superiores, o que é chamado internacionalmente de *screening tool*. No entanto, o avaliador deve estar ciente que ao coletar poucas variáveis, não será possível avaliar com a mesma precisão obtida ao empregar-se o método do Índice

OCRA original. O autor recomenda que, quando a tecnologia de termografia infravermelha estiver disponível para o avaliador ou empresa, o Índice OCRA Predito seja aplicado para a análise do nível de risco. Para as tarefas que forem classificadas como alto risco após análise por termografia infravermelha e o Índice OCRA Predito, recomenda-se a aplicação do Índice OCRA original para explorar os fatores que devem ser corrigidos para reduzir os riscos dos postos de trabalho.

A aplicação da termografia infravermelha, através do uso de câmeras termográficas, foi adequada para estudo pois permitiu agregar as vantagens do uso dessa tecnologia em seres humanos ao escopo de estudo da Ergonomia, ampliando ainda mais essa área de conhecimento acadêmico.

O autor sugere para estudos futuros que este trabalho seja reproduzido em outras condições que não sejam de laboratório, uma vez que é possível que a influência de outras fontes de radiação afetem o método proposto neste estudo. Sugere-se ainda que o estudo seja reproduzido com um número maior de participantes, e que uma comparação com o Checklist OCRA seja realizada.

REFERÊNCIAS

ABATE, M.; CARLO, L.; DONATO, L.; ROMANI, G.; MERLA, A. Comparison of cutaneous thermic response to a standardised warm up in trained and untrained individuals. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 53, 2013.

ABERGO. O que é Ergonomia. Disponível em: <http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia>. .

ABNT ISO. Ergonomia - Movimentação manual Parte 3: Movimentação de cargas leves em alta frequência de repetição. , 2014. ABNT.

AKIMOV, E. B.; SON'KIN, V. D. Skin temperature and lactate threshold during muscle work in athletes. **Fiziologiya cheloveka**, v. 37, n. 5, p. 120–128, 2011.

AMARO, A. M.; PAULINO, M. F.; NETO, M. A.; ROSEIRO, L. Hand-arm vibration assessment and changes in the thermal map of the skin in tennis athletes during the service. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 24, 2019.

AMMER, K.; AMMER, K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. , , n. October 2008, p. 125–129, 2016.

DE ANDRADE FERNANDES, A.; DOS SANTOS AMORIM, P. R.; BRITO, C. J.; et al. Measuring skin temperature before, during and after exercise: A comparison of thermocouples and infrared thermography. **Physiological Measurement**, v. 35, n. 2, p. 189–203, 2014.

ANTONUCCI, A. Comparative analysis of three methods of risk assessment for repetitive movements of the upper limbs: OCRA index, ACGIH(TLV), and strain index. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 70, n. December 2018, p. 9–21, 2019. Elsevier.

BARTUZI, P.; ROMAN-LIU, D.; WIŚNIEWSKI, T. The influence of fatigue on muscle temperature. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 18, n. 2, p. 233–243, 2012.

BATALHA, M. O. **Introdução À Engenharia De Produção**. 1ª Edição ed. Brasil: Elsevier Editora, 2007.

BERGMAN, T.; LAVINE, A. **Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8ª Edição ed. Grupo GEN, 2019.

BERTMARING, I.; BABSKI-REEVES, K.; NUSSBAUM, M. A. Infrared imaging of the anterior deltoid during overhead static exertions. **Ergonomics**, v. 51, n. 10, p. 1606–1619, 2008.

BHARARA, M.; COBB, J. E.; CLAREMONT, D. J. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: A case for furthering the role of thermal techniques. **International Journal of Lower Extremity Wounds**, v. 5, n. 4, p. 250–260, 2006.

BORG, G. A V. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 1982.

BRUNNEKREEF, J. J. J.; THIJSEN, D. H. J.; OOSTERHOF, J.; HOPMAN, M. T. E. Bilateral Changes in Forearm Oxygen Consumption at Rest and After Exercise in Patients With Unilateral Repetitive Strain Injury: A Case-Control Study. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 42, n. 4, p. 371–378, 2012.

BUCKLE, P.; DUL, J.; BRUDER, R.; et al. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. **Ergonomics**, v. 55, n. 4, p. 377–395, 2012.

CAMARGO, C.; ORDORICA, J.; DE LA VEGA, E. J.; et al. Analysis of temperature on the surface of the wrist due to repetitive movements using sensory thermography. **Work**, v. 41, n. SUPPL.1, p. 2569–2575, 2012.

CEN. EN 1005-5 - Safety of machinery – Human physical performance – Part 5: Risk assessment for repetitive handling at high frequency. , 2007.

COLOMBINI, D.; DELLEMAN, N.; FALLENTIN, N.; KILBOM, A.; GRIECO, A. Exposure Assessment of Upper Limb Repetitive Movements: A Consensus Document Developed. **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition**, v. 3, p. 55–71, 2006.

COLOMBINI, D.; OCCHIPINTI, E.; FANTI, M. **Método OCRA para a análise e a prevenção do risco por movimentos repetitivos: manual para avaliação e a gestão do risco**. 2ª Edição ed. Curitiba: Escola OCRA Brasileira, 2014.

COLOMBINI, D.; OCCHIPINTI, E.; SANTINO, E.; FACCI, R. **Método OCRA para análise ergonômica e prevenção do risco por movimentos repetitivos de membros superiores - Manual para avaliação e gestão do risco**. 2ª Edição ed. Curitiba: Edição do Autor, 2014.

DIBAI-FILHO, A. V.; GUIRRO, E. C. O.; FERREIRA, V. T. K.; et al. Reliability of different methodologies of infrared image analysis of myofascial trigger points in the upper trapezius muscle. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 19, n. 2, p. 122–128, 2015.

DIEGO-MAS, J. A.; ALCAIDE-MARZAL, J. Using Kinect™ sensor in observational methods for assessing postures at work. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 4, p. 976–985, 2014. Elsevier Ltd.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. 3ª Edição ed. São Paulo: Editora Blucher, 2012.

DUTTA, T. Evaluation of the Kinect™ sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. **Applied Ergonomics**, v. 43, n. 4, p. 645–649, 2012. Elsevier Ltd.

E CÔRTE, A. C. R. E.; HERNANDEZ, A. J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 22, n. 4, p. 315–319, 2016.

EDWARDS, K.; JENSEN, P. L. Design of systems for productivity and well being. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 1, p. 26–32, 2014. Elsevier Ltd.

FAUST, O.; RAJENDRA ACHARYA, U.; NG, E. Y. K.; HONG, T. J.; YU, W. Application of infrared thermography in computer aided diagnosis. **Infrared Physics and Technology**, v. 66, p. 160–175, 2014.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; BOUZAS MARINS, J. C.; ARNÁIZ LASTRAS, J.; et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 71, p. 28–55, 2015.

FLIR. User's manual FLIR T4xx series. , 2015. FLIR Systems OÜ.

FLORES-OLIVARES, B. DEL C.; YOGUEZ-SEOANE, A.; SUSARREY-HUERTA, O.; GUTIÉRREZ-TORRES, C. DEL C. Preliminary Study on the Evaluation of Musculoskeletal Risks through Infrared Thermography for Drummers. **Procedia Manufacturing**, v. 3, n. Ahfe, p. 4415–4420, 2015. Elsevier B.V.

GOLD, J. E.; CHERNIACK, M.; BUCHHOLZ, B. Infrared thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand of office workers. **European Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 1–2, p. 245–251, 2004.

GOLD, J. E.; CHERNIACK, M.; HANLON, A.; DENNERLEIN, J. T.; DROPKIN, J. Skin temperature in the dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 82, n. 10, p. 1281–1292, 2009.

GOLD, J. E.; CHERNIACK, M.; HANLON, A.; SOLLER, B. Skin temperature and muscle blood volume changes in the hand after typing. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 40, n. 2, p. 161–164, 2010. Elsevier Ltd.

GOVINDU, N. K.; BABSKI-REEVES, K. Reliability of thermal readings of the skin surface over the anterior deltoid during intermittent, overhead tapping tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 136–142, 2012. Elsevier Ltd.

GUERTLER, C.; SPECK, G. M.; MANNRICH, G.; et al. Occupational health and safety management in Oyster culture. **Aquacultural Engineering**, v. 70, p. 63–72, 2016. Elsevier B.V.

HALL, J. E.; GUYTON, A. **Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology**. 13^o ed. Elsevier Health Sciences, 2015.

HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. **Sensors**, v. 10, n. 5, p. 4700–4715, 2010.

HOLLNAGEL, E. Human factors/ergonomics as a systems discipline? “The human use of human beings” revisited. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 1, p. 40–44, 2014. Elsevier

Ltd.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 3ª Edição ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

ISO. ISO 11228-3 – Ergonomics — Manual handling — Part 3: Handling of low loads at high frequency. , 2007.

JONES, B. F.; PLASSMANN, P. Digital Infrared Thermal Imaging of Human Skin The Control of Body Temperature. **IEEE Engineering in Medicine**, v. 21, n. 6, p. 41–48, 2002.

KENNY, G. P.; JAY, O. Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. **Comprehensive Physiology**, v. 3, n. 4, p. 1689–1719, 2013.

KENNY, G. P.; MCGINN, R. Restoration of thermoregulation after exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 122, n. 4, p. 933–944, 2017.

LAHIRI, B. B.; BAGAVATHIAPPAN, S.; JAYAKUMAR, T.; PHILIP, J. Medical applications of infrared thermography: A review. **Infrared Physics & Technology**, v. 55, n. 4, p. 221–235, 2012. Elsevier B.V.

LASANEN, R.; PIIPPO-SAVOLAINEN, E.; REMES-PAKARINEN, T.; et al. Thermal imaging in screening of joint inflammation and rheumatoid arthritis in children. **Physiological measurement**, v. 36, n. 2, p. 273–282, 2015. IOP Publishing.

LIN, J. H.; KIRLIK, A.; XU, X. New technologies in human factors and ergonomics research and practice. **Applied Ergonomics**, v. 66, p. 179–181, 2018.

LUDWIG, N.; FORMENTI, D.; GARGANO, M.; ALBERTI, G. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. **Infrared Physics and Technology**, v. 62, p. 1–6, 2014. Elsevier B.V.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8ª Edição ed. São Paulo: Editora Atlas, 2017.

MASCI, F.; ROSECRANCE, J.; MIXCO, A.; et al. Personal and occupational factors contributing to biomechanical risk of the distal upper limb among dairy workers in the Lombardy region of Italy. **Applied Ergonomics**, , n. June, p. 0–1, 2019. Elsevier.

MTPS. Regulamento da Previdência Social - Decreto nº 3.048/1999. , 1999. DOU de 06/05/1999.

MTPS. Anuário Estatístico da Previdência Social. , 2018a.

MTPS. NR 17 - Ergonomia. , 2018b.

MTPS. NR 36 - Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados. , 2018c.

MTS. LER e DORT são as doenças que mais acometem os trabalhadores, aponta estudo. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/ler-e-dort-sao-as-doencas-que-mais-acometem-os-trabalhadores-aponta-estudo>>. Acesso em: 14/12/2020.

NG, E. Y. K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 48, n. 5, p. 849–859, 2009.

NOWICKA, D. Thermography Improves Clinical Assessment in Patients. , v. 2017, 2017.

OCCHIPINTI, E. OCRA: A concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. **Ergonomics**, v. 41, n. 9, p. 1290–1311, 1998.

OCCHIPINTI, E.; COLOMBINI, D. A Checklist for Evaluating Exposure to Repetitive Movements of the Upper Limbs Based on the OCRA Index. **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition**, v. 3, p. 2535–2541, 2006.

OCCHIPINTI, E.; COLOMBINI, D. The OCRA Method: Assessment of Exposure to Occupational Repetitive Actions of the Upper Limbs. **International encyclopedia of ergonomics and human factors. Volume I**, v. 3, p. 3289–3297, 2006.

OCCHIPINTI, E.; COLOMBINI, D.; INDUSTRIES, P. P. G.; et al. A Checklist for Evaluating Exposure to Repetitive Movements of the Upper Limbs Based on the OCRA Index. **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition**, v. 3, n. 3, p. 321–325, 2006.

PACHECO, J. D.; VILAÇA, J. L.; QUEIRÓS, S.; et al. Evaluation of spinal posture using Microsoft Kinect™: A preliminary case-study with 98 volunteers. **Porto Biomedical Journal**, v. 2, n. 1, p. 18–22, 2016.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

PAOLILLO, F. R.; LINS, E. C.; CORAZZA, A. V.; KURACHI, C.; BAGNATO, V. S. Thermography Applied During Exercises With or Without Infrared Light-Emitting Diode Irradiation: Individual and Comparative Analysis. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 31, n. 7, p. 349–355, 2013.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance**. 3^o ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2002.

RAHMAN, C. M. L.; UDDIN, S. M.; KARIM, M. A.; AHMED, M. Evaluation of work postures - The associated risk analysis and the impact on labor productivity. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 10, n. 6, p. 2542–2550, 2015.

RAMOS, E.; REIS, D. C. DOS; TIRLONI, A. S.; MORO, A. R. P. Thermographic Analysis of the Hands of Poultry Slaughterhouse Workers Exposed to Artificially Cold Environment. **Procedia Manufacturing**, v. 3, n. Ahfe, p. 4252–4259, 2015. Elsevier B.V.

RESTE, J.; ZVAGULE, T.; KURJANE, N.; et al. Wrist hypothermia related to continuous work with a computer mouse: A digital infrared imaging pilot study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 8, p. 9265–9281, 2015.

RING, E F J; AMMER, K. The Technique of Infra red Imaging in Medicine. **Thermology International**, v. 10, n. 1, p. 7–14, 2000.

RING, E. F. J.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. **Physiological Measurement**, v. 33, n. 3, 2012.

RING, F.; AMMER, K.; WIECEK, B.; et al. Quality assurance of thermal imaging systems in medicine. **Thermology Int.**, v. 17, n. 3, p. 103–106, 2007.

ROGALSKI, A. Recent progress in infrared detector technologies. **Infrared Physics and Technology**, v. 54, n. 3, p. 136–154, 2011. Elsevier B.V.

ROSSIGNOLI, I.; FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; BENITO, P. J.; HERRERO, A. J. Relationship between shoulder pain and skin temperature measured by infrared thermography in a wheelchair propulsion test. **Infrared Physics and Technology**, v. 76, p. 251–258, 2016. Elsevier B.V.

SALMON, P. M.; MACQUET, A.-C. Human Factors and Ergonomics in Sport and Outdoor Recreation: From individuals and their equipment to complex sociotechnical systems and their frailties. **Applied Ergonomics**, , n. xxxx, 2018.

SANCHIS-SÁNCHEZ, E.; VERGARA-HERNÁNDEZ, C.; CIBRIÁN, R. M.; et al. Infrared thermal imaging in the diagnosis of musculoskeletal injuries: A systematic review and meta-analysis. **American Journal of Roentgenology**, v. 203, n. 4, p. 875–882, 2014.

SILVA, M.; AMARAL, F.; MANDAGARA, H.; LESO, B. Difficulties in Quantifying Financial Losses that Could Be Reduced by Ergonomic Solutions. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, v. 00, n. 1, p. 1–13, 2012.

SOARES, A. L.; XAVIER, A. A. DE P.; MICHALOSKI, A. O. Occupational risk evaluation through infrared thermography: Development and proposal of a rapid screening tool for risk assessment arising from repetitive actions of the upper limbs. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 10, 2020.

SOUSA, E.; VARDASCA, R.; TEIXEIRA, S.; et al. A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands. **Infrared Physics and Technology**, v. 85, p. 315–323, 2017. Elsevier B.V.

SZENTKUTI, A.; KAVANAGH, H. S.; GRAZIO, S. Infrared thermography and image

analysis for biomedical use. **Periodicum biologorum**, v. 113, n. 4, p. 385–392, 2011.

TEQUIPMENT. Câmera FLIR T440. Disponível em: <<https://www.tequipment.net/FLIRT440.html>>. Acesso em: 23/10/2020.

TIRLONI, A. S.; REIS, D. C. DOS; DIAS, N. F.; MORO, A. R. P. The use of personal protective equipment: Finger temperatures and thermal sensation of workers' exposure to cold environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 11, 2018.

TIRLONI, A. S.; DOS REIS, D. C.; RAMOS, E.; MORO, A. R. P. Thermographic evaluation of the hands of pig slaughterhouse workers exposed to cold temperatures. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 8, p. 11–13, 2017.

TORTORA, G.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 12^a Edição ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

TRIOLA, M. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TURRIONI, J. B. .; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. UNIFEI ed. Itajubá, 2012.

VARDASCA, R.; MAGALHAES, C.; SILVA, P.; et al. Biomedical musculoskeletal applications of infrared thermal imaging on arm and forearm: A systematic review. **Journal of Thermal Biology**, v. 82, n. March, p. 164–177, 2019. Elsevier Ltd.

VARDASCA, R.; RING, E. F. J.; PLASSMANN, P.; JONES, C. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. **Thermology International**, v. 22, n. 2, p. 53–60, 2012.

VARJÚ, G.; PIEPER, C. F.; RENNER, J. B.; KRAUS, V. B. Assessment of hand osteoarthritis: Correlation between thermographic and radiographic methods. **Rheumatology**, v. 43, n. 7, p. 915–919, 2004.

VRANCEANU, A. M.; BARSKY, A.; RING, D. Less specific arm illnesses. **Journal of Hand Therapy**, v. 24, n. 2, p. 118–123, 2011. Hanley & Belfus.

WILSON, J. R. Fundamentals of systems ergonomics/human factors. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 1, p. 5–13, 2014. Elsevier Ltd.

YANG, L.; GROOTEN, W. J. A.; FORSMAN, M. An iPhone application for upper arm posture and movement measurements. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 492–500, 2017. Elsevier Ltd.

ZAPROUDINA, N.; MING, Z.; HÄNNINEN, O. O. P. Plantar Infrared Thermography Measurements and Low Back Pain Intensity. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 29, n. 3, p. 219–223, 2006.

ZAPROUDINA, N.; VARMAVUO, V.; AIRAKSINEN, O.; NÄRHI, M. Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. **Physiological Measurement**, v. 29, n. 4, p. 515–524, 2008.

APÊNDICE A - Cálculo do Índice InOrdinatio

| Nº | Título do Artigo | Periódico | JCR | Citações | Ano | InOrdinatio $\alpha=5$ |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|----------|------|---------------------------|
| 1 | Infrared thermal imaging in medicine | Physiological Measurement | 2,058 | 364 | 2012 | 384,00 |
| 2 | Medical applications of infrared thermography: A review | Infrared Physics & Technology | 1,713 | 322 | 2012 | 342,00 |
| 3 | The technique of infrared imaging in medicine | Thermology International | 0 | 281 | 2000 | 241,00 |
| 4 | An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria | Sensors | 2,677 | 215 | 2010 | 225,00 |
| 5 | Digital Infrared Thermal Imaging of Human Skin | IEEE Engineering in Medicine and Biology | 2,727 | 226 | 2002 | 196,00 |
| 6 | Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review | Infrared Physics & Technology | 1,713 | 116 | 2015 | 151,00 |
| 7 | Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals | Physiological Measurement | 2,058 | 135 | 2008 | 135,00 |
| 8 | Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures | Journal of Thermal Biology | 2,157 | 93 | 2014 | 123,00 |
| 9 | The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body | Thermology International | 0 | 119 | 2008 | 119,00 |
| 10 | Thermography and Thermometry in the Assessment of Diabetic Neuropathic Foot: A Case for Furthering the Role of Thermal Techniques | The International Journal of Lower Extremity Wounds | 1,548 | 117 | 2006 | 107,00 |
| 11 | Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects | Thermology International | 0 | 69 | 2012 | 89,00 |
| 12 | Exercise-Associated Thermographic Changes in Young and Elderly Subjects | Annals of Biomedical Engineering | 3,221 | 83 | 2008 | 83,00 |
| 13 | Measuring skin temperature before, during and after exercise: a comparison of thermocouples and infrared thermography | Physiological Measurement | 2,058 | 49 | 2014 | 79,00 |
| 14 | Infrared thermography and image analysis for biomedical use | Periodicum Biologorum | 0,184 | 55 | 2011 | 70,00 |
| 15 | Patellar skin surface temperature by thermography reflects knee osteoarthritis severity | Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders | 0 | 59 | 2010 | 69,00 |
| 16 | Application of infrared thermography in computer aided diagnosis | Infrared Physics and Technology | 1,713 | 32 | 2014 | 62,00 |
| 17 | Reliability of different methodologies of infrared image analysis of myofascial trigger points in the upper trapezius muscle | Brazilian Journal of Physical Therapy | 1,226 | 23 | 2015 | 58,00 |
| 18 | Intra and inter-rater reliability of infrared image analysis of masticatory and upper trapezius muscles in women with and without temporomandibular disorder | Brazilian Journal of Physical Therapy | 1,226 | 30 | 2013 | 55,00 |
| 19 | Infrared thermography in pain medicine | Korean Journal of Pain | 0 | 27 | 2013 | 52,00 |

| | | | | | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|------|-------|
| 20 | The effect of using different regions of interest on local and mean skin temperature | Journal of Thermal Biology | 2,157 | 13 | 2015 | 48,00 |
| 21 | The comparisons between thermography and ultrasonography with physical examination for wrist joint assessment in juvenile idiopathic arthritis | Physiological Measurement | 2,058 | 2 | 2017 | 47,00 |
| 22 | Occupational health and safety management in Oyster culture | Aquacultural Engineering | 1,559 | 7 | 2016 | 47,00 |
| 23 | Postures of upper extremity correlated with carpal tunnel syndrome (CTS) | International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health | 0,947 | 2 | 2017 | 47,00 |
| 24 | Thermography Improves Clinical Assessment in Patients with Systemic Sclerosis Treated with Ozone Therapy | BioMed Research International | 2,476 | 1 | 2017 | 46,00 |
| 25 | Thermographic evaluation of the hands of pig slaughterhouse workers exposed to cold temperatures | International Journal of Environmental Research and Public Health | 2,101 | 1 | 2017 | 46,00 |
| 26 | Visual management and artificial intelligence integrated in a new fuzzy-based full body postural assessment | Computers & Industrial Engineering | 2,623 | 0 | 2017 | 45,00 |
| 27 | Thermal imaging in screening of joint inflammation and rheumatoid arthritis in children | Physiological measurement | 2,058 | 10 | 2015 | 45,00 |
| 28 | Systematic review of quantitative imaging biomarkers for neck and shoulder musculoskeletal disorders | BMC Musculoskeletal Disorders | 1,739 | 0 | 2017 | 45,00 |
| 29 | A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands | Infrared Physics & Technology | 1,713 | 0 | 2017 | 45,00 |
| 30 | Computer-based automated analysis of X-ray and thermal imaging of knee region in evaluation of rheumatoid arthritis | Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine | 1,005 | 0 | 2017 | 45,00 |
| 31 | Relationship between shoulder pain and skin temperatura measured by infrared thermography in a wheelchair propulsion test | Infrared Physics & Technology | 1,713 | 4 | 2016 | 44,00 |
| 32 | Assessment of the Upper Trapezius Muscle Temperature in Women With and Without Neck Pain | Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics | 1,592 | 24 | 2012 | 44,00 |
| 33 | Infrared thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand of office workers | European Journal of Applied Physiology | 2,13 | 62 | 2004 | 42,00 |
| 34 | Skin temperature in the dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders | International Archives of Occupational and Environmental Health | 2,177 | 36 | 2009 | 41,00 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|----|------|-------|
| 35 | The influence of fatigue on muscle temperature | International Journal of Occupational Safety and Ergonomics | 0,469 | 21 | 2012 | 41,00 |
| 36 | Application of medical infrared thermography to sports medicine | Revista Brasileira de Medicina do Esporte | 0,294 | 1 | 2016 | 41,00 |
| 37 | Thermography applied during exercises with or without infrared light-emitting diode irradiation: Individual and comparative analysis | Photomedicine and Laser Surgery | 1,68 | 14 | 2013 | 39,00 |
| 38 | Assessment of hand osteoarthritis: Correlation between thermographic and radiographic methods | Rheumatology | 4,818 | 58 | 2004 | 38,00 |
| 39 | Wrist hypothermia related to continuous work with a computer mouse: A digital infrared imaging pilot study | International Journal of Environmental Research and Public Health | 2,101 | 3 | 2015 | 38,00 |
| 40 | Thermographic Analysis of the Hands of Poultry Slaughterhouse Workers Exposed to Artificially Cold Environment | Procedia Manufacturing | 0 | 3 | 2015 | 38,00 |
| 41 | Are the infrared thermography findings skin temperature-dependent? A study on neck pain patients | Skin Research and Technology | 1,662 | 12 | 2013 | 37,00 |
| 42 | Preliminary Study on the Evaluation of Musculoskeletal Risks through Infrared Thermography for Drummers | Procedia Manufacturing | 0 | 2 | 2015 | 37,00 |
| 43 | Thermal response after cold-water provocation of hands in healthy young men | Thermology International | 0 | 2 | 2015 | 37,00 |
| 44 | Infrared imaging of the anterior deltoid during overhead static exertions | Ergonomics | 1,818 | 35 | 2008 | 35,00 |
| 45 | An investigation of the relationship between thermal imaging and digital thermometer testing at the knee | Physiotherapy Practice and Research | 0 | 0 | 2015 | 35,00 |
| 46 | Value of digital telethermography for the diagnosis of septic knee prosthesis: a prospective cohort study | BMC Musculoskeletal Disorders | 1,739 | 9 | 2013 | 34,00 |
| 47 | Early assessment of the efficacy of digital infrared thermal imaging in pediatric extremity trauma | Emergency Radiology | 0 | 14 | 2012 | 34,00 |
| 48 | Reliability of thermal readings of the skin surface over the anterior deltoid during intermittent, overhead tapping tasks | International Journal of Industrial Ergonomics | 1,415 | 13 | 2012 | 33,00 |
| 49 | Autonomic and muscular responses and recovery to one-hour laboratory mental stress in healthy subjects | BMC Musculoskeletal Disorders | 1,739 | 37 | 2007 | 32,00 |
| 50 | Reliability and reproducibility of skin temperature of overweight subjects by an Infrared Thermography software designed for human beings | Thermology International | 0 | 12 | 2012 | 32,00 |
| 51 | Postural adjustment in experimental leg length difference evaluated by means of thermal infrared imaging | Physiological Measurement | 2,058 | 21 | 2010 | 31,00 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|----|------|--------|
| 52 | Vasodilative effect of isosorbide dinitrate ointment in complex regional pain syndrome type 1 | Clinical Journal of Pain | 3,492 | 26 | 2008 | 26,00 |
| 53 | Imaging modalities for identifying the origin of regional musculoskeletal pain | Best Practice & Research Clinical Rheumatology | 3,581 | 50 | 2003 | 25,00 |
| 54 | Bilateral changes in forearm oxygen consumption at rest and after exercise in patients with unilateral repetitive strain injury: A case-control study | Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy | 2,825 | 4 | 2012 | 24,00 |
| 55 | Less Specific Arm Illnesses | Journal of Hand Therapy | 1,159 | 9 | 2011 | 24,00 |
| 56 | Muscle pain syndromes | American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation | 1,734 | 28 | 2007 | 23,00 |
| 57 | Skin temperature and muscle blood volume changes in the hand after typing | International Journal of Industrial Ergonomics | 1,415 | 13 | 2010 | 23,00 |
| 58 | Analysis of temperature on the surface of the wrist due to repetitive movements using sensory thermography | Work - A Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation | 0,779 | 2 | 2012 | 22,00 |
| 59 | The relationship between the change in digital infrared thermography imaging and preoperative and postoperative pain or disability in HNP patients | Toxicology and Environmental Health Sciences | 0 | 1 | 2012 | 21,00 |
| 60 | Quality assurance for thermal imaging systems in medicine | Thermology International | 0 | 20 | 2007 | 15,00 |
| 61 | The effect of different warming methods on sensory nerve conduction velocity in shipyard workers occupationally exposed to hand-arm vibration | International Archives of Occupational and Environmental Health | 2,177 | 9 | 2008 | 9,00 |
| 62 | Quantifying the relevance and stage of disease with the tau image technique | IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine | 0 | 27 | 2002 | -3,00 |
| 63 | What is known about temperature and complaints in the upper extremity? A systematic review in the VDU work environment | International Archives of Occupational and Environmental Health | 2,177 | 5 | 2006 | -5,00 |
| 64 | Effects of a thermal-insulating mouse pad on temperature of forearm and hand during computer tasks | Ergonomics | 1,818 | 3 | 2006 | -7,00 |
| 65 | Somatotype and infrared thermographic imaging | Thermology International | 0 | 0 | 2004 | -20,00 |
| 66 | Objective and subjective assessments of temperature differences between the hands in reflex sympathetic dystrophy | Clinical Rehabilitation | 2,823 | 20 | 1999 | -25,00 |
| 67 | Clinical trials among worker populations: The value and significance of anamnestic findings and clinical and instrumental tests for diagnosing work-related musculoskeletal disorders of the upper limbs (WMSDs)" | Ergonomics | 1,818 | 16 | 1998 | -34,00 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------|---|------|--------|
| 68 | Momentary temperature and differences in temperatura over one week between the hands in reflex sympathetic dystrophy: A pilot study | Physiotherapy Theory and Practice | 0,804 | 0 | 1999 | -45,00 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------|---|------|--------|

APÊNDICE B -Protocolo de Inclusão e Exclusão de Participantes

PROTOCOLO DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DE PARTICIPANTES**IDENTIFICAÇÃO**

Nome: _____ Idade: _____

Peso: _____ Altura: _____

QUESTIONÁRIO – (ADAPTADO DE RING; AMMER, 2000)

As perguntas a seguir devem refletir as suas ações no dia de hoje, nas horas anteriores à sua participação no presente estudo e apenas em relação às seguintes regiões: **ombros, cotovelos, punhos e mãos.**

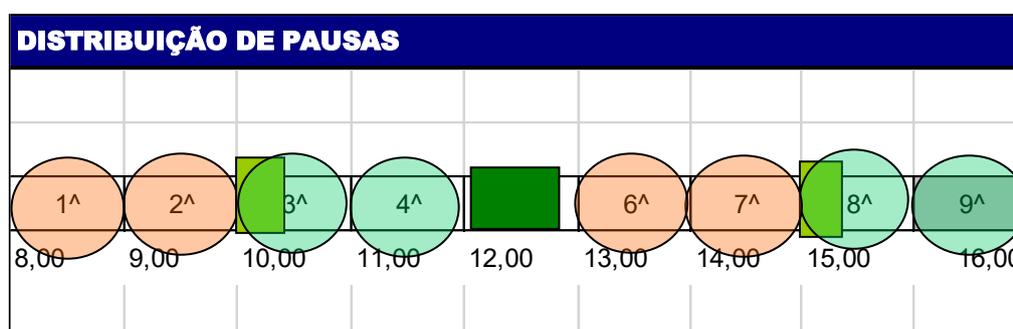
1) Fuma? Sim Não**2) No dia de hoje, você aplicou óleos, cremes ou cosméticos sobre os ombros, cotovelos, punhos ou mãos?** Sim Não**3) No dia de hoje você executou exercícios físicos? Exemplos: musculação, ginástica, ciclismo e esportes em geral.** Sim Não**4) Possui cicatrizes sobre os ombros, cotovelos, punhos ou mãos?** Sim Não**5) Possui histórico de doenças musculoesqueléticas nos membros superiores? Exemplos: Síndrome do Túnel do Carpo, Síndrome do Pronador, Síndrome da Dor Regional Complexa, Bursite, Epicondilite, Tenossinovite, Tendinite, Osteoartrite ou LER.** Sim Não**6) Sente dores nos ombros, cotovelos, punhos ou mãos?** Sim Não**7) Participou recentemente de algum tipo de terapia, como: crioterapia, eletroterapia, ultrassom, tratamentos com calor, massagem, acupuntura, hidroterapia, entre outras?** Sim Não

APÊNDICE C - Dimensionamento da Tarefa Repetitiva

Este apêndice apresenta o dimensionamento da tarefa repetitiva utilizado nesse trabalho. Para maiores detalhes sobre os procedimentos metodológicos, consultar a seção 3. Metodologia.

A Figura 45 apresenta a distribuição de pausas da jornada de trabalho projetada nesse estudo, de acordo com as horas do dia. Os retângulos verdes representam as pausas para de descanso e refeição; os círculos verdes representam as horas de trabalho recuperadas com pausas; os círculos alaranjados representam as horas trabalhadas não recuperadas.

Figura 45 – Distribuição de pausas durante o trabalho



Fonte: Autoria própria

A seguir, serão apresentadas as posturas realizadas pelos participantes em cada uma das 3 fases da tarefa: Fase 1 – Montagem, Fase 2 - Rosquear e desrosquear porca e Fase 3 - Desmontagem. Serão apresentados os tempos gastos em cada uma destas posturas, de modo a pontuar o Índice OCRA.

O cálculo do Índice OCRA foi realizado utilizando o *software* ERGOEPMindiceOCRA™ (Itália). Desta forma, as imagens apresentadas a seguir estarão em italiano, idioma de origem dos desenvolvedores do *software*.

As Figuras 46 à 60 apresentam a descrição da tarefa repetitiva que serviu de base para cada participante no estudo. No entanto, conforme apresentado nesse trabalho, cada experimento foi analisado individualmente novamente após a execução do estudo, uma vez que, mesmo havendo uma tarefa base a ser seguida, cada ser humano poderia executar de maneiras minimamente diferente e que poderia levar um nível de risco diferente.