



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RICARDO BRUNO CARVALHO DE SOUSA**

**CONFORTO TÉRMICO DE OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS**  
**SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE PREPARO DE**  
**SOLO**

**FORTALEZA**

**2014**

**RICARDO BRUNO CARVALHO DE SOUSA**

**CONFORTO TÉRMICO DE OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS  
SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE PREPARO DE  
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

**FORTALEZA**

**2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- S698c      Sousa, Ricardo Bruno Carvalho de.  
              Conforto térmico de operadores de tratores agrícolas submetidos a diferentes condições de  
              operação de preparo de solo / Ricardo Bruno Carvalho de Sousa. – 2014.  
              98 f.: il., color., enc.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
              Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
              Fortaleza, 2014.  
              Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.  
              Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
1. Higiene do trabalho. 2. Calor. 3. Tratores agrícolas. I. Título.

---

CDD 630

**RICARDO BRUNO CARVALHO DE SOUSA**

**CONFORTO TÉRMICO DE OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS  
SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE PREPARO DE  
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovado em: 22/04/2014.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Max César de Araújo  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

À Deus, minha família, amigos, colegas de trabalho e orientadores pelo apoio, força e incentivo e amizade. Sem eles nada disso seria possível.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Ricardo de Sousa e Francisca Fátima Carvalho Sousa sempre foram os meus exemplos de: conduta, educação, trabalho, amor, dedicação, fé e esperança, sem as quais seria impossível chegar aqui.

A minha querida namorada Tázia Veras, amiga e companheira de todas as horas.

A todos os meus familiares e amigos que me acompanharam durante esta trajetória, em especial: Silvia Letícia e Carlos Eduardo, por ter me concedido um lar e as condições necessárias para a realização deste curso; e a Kassius Vinissius pela amizade e acompanhamento prestado nesta jornada.

Agradecer ao professor, Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, orientador, e pelo professor Daniel Albiero pelo apoio, incentivo em todas as fases do trabalho.

Aos professores, Dr. José Antônio Delfino Barbosa Filho e Dr. Max César de Araújo, examinadores desta dissertação, pela disponibilidade, comprometimento e contribuição fornecida ao trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola pelos ensinamentos transmitidos nas disciplinas.

Ao professor Esp. Daniel Gurgel Pinheiro, por disponibilizar os instrumentos necessários para a realização do trabalho.

Aos membros do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas da Universidade Federal do Ceará que me ajudaram na coleta de dados do experimento, e em especial ao Fábio Henrique de Souza.

Aos membros do núcleo de estudos em ambiência agrícola e bem estar animal da Universidade Federal do Ceará.

A todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente a realização deste trabalho.

A Universidade Federal do Ceará – UFC, pela oportunidade de realização desta pesquisa.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

SOUSA, Ricardo Bruno Carvalho de. Universidade Federal do Ceará, abril 2014. **Conforto térmico de operadores de tratores agrícolas submetido a diferentes condições de operação de preparo de solo.** Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, Conselheiros: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, Prof. Dr. Max César de Araújo.

A crescente demanda por alimentos tem feito com que a agricultura brasileira aperfeiçoe a sua produção em campo, levando o operador de tratores agrícolas a prolongadas jornadas de trabalho, expondo-o a um ambiente insalubre, além de provocar alguns acidentes e de causar danos à saúde do operador, ocasionando, em certos casos, até mesmo morte do profissional. Não obstante existam tecnologias capazes de melhorar as condições de trabalho do operador, como são as capotas e as cabines climatizadas, a grande maioria dos tratores no Brasil não dispõem deste dispositivo. Sendo assim, o operador permanece submetido a condições ambientais adversas, principalmente na região do Nordeste, em que, durante todo o ano, os elevados níveis de radiação solar e temperatura do ar são desfavoráveis ao conforto térmico e ao bem estar dos operadores de tratores agrícolas. Deste modo, tomando por base as condições econômicas e climáticas de cada região, o objetivo deste estudo foi avaliar o conforto térmico e ergonômico do operador em tratores agrícolas com e sem capota na atividade de preparo de solo, visando apontar diagnóstico em relação à sensação térmica, à insalubridade ao calor, o grau de esforço fisiológico e medir a temperatura da pele de diferentes membros do corpo deste profissional quando em trabalho. As avaliações foram feitas durante o verão brasileiro nos períodos matutinos, vespertinos e noturnos, utilizando de um trator BM-125I, da marca VALTRA, durante as operações de aração e subsolagem. A sensação térmica foi calculada através da temperatura e da umidade relativa do ar e resultou em desconforto em todas as condições trabalhadas. A insalubridade foi calculada baseando-se na metodologia da Norma Regulamentadora nº 15, Anexo 3, insalubridade esta que não foi diagnosticada por parte da exposição ao calor, dado se ter medido a frequência cardíaca do operador para análise ergonômica e se constatado que não houve sobrecarga cardiovascular nos esforços físicos demandados pelas operações. Finalmente, foi medida a temperatura média da pele dos certos membros do operador (face, mão, braço e perna) fazendo uso de termovisores e levando em consideração a permanência do calor acima da temperatura de conforto em todas as condições e horários trabalhados, e pode-se notar que houve diferença significativa quanto à variação na temperatura da pele do operador entre as condições de operações realizadas com e sem capota apenas nos os horários do meio dia e ao final da tarde.

**Palavras-chave:** Higiene do trabalho. Calor. Termografia.

## ABSTRACT

SOUSA, Ricardo Bruno Carvalho de. Universidade Federal do Ceará, abril 2014. **Thermal comfort of agricultural tractors operators submitted to different operating conditions of soil preparation.** Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, Conselheiros: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, Prof. Dr. Max César de Araújo.

The increasing food demand has made Brazilian agriculture optimize their production in the field, conducting the agricultural tractors operator to prolonged working hours exposing him to an unhealthy environment, besides causing some accidents and cause damage to the operator health, causing, in some cases, even professional death. Nevertheless there are technologies that can improve the operator working conditions as are the cowlings and air-conditioned cabins, the great majority of tractors in Brazil don't have this device. Therefore, the operator remains submitted to adverse environmental conditions, especially in the Northeast region, in which, throughout the year, the elevated levels of solar radiation and air temperature are unfavorable for thermal comfort and well-being of agricultural tractor operators. Then, based on the economic and climatic conditions in each region, the objective of this study was to evaluate the thermal and ergonomic operator comfort in tractors with and without cowl in the activity of soil preparation, aiming to identify diagnosis in relation to thermal sensation, heat insalubrity, the physiological stress degree and to measure the skin temperature of different body parts of this person when working. The assessments were made during the Brazilian summer morning, afternoon and evening periods, using a BM-125I tractor VALTRA brand, during plowing and subsoiling operations. The Thermal sensation was calculated using the temperature and relative humidity and resulted in discomfort worked in all conditions. The unhealthiness was calculated based on the methodology of Norma Regulamentadora 15, Anexo 3, unhealthiness this which was not diagnosed by exposure to heat, as it had measured the heart rate operator for ergonomic analysis and verified that there wasn't overload in cardiovascular physical effort demanded by operations. Finally, measured the skin average temperature of some operator's member (face, hand, arm and leg) by making use of thermal imaging and considering the permanence of heat above the comfort temperature in all conditions and hours worked, and was noted that there was significant difference in the variation by skin temperature operator between operating conditions with and without cowl only in the schedules of midday and late afternoon.

**Keyword:** Occupational hygiene. Heat. Thermography.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Sistema termorregulador humano em indivíduos saudáveis .....	22
Figura 2	A variação da temperatura da pele do corpo despido de acordo com a temperatura do ambiente.....	24
Figura 3	Respostas fisiológicas do ser humano de acordo com as zonas de temperatura interna corporal.....	25
Figura 4	Área Experimental Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas - LIMA .....	34
Figura 5	Vista lateral do Trator da marca VALTRA utilizado no experimento .....	35
Figura 6	Croqui do sistema de dentro para fora sobre imagem de satélite da área experimental .....	36
Figura 7	Vista lateral do subsolador marca MARCHESAN AST/MATIC 450 utilizado ...	37
Figura 8	Vista lateral do arado de aiveca helicoidal marca MARCHESAN AAH utilizado... ..	38
Figura 9	Vista lateral com o trator com a capota utilizado .....	39
Figura 10	Vista lateral com o trator sem a capota utilizado.....	39
Figura 11	Vista frontal do operador .....	40
Figura 12	Data logger HOBO 10-003.....	41
Figura 13	Medidor de estresse térmico TGD-400.....	43
Figura 14	Medidor de frequência cardíaca da polar, modelo T31-CODED.....	46
Figura 15	Termovisores FLIR série i3 .....	47
Figura 16	Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região facial do operador .....	48
Figura 17	Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região da mão e do braço esquerdo do operador.....	49
Figura 18	Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região da perna esquerda do operador.....	49
Figura 19	Interface do “ <i>software</i> ” ThermaCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com a face do operador selecionada.....	50
Figura 20	Interface do “ <i>software</i> ” ThermaCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com a mão e o braço esquerdo do operador selecionada .....	51

Figura 21	Interface do “ <i>software</i> ” ThermaCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com perna esquerda do operador selecionada.....	51
Figura 22	Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando subsolagem com o trator com capota.....	54
Figura 23	Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando aração com o trator com capota .....	54
Figura 24	Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando aração com o trator sem capota.....	55
Figura 25	Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando subsolagem com o trator sem capota .....	55
Figura 26	Variação do ITU nos horários trabalhados, por condição de operação, e classificação do estresse calórico.....	57
Figura 27	Variação do IBUTG nos horários trabalhados, por condição de operação, e classificação da atividade de acordo com a NR-15 .....	58
Figura 28	Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando subsolagem com o trator com capota .....	60
Figura 29	Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando aração com o trator com capota .....	60
Figura 30	Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando aração com o trator sem capota.....	61
Figura 31	Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando subsolagem com o trator sem capota.....	62
Figura 32	CCV médio nas atividades de preparo secundário do solo.....	64
Figura 33	Variação da temperatura cutânea facial nos horários estudados .....	65
Figura 34	Temperatura cutânea facial média de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura facial nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d) .....	66
Figura 35	Variação da temperatura cutânea do braço nos horários trabalhados.....	67
Figura 36	Temperatura cutânea do braço média de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele do braço nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d).....	68

Figura 37	Varição da temperatura da pele da mão nos horários trabalhados.....	70
Figura 38	Temperatura média da pele da mão de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele da mão nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d).....	70
Figura 39	Varição da temperatura cutânea da perna nos horários trabalhados .....	72
Figura 40	Temperatura média da pele da perna de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele da perna nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição das atividades executadas nas operações de subsolagem e aração .....	36
Tabela 2	Índice de temperatura e umidade (ITU).....	41
Tabela 3	Limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço.....	43
Tabela 4	Taxa de metabolismo por tipo de atividade .....	44
Tabela 5	Classificação da carga física de trabalho através da frequência cardíaca de trabalho .....	45
Tabela 6	Valores médios de IBUTG durante a jornada de trabalho, por atividade, o IBUTG limite para trabalho contínuo e o tempo de permanência .....	57
Tabela 7	Carga física de trabalho exigida nas atividades de preparo secundário do solo....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ASHRAE	American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
Aw'	Tropical chuvoso; quente e úmido
bpm	Batimentos por minuto
CCV	Carga Cardiovascular
cm	Centímetro
CV	Cavalo Vapor
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
DMS	Diferença mínima significativa
EC	Equatorial de conforto
EHS	Exertional Heat Stroke
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FC	Frequencia cardíaca
FCL	Frequencia cardíaca limite
FCM	Frequencia cardíaca máxima
FCR	Frequencia cardíaca em repouso
FCT	Frequencia cardíaca de trabalho
h	Hora
Ht	Duração de trabalho
IBUTG	Índice de bulbo úmido termômetro de globo
ISO	International Organization for Standardization
ITU	Índice de temperatura e umidade
Kcal.h <sup>-1</sup>	Quilo caloria por hora
Kg	Quilograma
kPa	Quilo Pascal
kW	Quilo Watts
LIMA	Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas
Máx.	Máximo
Mín	Mínimo
mL.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	Milímetro por metro quadrado segundos
m	Metro
mm	Milímetro

n°	Número
NR-15	Norma regulamentadora 15
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
p	Probabilidade
P4RS	Taxa de suor estimada para 4 horas
R <sup>2</sup>	Regressão linear
R1	Repetição 1
R2	Repetição 2
R3	Repetição 3
ROI	Região de interesse
RT	Temperatura resultante
T	Temperatura absoluta cutânea em graus Kelvin
T	Tratamento
Ta	Temperatura do ar
<i>t<sub>bs</sub></i>	Temperatura do bulbo seco
<i>t<sub>bun</sub></i>	Temperatura do bulbo úmido natural
<i>t<sub>g</sub></i>	Temperatura do globo negro
TDA	Tomada dianteira auxiliar
Temp.	Temperatura
TDP	Tempo de permanência
TP	Temperatura da pele
<i>Tr</i>	Tempo de repouso
UFC	Universidade Federal do Ceará
UR	Umidade relativa do ar
UV	Radiação ultravioleta
W	Watts
W.cm <sup>-2</sup>	Watts por centímetro quadrado
W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-4</sup>	Watts por metro quadrado Kelvin a quarta potência
WBGT	Índice de bulbo úmido e termômetro de globo

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
°C	Graus Célsius
K	Kelvin
'	Minutos
“	Segundos
“	Polegada
%	Porcentagem
$\varepsilon$	Emissividade
$\sigma$	Constante de Stephan-Boltzman

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Conforto térmico .....</b>	<b>20</b>
2.1.1	Mecanismos termorreguladores.....	20
2.1.2	Ambiente térmico e o exercício físico (metabolismo).....	22
2.1.3	Temperatura da pele.....	23
<b>2.2</b>	<b>Ambiente térmico desfavorável e a saúde .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>O ambiente térmico e a produtividade, qualidade e acidente .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Variáveis pessoais .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>Obtenção da taxa metabólica .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Índices de conforto térmico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7</b>	<b>Carga física de trabalho e carga cardiovascular .....</b>	<b>29</b>
<b>2.8</b>	<b>Termografia .....</b>	<b>30</b>
2.8.1	Captação de imagens termográficas .....	31
2.8.2	Monitoramento da temperatura da pele usando a termografia infravermelha .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Classificação climática da área de estudo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização do solo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Caracterização do trator.....</b>	<b>35</b>
3.5	Operações agrícolas.....	35
<b>3.6</b>	<b>Características dos implementos.....</b>	<b>36</b>
3.6.1	Subsolador .....	36
3.6.2	Arado .....	37
<b>3.7</b>	<b>Condições de operação e horários trabalhados .....</b>	<b>38</b>
<b>3.8</b>	<b>Características físicas do operador.....</b>	<b>40</b>
<b>3.9</b>	<b>Índice de temperatura e umidade .....</b>	<b>40</b>
<b>3.10</b>	<b>NR-15 anexo 3 - índice de bulbo úmido e termômetro de globo .....</b>	<b>41</b>
<b>3.11</b>	<b>Carga física de trabalho.....</b>	<b>44</b>
<b>3.12</b>	<b>Termografia .....</b>	<b>46</b>



3.12.1	Preparo do operador.....	46
3.12.2	Termovisor.....	47
3.12.3	Captação de imagens termográficas .....	47
3.12.4	Tratamento dos dados .....	50
<b>3.13</b>	<b>Metodologia estatística.....</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Zonas de conforto térmico e índice de temperatura e umidade.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>Insalubridades à exposição ao calor .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4</b>	<b>Carga física de trabalho.....</b>	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b>Termografia .....</b>	<b>64</b>
4.4.1	Temperatura cutânea facial.....	64
4.4.2	Temperatura cutânea do braço.....	67
4.4.3	Temperatura cutânea da mão .....	69
4.4.4	Temperatura cutânea da perna .....	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e da mecanização ao longo do tempo vem substituindo o trabalho manual pelo mecanizado, exemplo disso são as atividades exercidas com tratores, em que capacidade de produção é mais elevada em relação às outras fontes de potencia, gerando uma série de benefícios tais como o aumento da produção agrícola, redução dos esforços físicos do operador e outros. Contudo, a crescente demanda por alimentos tem impulsionado o setor agrícola a fazer jus do melhor aproveitamento da janela de plantio, aperfeiçoando o tempo, produção e a qualidade dos trabalhos no campo, levando o operador, por muitas vezes, a elevados ritmos operacionais e a prolongadas jornadas de trabalho. O tempo de exposição muitas vezes tem feito com que o operador permaneça exposto a elevados níveis de temperatura e radiação solar, esta exposição associada aos esforços físicos operacionais pode causar desconforto térmico podendo provocar acidentes e danos à saúde do operador ocasionando em alguns casos até mesmo a morte.

Assim, é interessante que as condições ambientais extremas sejam minimizadas, partindo dessa ideologia foram desenvolvidos tecnologias capazes de bloquear parcialmente a incidência de radiação solar no corpo do operador, são eles as capotas e os sistemas de cabina climatizada reduzindo assim os níveis de ruído, vibração, susceptibilidade a ataque de animais peçonhentos, substâncias presentes no ar e principalmente, a temperatura do ar (DEBIASE, 2004). No entanto, a agricultura brasileira, em geral, não tem condições de absorver o custo das cabines, resultando numa baixa utilização deste dispositivo, (SCHLOSSER, 2001) limitando o operador a trabalhar nas condições de temperatura ambiente, que, em alguns casos, é desfavorável ao bem estar do trabalhador, como por exemplo, no nordeste brasileiro, em que as temperaturas médias atingem 26°C independente do clima (tropical chuvoso no litoral e semi-árido no interior).

Porém, no interior nordestino a situação do operador pode ser mais agravante quando os níveis de radiação solar e a umidade relativa se encontrarem muito distantes da zona de conforto térmico, podendo dessa forma causar um desequilíbrio térmico entre o trabalhador e o ambiente dependendo do esforço físico do operador em seu trabalho, aumentando o risco de doenças ocupacionais; câncer de pele, lesões corporais, síncope, doenças cardiovasculares, insolações, exaustão entre outros.

Baseado então nas condições econômicas e climáticas faz-se necessário um diagnóstico do conforto térmico, esforço físico e da insalubridade à exposição ao calor dos operadores de tratores agrícolas realizando operação de preparo de solo em tratores com e

sem capota, na intenção de analisar as condições do sistema operador-ambiente, bem como justificar a importância do uso de cabines climatizadas na região nordestina.

Neste contexto, surgiram os seguintes questionamentos científicos relativa ao tema: Existe desconforto térmico do operador em tratores com e sem capota realizando operação de preparo de solo? Existe insalubridade à exposição ao calor nas atividades com tratores com e sem capota realizando operação de preparo de solo? Existe sobrecarga cardiovascular do operador em trator com e sem capota realizando operação de preparo do solo? Existe diferença na temperatura da pele do braço, da mão, da perna e da face do operador entre as operações de preparo do solo utilizando trator com e sem capota? Existe variação na temperatura da pele do braço, da mão, da perna e da face do operador entre os horários dos dias trabalhado?

## **1.2 Objetivo geral**

Avaliar as condições de conforto térmico, esforço físico e da exposição ao calor do operador de tratores agrícolas frente a diferentes condições de operação de preparo secundário do solo.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Classificar de acordo com o índice de temperatura e umidade a sensação térmica do operador realizando operações de preparo secundário do solo;
- Verificar se existe insalubridade à exposição ao calor nas atividades com tratores no preparo secundário do solo de acordo com a NR-15;
- Classificar a carga física de trabalho e a carga cardiovascular de acordo com a frequência cardíaca do operador;
- Verificar entre as condições de operação se existe diferença na temperatura da pele do braço, da mão, da perna e da face do operador;
- Verificar entre os horários trabalhados se existe variação na temperatura da pele do braço, da mão, da perna e da face do operador;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Conforto térmico

Conforto térmico em um determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida (metabolismo) e a vestimenta utilizada (RUAS, 2001).

Embora atualmente, os estudos de conforto térmico se realizem para qualquer tipo de ambiente: exterior (STATHOPOULOS et al., 2004); no espaço (KOSCHEYEV et al., 2000) e situações extremas (HORROCKS, 1996); os estudos mais comuns são realizados para ambientes de trabalho, onde a produtividade é fator preponderante (SRINAVIN e MOHAMED, 2003).

Dessa forma, a primeira condição para se obter conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Essa condição é necessária, mas não suficiente para que haja conforto térmico. Isso pode ser explicado pela eficiência do sistema termorregulador, que consegue manter o equilíbrio térmico do organismo numa ampla faixa de combinações das variáveis pessoais e ambientais, embora o conforto térmico só ocorra numa restrita faixa dessas combinações.

#### 2.1.1 Mecanismos termorreguladores

A manutenção da temperatura corporal humana é um fenômeno complexo. O homem é um animal homeotérmico, produz calor que deve ser perdido para o meio ambiente e para sobreviver necessita de manter a temperatura interna do corpo (cérebro, coração e órgãos do abdômen) dentro de limites muito estreitos, 36,1°C a 37,2°C, obrigando a uma procura constante de equilíbrio térmico com o meio envolvente que tem influencia nessa temperatura interna, podendo um pequeno desvio em relação a este valor resultar na morte. O corpo humano, como uma máquina bioquímica que é, precisa dissipar calor para o seu perfeito funcionamento. (SILVA, 2005)

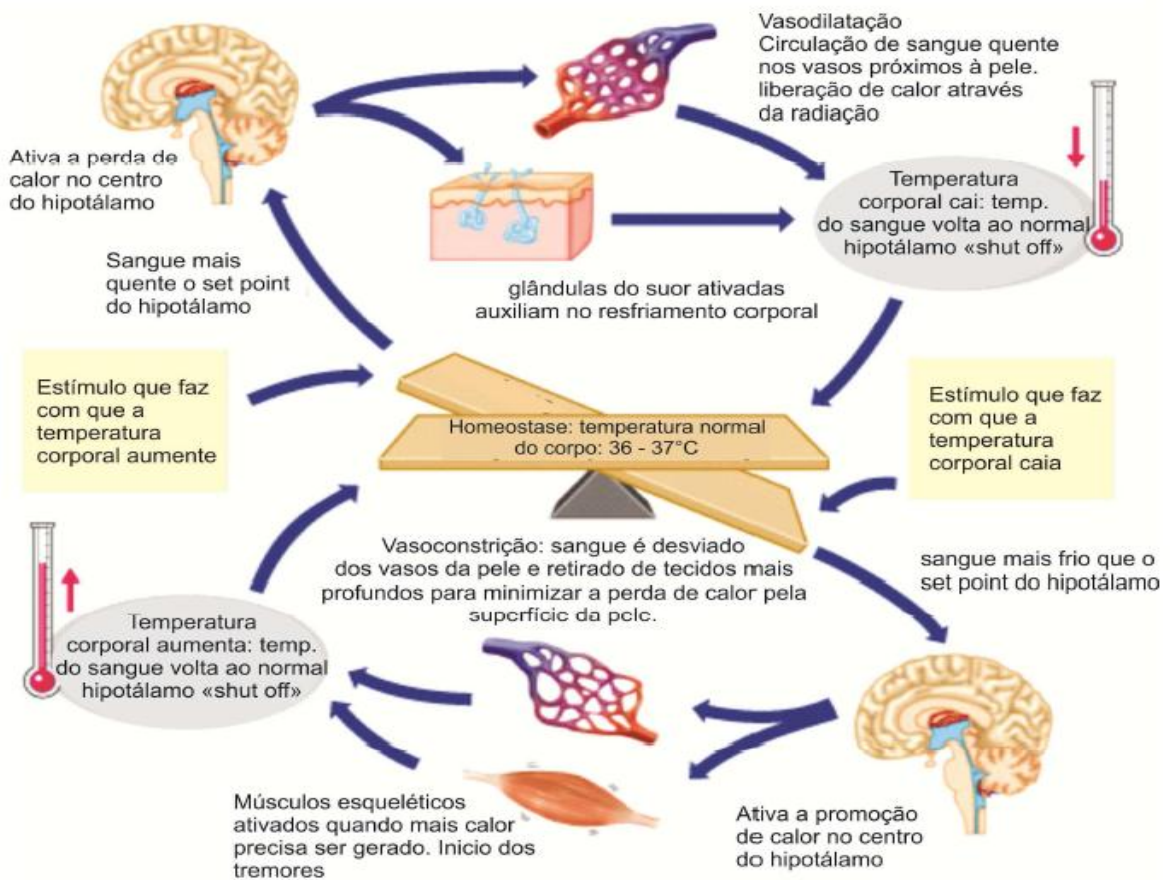
O equilíbrio térmico do corpo humano é mantido por um sistema orgânico chamado de termorregulador, que através de ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente.

Naturalmente, em ambientes quentes e/ou durante a realização de um exercício ocorre um aumento da temperatura do corpo diretamente dependente da intensidade do mesmo (HUE; SCHLADER, 2010). Entretanto, para que essa temperatura não atinja níveis perigosos, os sensores da pele verificam o diferencial de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam ao hipotálamo, que por meio de vários estímulos nervosos (centrais e periféricos), como a temperatura do sangue, pressão arterial e nível de atividade metabólica, controlam os mecanismos de vasodilatação permitindo que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim a temperatura da pele e propiciando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação, a dilatação dos vasos sanguíneos da pele (vasodilatação) pode aumentar a fluxo de sangue na pele em até 15 vezes (de 1,7 mL/s.m<sup>2</sup> em descanso confortável para 25 mL/s.m<sup>2</sup> em calor extremo). Neste caso, a sudorese é um mecanismo fundamental para intensificar a perda de calor para o ambiente, pois o suor, quando evaporado pode refrescar a pele reduzindo o calor corporal. Quando a temperatura do corpo cai, a vazão de sangue na pele é reduzida (vaso constrição) para conservar calor no corpo, o efeito de vaso constrição máxima é equivalente ao efeito isolante de um casaco pesado. Em condições de temperaturas internas muito menores que a de referência (externa), a tensão muscular aumenta para gerar calor adicional; em regiões em que os grupos de músculos se opõem, esta tensão pode aumentar para gerar tremores visíveis (calafrios). Os tremores podem duplicar a produção de calor com relação à condição de descanso (CHARKOUDIAN, 2010; PASCOE, 2008).

Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (RUAS, 2001).

A Figura 1 apresenta o sistema de termorregulação em indivíduos saudáveis em situações de redução e aumento da temperatura corporal (central).

Figura 1 – Sistema termorregulador humano em indivíduos saudáveis



Fonte: Lambert, 2012.

### 2.1.2 Ambiente térmico e o exercício físico (metabolismo)

Alguns fatores endógenos podem comprometer a estabilidade térmica, sendo a atividade muscular o mais importante. (KROEMER e GRANDJEAN, 2005) O exercício físico aumenta o metabolismo, aumentando consideravelmente a produção de calor. Conforme a intensidade do esforço físico e as condições ambientais, a temperatura corporal central pode elevar-se a níveis prejudiciais à saúde. Jay (2010) salienta que exposições prolongadas combinadas com diferentes valores de temperatura e umidade no local de trabalho e fora dele, podem colocar os trabalhadores em risco. Para tarefas associadas à elevada atividade física, o risco de estresse por calor é potencialmente maior, porque o nível metabólico exige uma maior quantidade de calor a ser dissipada para que o equilíbrio térmico seja possível. Em atividades físicas severas (com alta taxa de metabolismo) e em situações de febre, a temperatura do núcleo pode ser elevada em torno de 39,5 °C.

Neste sentido, profissionais que se exercitam ou trabalham em ambientes muito quentes enfrentam desafios fisiológicos que podem comprometer o desenvolvimento de suas atividades e, ainda, podem ser acometidos por lesões térmicas sérias e até risco de morte. O armazenamento de calor e a consequente elevação da temperatura corporal central a níveis críticos acarretam na incidência de doenças térmicas, em especial a exaustão térmica e o EHS (“*Exertional Heat Stroke*”), duas formas de insolação que atingem tanto atletas quanto trabalhadores expostos a situações de estresse térmico (GAMBRELL, 2002).

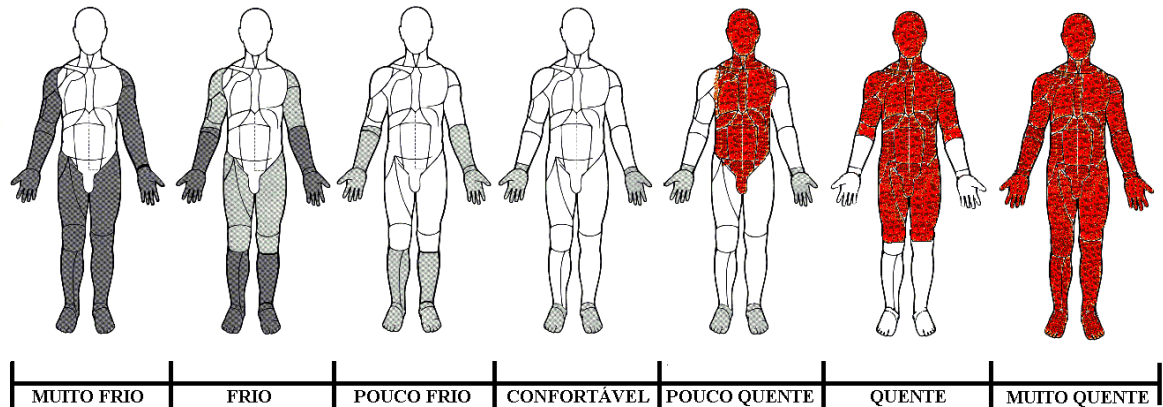
### 2.1.3 Temperatura da pele

A temperatura central permanece quase constante com uma margem de  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ , salvo quando há uma enfermidade febril. Em ar seco, se uma pessoa sadia for exposta nua a  $13^{\circ}\text{C}$  ou a  $54^{\circ}\text{C}$  sua temperatura central se manterá praticamente constante por longo tempo devido aos mecanismos que controlam a temperatura corporal e constituem um maravilhoso sistema regulador. Por outro lado, a temperatura cutânea varia com a temperatura do meio ambiente, pois a pele perde calor com o meio ambiente através de convecção, condução, evaporação e radiação (GUYTON; HALL, 2001).

A interface entre a produção de calor, e o ambiente, é a pele. Este órgão dinâmico é constantemente ajustado para equilibrar as condições externas e internas compensando as demandas fisiológicas do corpo. A pele é um órgão fundamental na manutenção da temperatura do núcleo dentro de uma faixa de normalidade  $36,1\text{-}37,8^{\circ}\text{C}$ , tendo em vista que esta deve ser preservada a fim de resguardar as funções vitais do organismo (CAMPBELL, 2011).

Ao contrário da temperatura central, a temperatura nos membros, nos músculos e especialmente na pele (temperatura periférica) sofre variações durante as 24 horas devido a vários fatores como: alterações emocionais, influência da temperatura ambiente, atividade física, roupas inadequadas, processos patológicos e ritmo circadiano. As variações nessa última determinam as modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente através da termorregulação. A Figura 2 apresenta a variação de temperatura da pele do corpo despido de acordo com a temperatura do ambiente.

Figura 2 – A variação da temperatura da pele do corpo despido de acordo com a temperatura do ambiente



Fonte: LEHMUSKALLIO, 2001 adaptado pelo autor.

A temperatura da pele varia dentro de uma larga faixa devido à pele atuar como interfase entre corpo e o ambiente. Em condições normais de temperatura ambiente a temperatura média da pele é de 3 a 5° C inferior a temperatura corporal. Em ambientes frios a temperatura da pele pode chegar a 20° C inferior a temperatura corpo, e em ambiente quente fica a 1°C inferior (desde que esteja em equilíbrio térmico) (SILVA, 2007).

## 2.2 Ambiente térmico desfavorável e a saúde

Segundo a “*Occupational Safety and Health Administration*” (administração de saúde e segurança ocupacional) (OSHA) em 2005, o sol contém radiação ultravioleta (UV) que provoca envelhecimento prematuro e câncer de pele, rugas e cataratas, entre outros problemas de saúde. A combinação de calor e umidade pode ser um problema ainda mais sério para a saúde durante os meses de verão, exemplo para os trabalhadores da construção civil, de hotéis ou agricultores, pois geralmente trabalham em ambientes externos, reforça Costa (2011) que várias outras patologias são originárias da exposição ao calor excessivo, entre as quais: a desidratação, a hipertermia, inflamação das glândulas sudoríparas, modificação comportamental e outras tais como: choque térmico, hiperpirexia, síncope, exaustão, câimbras, erupção, fadiga, tensão (“*Stress*”).

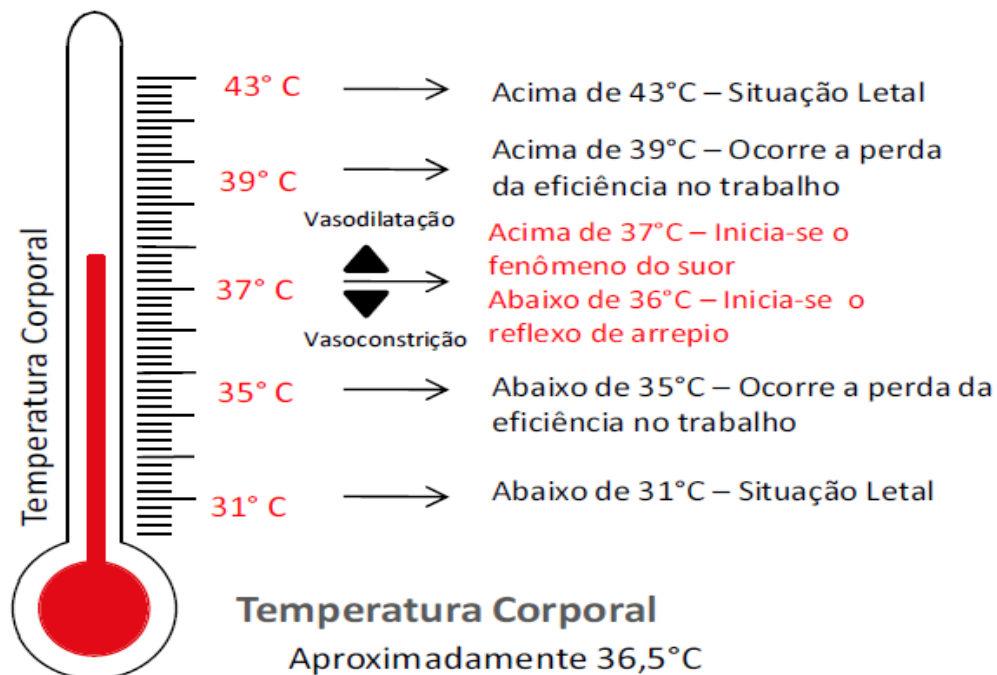
Além da exposição à radiação ultravioleta e da exposição ao calor, ritmos metabólicos altos podem provocar um desequilíbrio térmico, com o consequente aumento da temperatura corporal. Temperaturas de até 39,5°C podem ser toleradas, mas só por curto espaço de tempo. Além disso, para temperaturas maiores, a sobrecarga térmica ameaça provocar alterações no sistema nervoso central e, se a temperatura corporal chegar a 41°C, o



sistema regulador entra em colapso, vários tecidos do organismo sofrem mudanças irreversíveis, particularmente o cérebro, e a morte geralmente se torna inevitável aos 42°C (IIDA, 2003).

A Figura 3 mostra as respostas fisiológicas do ser humano de acordo com as zonas de temperatura interna corporal, variando de estado termoneutro (aproximadamente 36,5°C) à situação letal por excesso e por falta de calor.

Figura 3 – Respostas fisiológicas do ser humano de acordo com as zonas de temperatura interna corporal



Fonte: Lambert, 2012.

O aumento da temperatura corporal pode ser influenciado por um desequilíbrio entre a quantidade de calor absorvido pelo ambiente, a produção metabólica de calor e a quantidade de calor emitido pelo corpo, que ocorre durante mudanças no calor metabólico induzido pela atividade física (FISHER, 1999) e/ou pela exposição ao ambiente mais quente (FULBROOK, 1993 *apud* COSTA, 2012). O aumento da temperatura corporal também pode ser influenciado pelo funcionamento inadequado de um ou mais sistemas internos do corpo, acompanhado de possível infecção ou contaminação, resultando em quadro febril (RING, 1998).

### 2.3 O ambiente térmico e a produtividade, qualidade e acidente

Em estudo sobre a relação do controle do meio ambiente e o desempenho humano, através de estações de trabalho com controle individual das condições ambientais, Kroner (1994) concluiu que mudanças no ambiente, incluindo a arquitetura interna, podem aumentar a produtividade estimada em até 16%, a mudança dessa natureza reflete psicologicamente, aumentando a produtividade, tornando o ambiente mais confortável (quanto ao estresse térmico) influencia positivamente na produtividade desgastando fisicamente menos o trabalhador.

A temperatura e a umidade do ar influenciam diretamente no desempenho do trabalho humano. O homem, pertencente à classe dos animais homeotérmicos (sangue quente) possui mecanismos internos de regulação térmica para aumentar a temperatura corporal, aproximadamente constante, em torno dos 37°C. A sensação térmica que sentimos não é influenciada apenas pela temperatura externa, mas também do grau de umidade do ar e da velocidade do vento. (IIDA, 2003)

Leite (2002) afirmou que existe relação entre a temperatura externa e a produção dos trabalhadores. Além disso, ele notou que é certo que a inclinação de um indivíduo para o trabalho mental tende a diminuir em ambientes quentes. O mau desempenho pode ser atribuído à insônia, devido ao calor.

O superaquecimento gera cansaço e sonolência, redução do desempenho físico e aumento de erros (KROEMER e GRANDJEAN, 2005). Quando o homem é obrigado a suportar altas temperaturas, o seu rendimento cai, a velocidade do trabalho diminui, as pausas se tornam maiores e mais frequente, o grau de concentração diminui, e a frequência de erros e acidentes tende a aumentar significativamente, principalmente a partir de 30°C (IIDA, 2003).

Como consequências deste tipo de exposição são frequentes as alterações no comportamento, humor, aumento da distração, aumento da fadiga física, desmotivação, perda de velocidade na realização de tarefas, diminuição do grau de concentração e de precisão e aumento de absentismo. Salientam-se ainda outros problemas mais graves, como os conhecidos: Choque térmico, colapso térmico, desidratação, cujos efeitos são variados e conduzem a situações com o a diminuição da capacidade mental, a diminuição da destreza e o aumento do tempo de reação (no caso da desidratação), podendo ainda causar doenças crônicas e, em alguns casos, a morte, quando na presença de choque térmico (COSTA, 2011).

Leite (2002) afirmou, que se o ambiente é muito quente, a produtividade cai, e se as pessoas não se sentem confortáveis, estão mais suscetíveis a cometerem erros, sofrerem acidentes ou realizarem uma quantidade menor de trabalho.

Quando há ocorrência de acidentes, Lorsch (1994) relacionou a influência do calor no ambiente laboral e a frequência de ocorrência de acidentes de trabalho. Conclui o estudo, que em ambientes quentes, principalmente nos meses de maior incidência dos raios solares, elevando a temperatura ambiente, o número de acidentes é maior. O estudo não avalia fontes internas de calor, apenas estuda a temperatura ambiente proveniente do sol em ambientes industriais fechados.

Na Europa, a estação do verão ocorre nos meses de julho, agosto e setembro e a pesquisa mostrou que nestes meses a produtividade do trabalhador atinge os menores valores, sendo que, à medida que a temperatura externa diminui a produtividade aumenta.

## **2.4 Variáveis pessoais**

As variáveis pessoais são: o metabolismo e resistência térmica das roupas. Com relação ao metabolismo, o homem produz a energia necessária para a manutenção das suas funções vitais, através do processo metabólico de degradação dos alimentos. Esse processo pode ser comparado a uma lenta queima de produtos devido ao consumo de oxigênio. A maior parte da energia produzida pelo metabolismo é convertida em energia térmica e desse modo, a parcela mecânica pode ser negligenciada, considerando-se o calor metabólico igual à taxa de metabolismo (RUAS, 2001).

O metabolismo além de estar relacionado diretamente com o nível de atividade exercida, ela também é influenciado pela idade da pessoa, e pela temperatura do ar ambiente, RUAS (2001) mostra que o metabolismo basal decresce constantemente com a idade e que um homem de vinte anos tem um metabolismo, em média, 125 maior que um de 45 anos com as mesmas características corporais, e ainda estudou o efeito da temperatura do ar na taxa de metabolismo e mostrou que em um ambiente a 10°C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas nuas em repouso. Esse autor afirma também, que o aumento do calor ambiente afeta diretamente o processo metabólico, pois aumenta a velocidade das reações químicas envolvidas.

A variável pessoal resistência térmica das roupas depende do tipo de vestimenta, do material e da espessura dos tecidos com que é confeccionada, a roupa utilizada pode ser

responsável por uma considerável resistência às trocas de calor entre a pele e o ambiente (LEITE, 2002).

## 2.5 Obtenção da taxa metabólica

A NR-15 do Ministério do Trabalho e do Emprego apresenta no anexo nº3 uma Tabela de metabolismo com quatro classes: repouso, leve, moderada e pesada. Esta Tabela estabelece para cada classe faixas de valores de metabolismo diferentes.

## 2.6 Índices de conforto térmico

Os ambientes térmicos quentes são caracterizados por condições ambientais que levam a ocorrência de estresse térmico. Um índice de estresse térmico é um valor único que integra o efeito dos parâmetros fundamentais em qualquer ambiente térmico que irá variar com a tensão térmica experimentada pelo indivíduo exposto, podendo ser usado, inclusive, para estabelecer os limites de segurança do trabalho (PARSONS, 2003).

Os primeiros estudos realizados foram no período de 1913 a 1923 por Houghten e Yaglou (1923 *apud* BATISTA, 2010) onde, definiram o índice de temperatura efetiva baseado na combinação da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido e da velocidade do vento, após quase uma década, Vernon e Warner “corrigiram” a temperatura efetiva substituindo a temperatura do bulbo seco pela de globo no intuito de considerar os efeitos da radiação. Em 1947 McAriel sugeriu o índice denominado de “taxa de suor estimada para 4 horas” (P4RS) com base na avaliação de respostas fisiológicas num período de 4 horas sob determinada condição térmica, após um ano, Missenard (1948 *apud* BATISTA, 2010) a partir de experiências similares à temperatura efetiva desenvolveu o índice de “temperatura resultante” (RT). Belding e Hatch (1955 *apud* MONTEIRO, 2007), utilizando os princípios físicos do balanço térmico, deu origem ao “índice de estresse por calor” (HSI). O índice de bulbo úmido e temperatura de globo (WBGT), desenvolvido por Yaglou e Minard (1958 *apud* OLIVEIRA et al., 2006), baseou-se na temperatura do bulbo seco e úmido, e na temperatura de globo negro, índice este largamente aceito e utilizado até os dias de hoje, inclusive pelas normas da ISO 7243 de 1982 e a norma regulamentadora 15 do ministério do trabalho e do emprego. Utilizando-se da sensação térmica experimentada pelas pessoas e da temperatura e umidade relativa do ar, Thom (1959 *apud* COSTA et al., 2009) criou um índice de temperatura e umidade (ITU ou THI), partindo-se do mesmo principio da sensação térmica, Webb (1960

*apud* MONTEIRO, 2007) correlacionou a temperatura, pressão e velocidade do ar com temperatura do ar saturado e parado para o desenvolvimento do índice intitulado de “equatorial de conforto” (EC). Em 1967 o arquiteto Baruch Givoni utilizou-se do calor perdido por evaporação parcial do suor, da vestimenta e da radiação para sugerir o “*index termal stress*”. Após 3 anos, Ole Fanger (SILVA, 2001) utilizando-se de modelos estatísticos, e todas as variáveis ambientais e pessoais desenvolveu o PMV/PPD “voto médio estimado e porcentagem de pessoas insatisfeitas” prevendo a sensação térmica de indivíduos em um determinado ambiente variando de muito frio (-3) a muito quente (+3) , bem como o percentual de pessoas termicamente insatisfeitas com o referida situação (método adotado até hoje pelas normas internacionais ISO 7730 e a ASHRAE 55, desenvolvida para auxílio no projeto de instalações de ar condicionado) . Correlacionando a temperatura do ar e o ponto de condensação Masterton e Richardson (1979 *apud* MONTEIRO, 2007) classificaram a sensação térmica através do “*Humidex*”. Na intenção de descrever as condições térmicas dos ambientes externos e internos obtidos a partir da equação de balanço térmico do corpo humano em condições de estabilidade, (HÖPPE, 1999) desenvolveu a “temperatura fisiológica equivalente”, utilizada em climas urbanos. Utilizando-se da velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar diversos pesquisadores definiram os seus respectivos índices térmicos: “*Thermal Sesation*” (GIVONI e NOGUCHI, 2000), “*New Wind Chill Temperature*” (BLUESTEIN e OSCZEVSKI, 2002) e “*Actual Sensation Vote*” (NIKOLOPOULO, 2004). Em 2007, Monteiro e Alucci, desenvolveram a “*Temperature of Equivalente Perception*” utilizando-se das variáveis ambientais: temperatura radiante, temperatura e umidade relativa do ar, e as pessoais: metabolismo e vestimenta.

Percebe-se, portanto, que a preocupação em integrar os efeitos das condições térmicas em um único valor que qualifica e quantifica sensação térmica originou-se há muito tempo atrás e ainda repercute até os dias atuais, todas com a finalidade exclusiva de melhorar a saúde, o bem estar e qualidade de vida da população em suas mais diversas condições climáticas e atividades, seja elas laborais ou pessoais.

## **2.7 Carga física de trabalho e carga cardiovascular**

O anexo IV da portaria nº 25 de 29 de dezembro de 1994 do Ministério do trabalho e do emprego classifica o esforço físico e as jornadas de trabalho prolongadas como um risco ocupacional do tipo ergonômico, podendo, por exemplo, ocasionar lesões musculares, e em pior caso, afetar a saúde cardiovascular do operador. Reforça autora (FERREIRA, 2006) que

durante a execução de atividades que requerem grandes esforços cardiovasculares, o fluxo sanguíneo para o coração pode ser prejudicado, ao ponto de ocorrer tonteira e vertigem, quando se reduz o fluxo sanguíneo para o cérebro.

(MCARDLE e KATCH, 2003) O batimento cardíaco pode ser um sinalizador, através do qual se pode avaliar o estresse corporal e o desgaste fisiológico de trabalho. Em estudos ergonômicos usam-se índices fisiológicos com o objetivo de determinar o limite da atividade física que um indivíduo pode exercer (ALVES et al., 2000).

Quemelo (2009) acrescenta que por meio de índices fisiológicos como a frequência cardíaca pode-se realizar estudos comparativos, visando encontrar os esforços físicos nos diferentes métodos ou sistemas de trabalho.

A frequência cardíaca no trabalho (APUD, 1989) pode ser usada para classificar o nível de atividade fisiológica do trabalhador sendo denominada de “carga física de trabalho”, variando de muito leve a extremamente pesada.

Apud (1989) sugeriu, para a verificação de esforços físicos, a utilização de um índice fisiológico denominado de “carga cardiovascular” (CCV), em valores percentuais, utilizando a frequência cardíaca nos horários de trabalho e de repouso e a frequência cardíaca máxima do indivíduo, não podendo a CCV ultrapassar 40% da frequência cardíaca de trabalho e a máxima do operador, pois caso contrário, o trabalhador estará realizando a atividade com sobrecarga física, havendo a necessidade para esse caso a reorganização dos horários de trabalho e repouso ou a redução das atividades exercidas a fim de evitar maiores riscos ocupacionais.

Lopes (2011) afirma que o aparecimento de sintomas de fadiga por sobrecarga física depende do esforço, da duração do trabalho e das condições individuais (saúde, nutrição e condicionamento) decorrentes da atividade. À medida que aumenta a fadiga, reduz-se o ritmo de trabalho, a atenção e a rapidez de raciocínio, tornando o trabalhador menos produtivo e mais sujeito aos erros e acidentes.

## **2.8 Termografia**

A termografia infravermelho é considerada uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva do campo de temperatura de uma superfície, a partir da imagem gerada pela radiação térmica no infravermelho, emitida pela superfície de diferentes tipos de materiais (CASTANEDO, 2005; MALDAGUE, 2001; TAVARES; 2006), pois, todo objeto acima de  $-273,15^{\circ}\text{C}$  (0K, zero absoluto, onde a agitação cinética molecular é nula) emite

radiação infravermelha de sua superfície, esta luz é invisível, entretanto, dependendo da sua intensidade, é percebida como calor pelo corpo humano por meio de termorreceptores.

O corpo humano brilha, com uma fonte de luz com intensidade cerca de 120W, porém invisível, os valores de energia estão correlacionados com a temperatura pela lei de STEPHAN-BOLTZMAN definida pela equação 1:

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Onde,  $W$  é o fluxo de energia radiante emitido por uma superfície de área,  $W/m^2$ ;  $\varepsilon$  a emissividade, de 0,98;  $\sigma$  constante de Stephan-Boltzman,  $5,6697 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ , e  $T$ , a temperatura absoluta cutânea,  $K$ .

A energia total emitida por uma superfície por unidade de tempo é diretamente proporcional à área do objeto à emissividade e à quarta potência ( $T^4$ ) de sua temperatura absoluta. Possibilitando fazer medições de temperatura a partir de medições da energia emitida.

A energia irradiada por um corpo depende da emissividade ( $\varepsilon$ ) de sua superfície. Utilizando-se da lei de PLANCK, o corpo humano tem emissividade infravermelha alta, maior do que 97,8% (ARCHER et al., 1984). Portanto, a medição da radiação infravermelha emitida pela pele pode ser convertida diretamente em valores de temperatura, independente da cor da pele.

A emissividade é uma medida da eficiência da radiação e absorção superficial. Assim, valores errôneos de emissividade podem modificar o registro da temperatura da pele. A emissividade da pele humana depende de vários parâmetros tais como temperatura, umidade, gordura e rugosidade (VILLASENOR-MORA et al., 2009).

### 2.8.1 Captação de imagens termográficas

A termografia por infravermelho consiste na captação de imagens de calor, não visíveis pelo olho humano. O processo é feito por meio de equipamentos que convertem a energia emitida pela superfície dos materiais em imagens térmicas. São constituídos basicamente de sensores ou detectores de radiação, amplificadores de sinais e um processador. A imagem é obtida pelos detectores sensíveis ao infravermelho, que captam a radiação térmica e a convertem em sinais elétricos. Esses sinais normalmente são baixos e proporcionais ao fluxo de radiação, por isso são amplificados, lidos e processados por meio de “softwares” e são transformados em imagens térmicas ou termogramas (SALES, 2008). Todas as imagens são acompanhadas de uma paleta de cores que indica as regiões mais

aquecidas pelas cores branca e vermelha, e as áreas mais frias pelas cores azuis e pretas. A avaliação é tanto quantitativa, pela diferença de temperatura média entre áreas pré-selecionadas, regiões de interesse (ROI), quanto qualitativa, pelo padrão de distribuição de temperatura cutânea em determinada região, denominado de mapa térmico (“*thermal mapping*”).

### 2.8.2 Monitoramento da temperatura da pele usando a termografia infravermelha

Para monitorar a temperatura da pele, diferentes métodos de avaliação têm sido utilizados, como por exemplo, os termômetros de mercúrio, químico e os diferentes tipos de termosensores de contato (LIM, 2008; LÓPEZ, 2008). Destaca-se o fato de todos estes métodos envolverem contato entre o equipamento e a pele. Este tipo de medição direta também serviu para os estudos de OKASAKI, 2002 e POOLE, 2003 onde verificaram alterações de temperatura associada à atividade física na pele. Esse tipo de aferição parte do princípio que a produção de calor no corpo ocorre de maneira uniforme. No entanto, as características individuais da vascularização superficial e o posicionamento assimétrico de veias dilatadas podem causar distorções nos resultados obtidos quando se utilizam sensores de contato na vizinhança destas veias (VAINER, 2005). Portanto, presume-se que as medidas de temperatura realizadas diretamente sobre a pele, podem levar a interpretações equivocadas devido à localização dos sensores na vizinhança de vasos quentes e também porque o aquecimento não ocorre de maneira uniforme ao longo da pele (KOBAYASHI, 1998; VAINER, 2005).

Entretanto, a termografia por infravermelho registra a distribuição da temperatura por meio de uma câmera termal que recebe e processa a radiação infravermelha emitida pela superfície do corpo (VAINER, 2005), além disso, é um tipo de termômetro onde o contato com a pele não é necessário (MARTINS, 2011), e que é possível visualizar não somente uma região corporal de interesse específica (análise local), como também uma visão ampla de todo o processo de termorregulação atuante, possibilitando uma visão global. Uma das principais vantagens dessa técnica corresponde ao fato que a leitura da temperatura da pele não requer contato físico com o avaliado (MARTINS, 2011), mantendo, assim, seus movimentos de forma natural em condição de trabalho.

A termografia infravermelha pode ser considerada uma alternativa metodológica emergente nos estudos que envolvem a análise da temperatura da pele (VARGAS, 2009;



JIANG, 2005). Trata-se de uma técnica que estende a visão humana através do espectro infravermelho e permite visualizar a temperatura da superfície corporal em tempo real com alta sensibilidade, até 0,025°C, e precisão, chegando a 1%, de forma não invasiva e sem contato físico com o avaliado (MARTINS, 2011). É importante destacar que essa técnica quantifica a temperatura irradiada da pele; situação diferente de um termossensor de contato, que capta temperatura por condução a temperatura, não somente da pele como também a temperatura corporal em tecidos mais profundos. Essas diferenças nas formas físicas de registro da temperatura são importantes para compreender os complexos sistemas de perda de calor que são atuantes durante, após o exercício (HILDEBRANDT, 2010) ou ao longo do dia, bem como a importância para análise e pesquisa em fisiologia na produção e dissipação de calor (FERREIRA, 2008; VAINER, 2005).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área de estudo**

Esta pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas - LIMA, na Universidade Federal do Ceará, campus do Pici em Fortaleza, no estado do Ceará, situada entre os paralelos de 3°44'45,72" e 3°44'48,67" de latitude sul da linha do equador e os meridianos de 38°34'51,05" e 38°34'53,52" a oeste de Greenwich, à 27 metros do nível do mar. A Figura 4 ilustra a área experimental.

Figura 4 – Área Experimental Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas - LIMA



Fonte: autor.

#### **3.2 Classificação climática da área de estudo**

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw' – tropical chuvoso; quente e úmido, caracterizado por temperaturas médias mensais superiores a 18°C e mais ou menos constantes no decorrer do ano, com amplitude térmica inferior a 5°C.(AQUINO, 2007).

#### **3.3 Caracterização do solo**

O solo onde foi realizado o estudo é classificado segundo a metodologia da EMBRAPA (1999) como um Argissolo Vermelho Amarelo, quanto à classe textural foi classificado como franco arenoso, com aproximadamente 10,60% de argila, 82,90% de areia, 6,40% de silte.

### 3.4 Caracterização do trator

Todas as operações foram realizadas com um trator da marca VALTRA modelo BM-125I intercooler 4x2 TDA, com potência de 91,94 kW (125 CV) e, o seu posto de operação é do tipo plataformado, pneus radiais da marca Goodyear 460/85R34 (traseiro) e 460/85R24 (dianteiro), tipo de direção hidráulica, acionamento dos freios hidráulicos, com as alavancas na posição lateral, uma capota com 1,30m de largura e 1,40m de comprimento a distância entre o assento e a capota é 1,00 m de altura. A Figura 5 apresenta o trator na área experimental.

Figura 5 – Vista lateral do Trator da marca VALTRA utilizado no experimento



Fonte: autor.

### 3.5 Operações agrícolas

Foram realizadas duas operações agrícolas distintas de preparo secundário do solo, a subsolagem e a aração, é possível visualizar na Tabela 1 a descrição das atividades executadas nas operações ao final de cada talhão. O conjunto mecanizado se deslocou no sentido norte-sul e sul-norte utilizando o sistema de dentro para fora considerando a entrada no centro do terreno, a Figura 6 mostra uma imagem de satélite da área experimental e o croqui do sistema de dentro para fora.

Tabela 1 – Descrição das atividades executadas nas operações de subsolagem e aração

Operação/atividade	Subsolagem	Aração
Manobra de cabeceira: Acionamento do sistema hidráulico de 3 pontos e troca de marcha.		X
Acionamento da alavanca de controle hidráulico.	X	

Fonte: autor.

Figura 6 – Croqui do sistema de dentro para fora sobre imagem de satélite da área experimental



Fonte: Google Earth adaptado pelo autor.

### 3.6 Características dos implementos

#### 3.6.1 Subsolador

Foi utilizado um subsolador MARCHESAN AST/MATIC 450 com uma largura de 1,80m, possuindo 5 hastes com profundidade máxima de trabalho de 45,0 cm espaçadas em 36,0 cm, sendo acoplado na barra de tração, de acordo com a Figura 7.

Figura 7 – Vista lateral do subsolador marca MARCHESAN AST/MATIC 450 utilizado



Fonte: Autor.

### 3.6.2 Arado

Foi utilizado um arado de aiveca helicoidal da marca Marchesan AAH, com 3 aivecas, sendo o acoplamento desse implemento montado no sistema hidráulico de 3 pontos. A Figura 8 ilustra o arado utilizado na realização da operação.



Figura 8 – Vista lateral do arado de aiveca helicoidal marca MARCHESAN AAH utilizado



Fonte: Autor.

### 3.7 Condições de operação e horários trabalhados

O experimento foi realizado entre os meses de janeiro e fevereiro de 2013, em 4 condições de operação (tratamentos) em 3 dias (repetições) cada, resultando em 12 dias de experimento. Os tratamentos foram:

- T1 - operação de subsolagem, com trator com capota;
- T2 - operação de aração, com trator com capota;
- T3 - operação de aração, com trator sem capota;
- T4 - operação de subsolagem, com trator sem capota.

Os horários de trabalho foram das 6 às 7, das 12 às 13, das 16 às 17 e das 19 às 20 horas. A Figura 9 e 10 mostra, respectivamente, a vista lateral do trator com e sem capota.

Figura 9 – Vista lateral com o trator com a capota utilizado



Fonte: Autor.

Figura 10 – Vista lateral com o trator sem a capota utilizado



Fonte: Autor.



### 3.8 Características físicas do operador

Participou deste estudo um operador voluntário saudável, que não faz uso de qualquer medicamento, com idade de 26 anos, massa de 117 Kg, 1,81 m de estatura, fisicamente ativo, com coloração da pele branca. O operador pode ser visualizado pela Figura 11.

Figura 111 – Vista frontal do operador



Fonte: Autor.

### 3.9 Índice de temperatura e umidade

Para a avaliação da sensação térmica o método utilizado foi o índice de temperatura e umidade (ITU ou THI) desenvolvido por Thom (1959 *apud* COSTA et al., 2009). O ITU pode ser definida pela Equação 2:

$$ITU = Ta - 0,55 \cdot (1 - UR) \cdot (Ta - 14) \quad (2)$$

Em que:

$ITU$  – Índice de temperatura e umidade, °C;

$Ta$  – Temperatura do ar, em °C;



*UR* – Umidade relativa do ar, em fração decimal;

Segundo Thom (1959 *apud* COSTA et al., 2009) os valores encontrados acima de 25, são considerados pela maioria como desconfortável, enquanto que os valores entre 15 e 20 são aceitos pela maioria como confortáveis. Na Tabela 2 são mostradas as faixas de conforto térmico em função do valor do ITU:

Tabela 2 – Índice de temperatura e umidade (ITU)

Faixa (°C)	Estresse térmico
<20	Frio
15-20	Conforto
20-25	Pouco desconforto
>25	Desconforto

Fonte: Thom (1959) modificado por Costa et al., (2009).

Foi utilizado o Data Logger da marca HOBO modelo 10-003, conforme Figura 12, para medição da temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação.

Figura 122 – Data logger HOBO 10-003



Fonte: Autor.

### 3.10 NR-15 anexo 3 - índice de bulbo úmido e termômetro de globo

Esta norma brasileira é a décima quinta das trinta e seis Normas Regulamentadoras contidas em Portarias do Ministério do Trabalho, que tem como objetivo

regulamentar o texto da Lei nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977. NR-15 estabelece os agentes passíveis de classificação como insalubres e apresenta as atividades e os limites de tolerância destes agentes.

O agente calor está definido na Norma Regulamentadora NR-15, no anexo 3. Os princípios e definições do método para medição do “*estresse*” de calor a que um trabalhador está exposto são, em particular, da produção de calor interna do corpo, como resultado de uma atividade física, da presença de fonte de calor e das características do meio onde ocorre a transferência de calor, entre a atmosfera e o corpo.

As Equações 3 e 4 referem-se ao método do estresse de calor denominado de “índice de bulbo úmido e temperatura de globo” (IBUTG) para ambientes internos e externos sem carga solar e ambientes externos com carga solar.

Ambientes internos e externos sem carga solar:

$$IBUTG = 0,7 * t_{bn} + 0,3 * t_g \quad (3)$$

Ambientes externos com carga solar:

$$IBUTG = 0,7 * t_{bn} + 0,1 * t_{bs} + 0,2 * t_g \quad (4)$$

Em que:

$IBUTG$  – Índice de bulbo úmido termômetro de globo, °C;

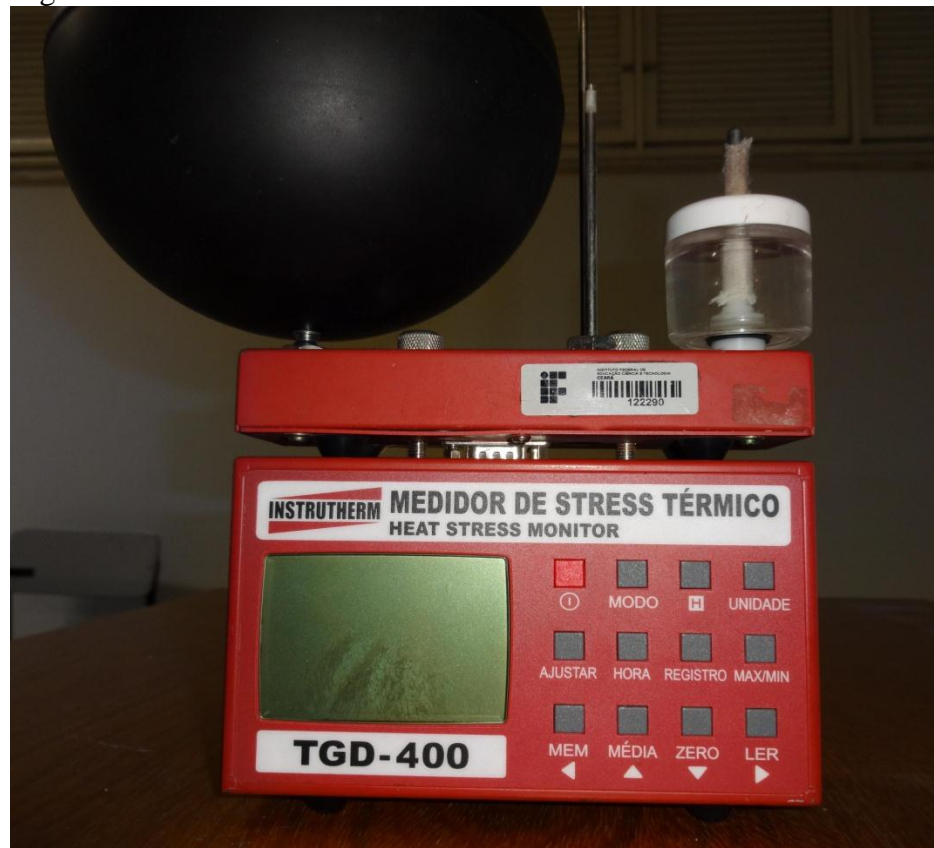
$t_{bn}$  – Temperatura do bulbo úmido natural, °C;

$t_{bs}$  – Temperatura de bulbo seco, °C;

$t_g$  - Temperatura do globo, °C;

O aparelho usado foi o medidor de estresse térmico TGD-400 (Figura 13). As medições foram efetuadas no local onde permanece o trabalhador, na plataforma de operação, os horários das coletas foram as 7, 13, 17 e às 20h. Os valores do IBUTG são então confrontados com o tipo de atividade e comparados com limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho e descanso (min). Os limites de tolerância para o índice IBUTG são mostrados na Tabela 3.

Figura 13 – Medidor de estresse térmico TGD-400



Fonte: Autor.

Tabela 3 – Limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido do trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Fonte: Portaria nº3.214/78 – NR-15 – Anexo nº3 – Quadro nº1.

A determinação do tipo de atividade (leve, moderada ou pesada) é feita considerando-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Taxa de metabolismo por tipo de atividade

<b>TIPO DE ATIVIDADE</b>	<b>Kcal/h</b>
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex: datilografia)	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex: dirigir)	150
De pé, trabalho leve, em máquinas ou bancada, principalmente com os braços	150
TRABALHO MODERADO	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
De pé, trabalho leve, em máquinas ou bancada, principalmente com os braços	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar e empurrar	300
TRABALHO PESADO	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar peso (ex: remoção com pá)	440
Trabalho fatigante	550

Fonte: Portaria nº3. 214/78 – NR15 – Anexo nº3 – Quadro nº3.

### 3.11 Carga física de trabalho

Para a carga física de trabalho, foi utilizado o método proposto por Apud (1989), a carga cardiovascular (CCV), foi determinada com base na frequência cardíaca de repouso (FCR), na frequência cardíaca do operador durante o trabalho realizado (FCT), e na idade do operador.

A CCV é expressa em valores percentuais e é definida pela Equação 5:

$$CCV = \frac{(FCT - FCR)}{(FCM - FCR)} \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

CCV - Carga cardiovascular, em %;

FCT – Frequência cardíaca trabalhando, em bpm;

FCR – Frequência cardíaca em repouso, bpm;

FCM – Frequência cardíaca máxima (220 – idade), bpm;

A frequência cardíaca limite (FCL) em bpm, para a carga cardiovascular de 40% foi obtida pela seguinte equação 6:

$$FCL = 0,40 \cdot (FCM - FCR) + FCR \quad (6)$$

O tempo de pausa para cada hora de trabalho foi obtido por intermédio da carga cardiovascular quando esta fosse superior a 40% da carga obtida em repouso o tempo de repouso pode ser determinado pela equação (7):

$$Tr = \frac{[Ht(FCT-FCL)]}{(FCT-FCR)} \quad (7)$$

Onde:

*Tr* – Tempo de repouso, em minutos;

*Ht* – Duração de trabalho, em minutos.

Segundo Apud (1999), um trabalho que exige frequência cardíaca média inferior a 75 batimentos por minuto deve ser classificado como “muito leve”, de 75 a 100 como “leve”, de 101 a 125 como “moderadamente pesado”, de 126 a 150 como “pesado”, de 151 a 175 como “pesadíssimo” e acima de 175 ”extremamente pesado” como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da carga física de trabalho através da frequência cardíaca de trabalho

<b>CARGA FÍSICA DE TRABALHO</b>	<b>FREQUÊNCIA CARDÍACA EM BPM</b>
Muito leve	<75
Leve	75-100
Moderadamente pesada	100-125
Pesada	125-150
Pesadíssima	150-175
Extremamente pesada	>175

Fonte: Couto (1995).

A coleta de dados da frequência cardíaca será feita em uma frequência de 10 minutos durante toda a sua jornada de trabalho, através do medidor de frequência cardíaca da polar, modelo T31-CODED, composto por um receptor digital, uma fita elástica e um transmissor de sensores, colocados na altura do peito, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Medidor de frequência cardíaca da polar, modelo T31-CODED



Fonte: Autor.

### 3.12 Termografia

#### 3.12.1 Preparo do operador

Para o tratamento termográfico do operador, foram orientadas as seguintes precauções:

- Evitar qualquer atividade física que pudesse afetar a temperatura do corpo e o fluxo de sangue nos locais registrados por pelo menos uma hora antes de realizar a operação;
- Evitar o consumo de bebidas alcoólicas, café ou chá previamente a operação;
- Evitar tomar sol antes da operação;
- Evitar fumar cigarro previamente a operação;
- Evitar o uso de protetor solar e/ou outros cosméticos, como creme, gel ou spray;
- Evitar expor-se a água muito quente e banhar-se antes da operação;
- Evitar o uso de roupas apertadas, evitando-se qualquer aperto sobre a pele;
- Evitar o uso de anéis, brincos, pulseiras, correntes durante a operação;
- Evitar ter relações sexuais nas últimas 12 horas;

- Evitar o uso de medicamentos;
- Evitar alimentar-se duas horas antes do experimento.

### 3.12.2 Termovisor

Foram utilizados termovisores (FLIR i3 Compact Thermal Imaging InfraRed Camera ) com uma resolução de 60x60 pixels (3600 pixels) com uma sensibilidade térmica menor que 0,15°C, com uma precisão variando de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , com faixa de temperatura de -20 a 250°C, capacidade de armazenamento de mais de 5000 imagens, alta resolução em LCD de 2,8”, com emissividade ajustável de 0,1, a 1,0, como pode ser observado na Figura 15.

O valor da emissividade foi ajustado para 0,98 (BRIOSCHI, 2003), referente ao da pele humana.

Figura 15 – Termovisores FLIR série i3



Fonte: Autor.

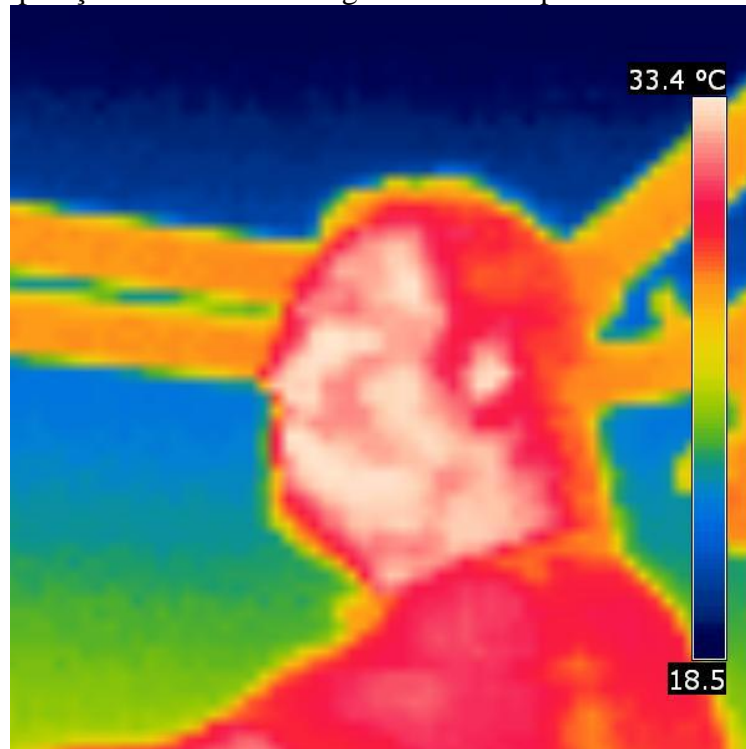
### 3.12.3 Captação de imagens termográficas

Na etapa de captação e registro das imagens termográficas do operador em condições de operação e horários estabelecidos (ver item 3.7), foi-se utilizado o termovisor FLIR série i (item 3.12.2) e foram captadas com ênfase nas três regiões distintas (1 da face do

operador, 1 do braço e do dorso da mão e 1 da perna esquerda) a cada 10 minutos, a uma distância de  $1,5 \pm 0,5$ m da região de interesse do corpo do operador, ao final do estudo foram obtidos um total de 1008 imagens termográficas.

Devido a quantidade elevadas de imagens termográficas geradas neste estudo (1008 imagens), as três imagens (Figura 16, 17 e 18) foram apresentadas como modelo para as demais, conforme ênfase na superfícies das regiões de interesse: o interior da plataforma de operação com zoom no rosto do operador (Figura 16); o braço e a mão esquerda do operador (Figura 17); e a perna do operador (Figura 18).

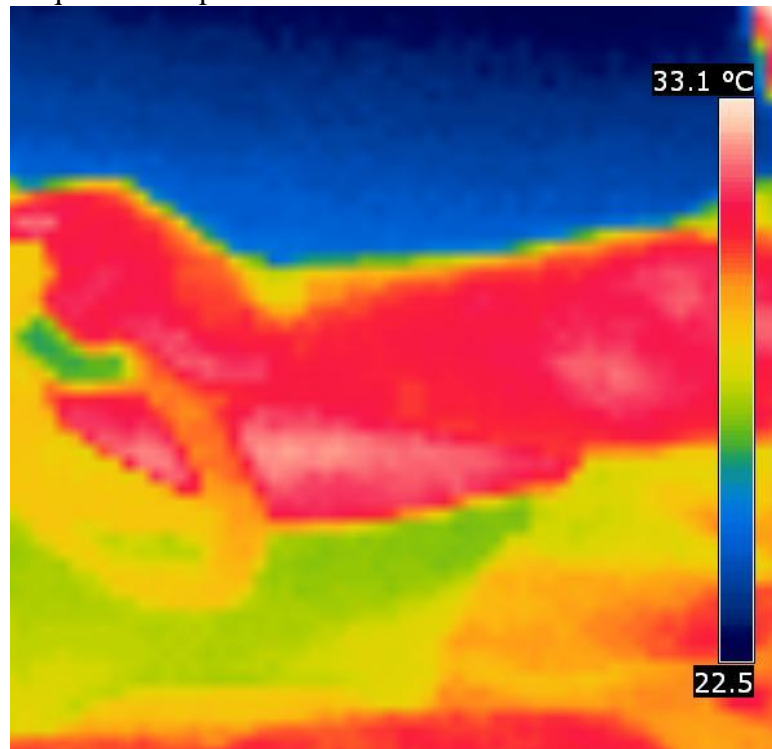
Figura 16 – Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região facial do operador



Fonte: Autor.

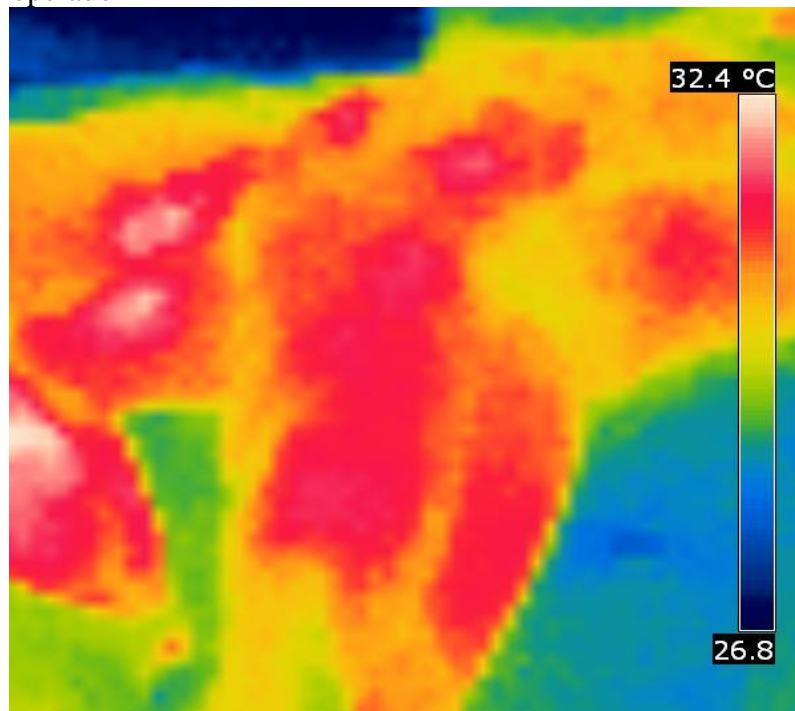


Figura 17 – Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região da mão e do braço esquerdo do operador



Fonte: Autor.

Figura 18 – Imagem termográfica da plataforma de operação com ênfase na região da perna esquerda do operador



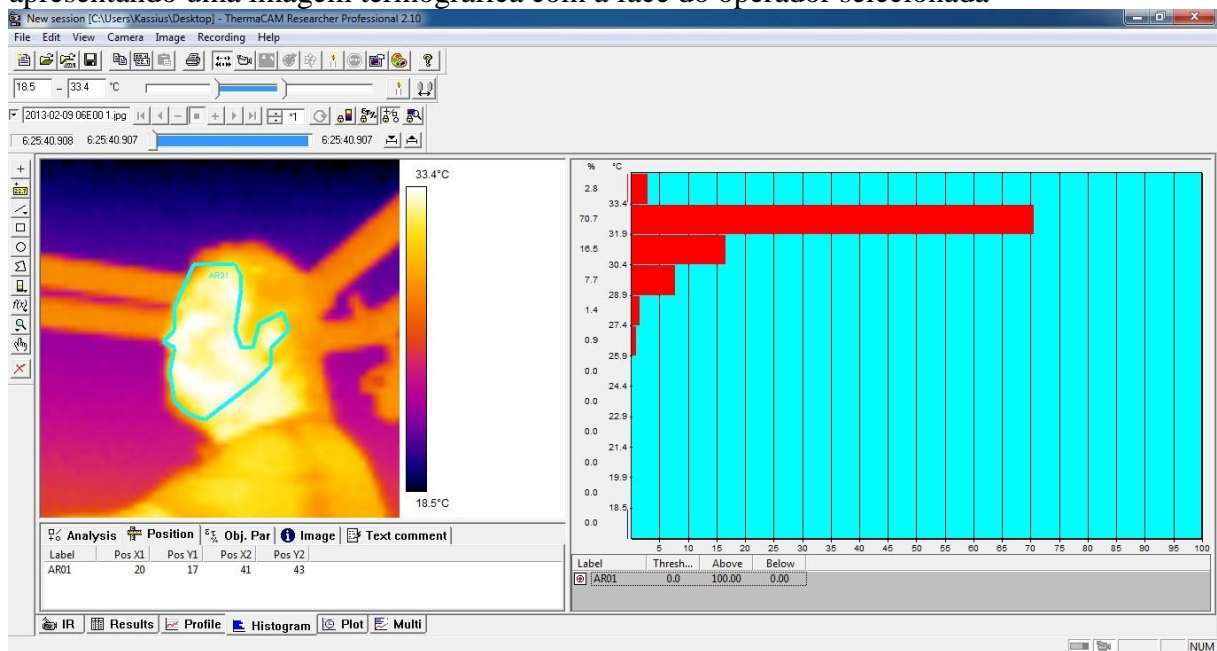
Fonte: Autor.

### 3.12.4 Tratamento dos dados

Na etapa de tratamento de dados às imagens foram: transferidas, organizadas e pós-processadas eletronicamente utilizando-se o programa computacional Researcher 2.9, nos quais se obteve as temperaturas médias da pele em regiões do corpo analisadas, através da seleção da área interessada.

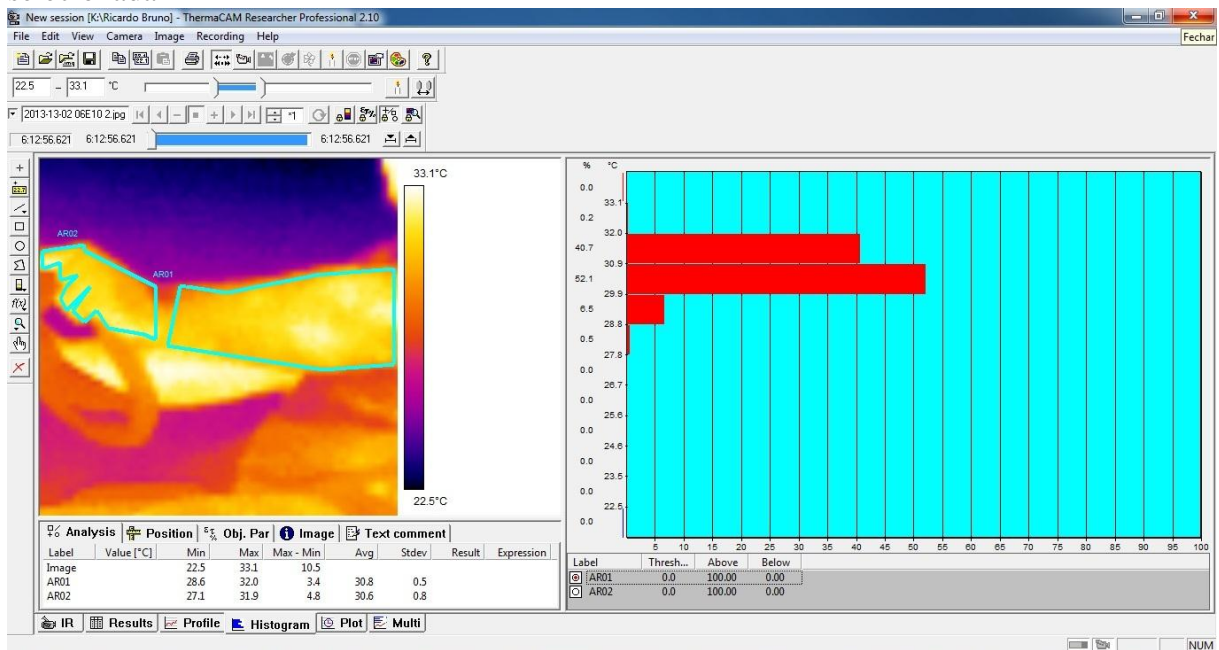
Nas Figuras 19, 20 e 21 foram apresentados à interface do programa computacional utilizado, com as imagens termográficas em diferentes regiões do corpo, respectivamente: face do operador, mão e braço; e perna esquerda. Em cada imagem foi extraída a temperatura média de todo membro.

Figura 19 – Interface do “software” ThermaCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com a face do operador selecionada



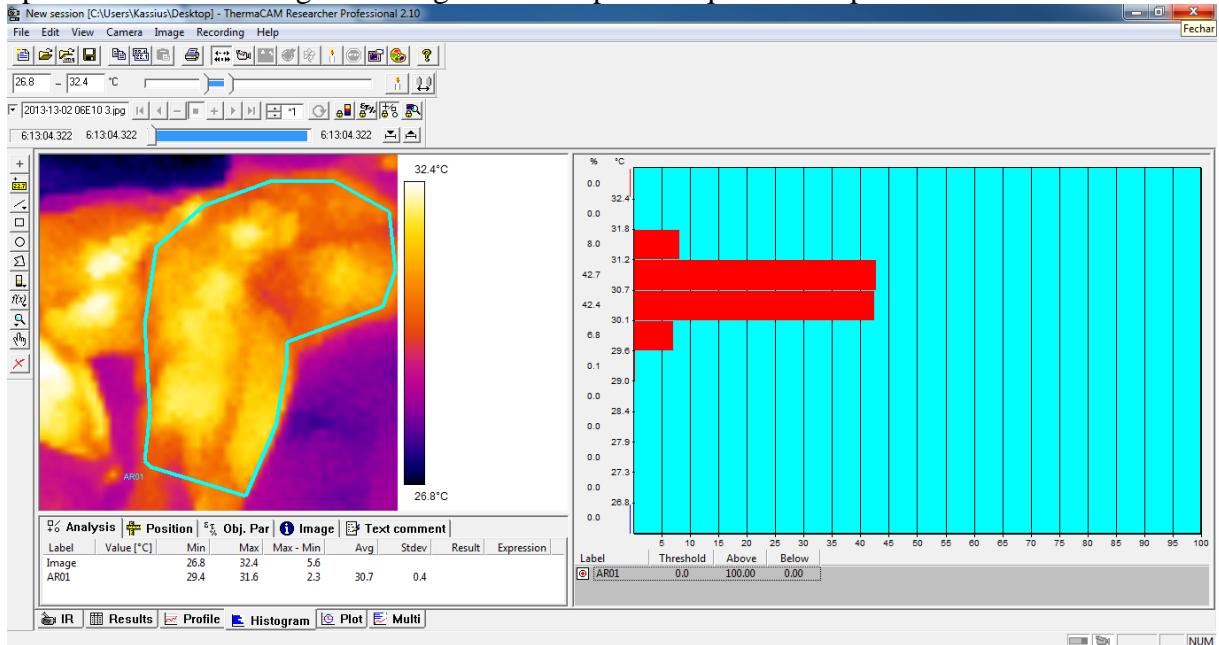
Fonte: Autor.

Figura 20 – Interface do “software” ThermoCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com a mão e o braço esquerdo do operador selecionada



Fonte: Autor.

Figura 21 – Interface do “software” ThermoCAM Reseaecher PROFESSIONAL 2.10 apresentando uma imagem termográfica com perna esquerda do operador selecionada



Fonte: Autor.

### 3.13 Metodologia estatística

As análises das curvas de regressão foram realizadas utilizando-se as variáveis meteorológicas ou fisiológicas em função dos horários trabalhados, onde foram registradas em planilha eletrônica, posteriormente foi verificado se a função de regressão é adequada aos dados através da análise de resíduos utilizando o *software* Minitab versão 15. O delineamento experimental utilizado foi o DIC (delineamento inteiramente casualizado). Foi feita a análise de variância (ANOVA) pelo teste f e posteriormente o teste de médias da mínima diferença significativa (MDS) a 1 % de significância. Os dados foram analisados através o software “ASSISTAT 7.6 beta”

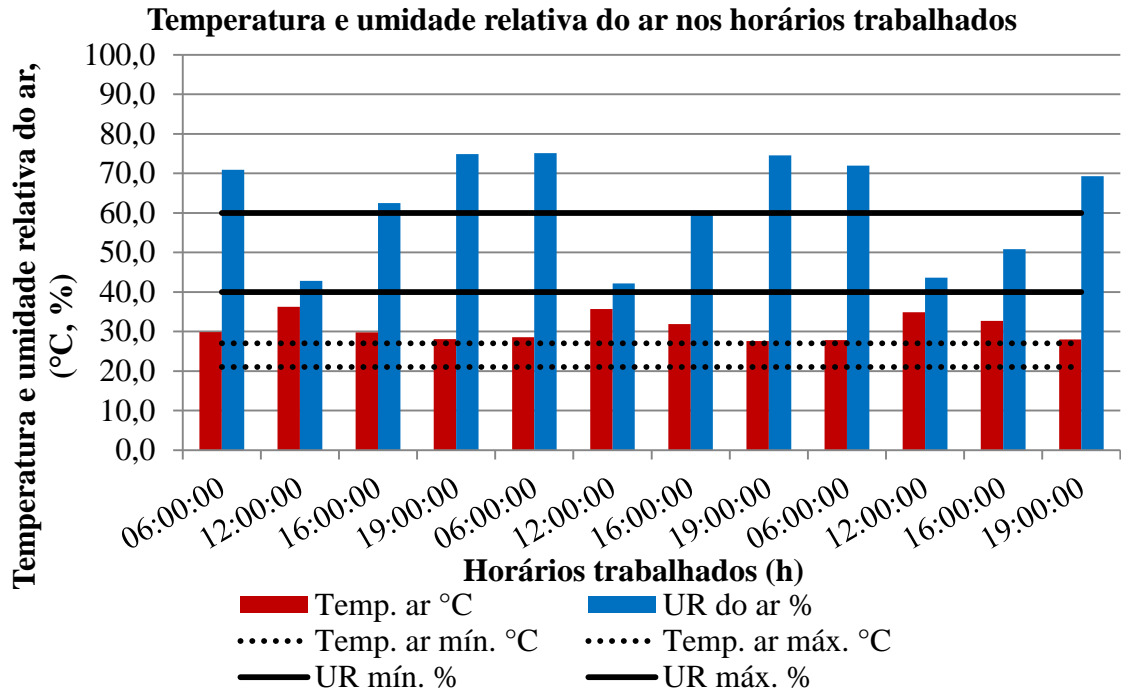
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Zonas de conforto térmico e índice de temperatura e umidade**

Foi verificado que de acordo com as Figuras 22, 23, 24 e 25 a temperatura do ar no interior da plataforma de operação em todas as condições de operação manteve-se fora da zona de conforto térmico sugerido por Dul e Weerdmeester (1998) e que temperatura do ar acima de 30°C pode causar riscos à saúde do operador, para estes casos sugere-se diminuir o tempo de exposição do trabalhador ao ambiente para que o organismo possa eliminar o excesso de carga térmica e restabelecer seu equilíbrio. Foi verificado também que nos tratamentos estudados, não houve variação brusca de temperatura ( $\pm 4^\circ\text{C}$ ), onde, segundo Gallois (2002) variações bruscas de temperatura ( $\pm 4^\circ\text{C}$ ) aumentam os riscos a acidentes de trabalho e lesões térmicas em virtude da queda de capacidade física e mental do indivíduo provocada por essas variações.

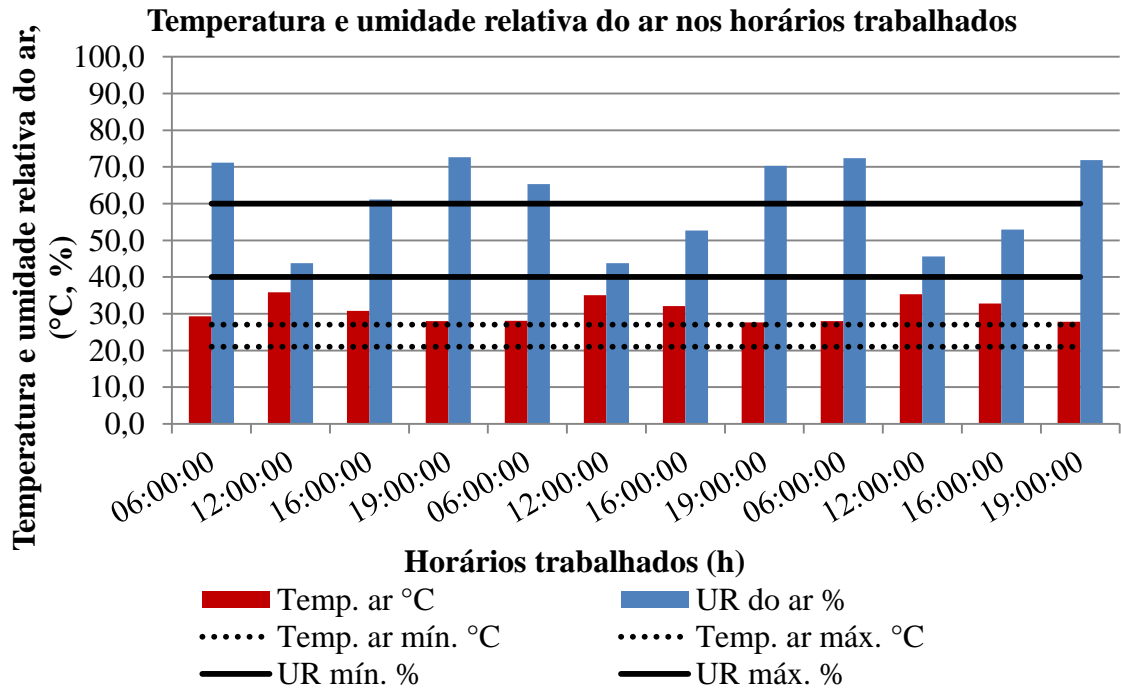
Na operação de aração, com o trator com capota, a umidade relativa do ar média no interior da plataforma de operação manteve-se dentro da zona de conforto sugerido por Alves (2002) apenas nos horários das 12 às 13h para todos os dias trabalhados e 16 às 17h para um dia trabalhado, para a operação de subsolagem, com o trator com capota, apenas nos horários das 12 às 13 para todos os dias trabalhados, e 16 às 17h para dois dias trabalhados, para a operação de subsolagem, com o trator sem capota, apenas nos horários das 12 às 13h para dois dias trabalhados, e 16 às 17h para todos os dias trabalhados, para a operação de subsolagem, com o trator sem capota, apenas nos horário das 12 às 13h para um dia trabalhado, e 16 às 17h para todos os dias trabalhados, as variações da umidade relativa do ar podem ser visualizadas nas Figuras 22, 23, 24 e 25.

Figura 22 – Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando subsolagem com o trator com capota



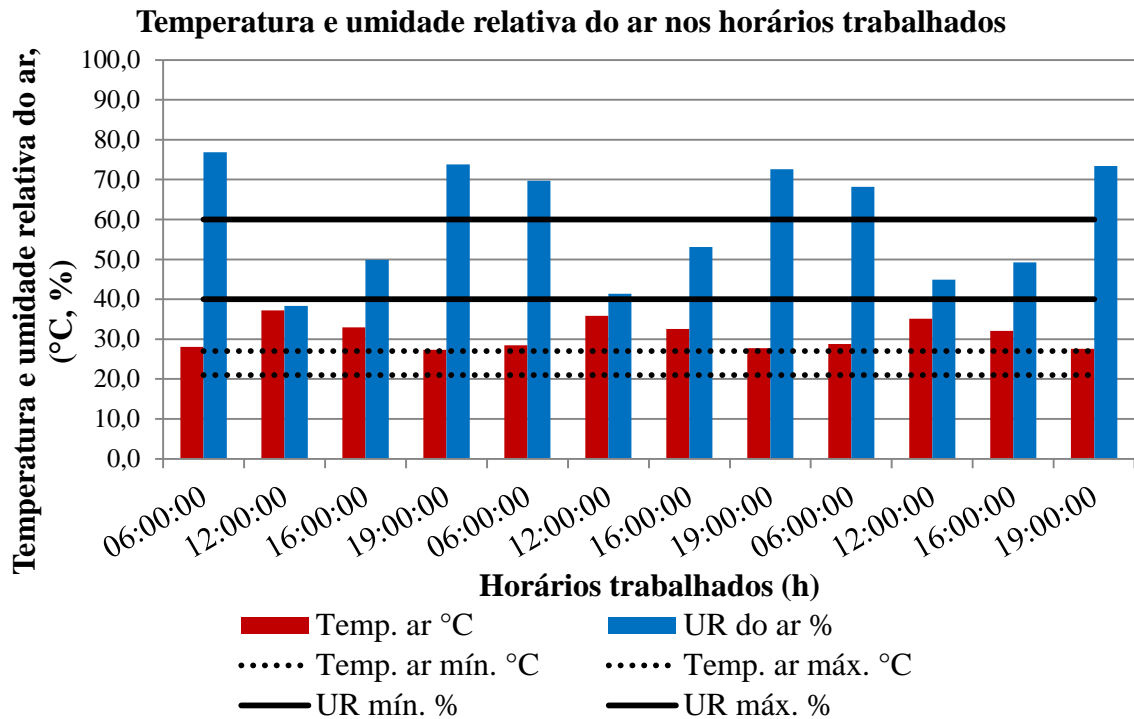
Fonte: Autor.

Figura 23 – Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando aração com o trator com capota



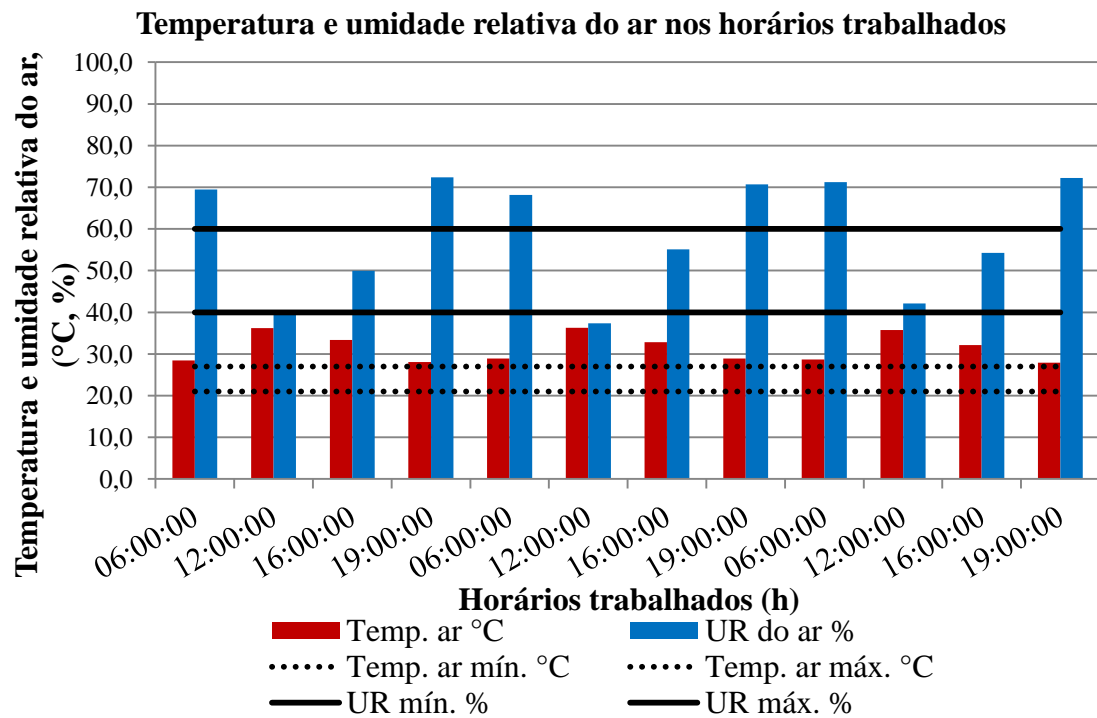
Fonte: Autor.

Figura 24 – Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando aração com o trator sem capota



Fonte: Autor.

Figura 25 – Temperatura e umidade relativa do ar no interior da plataforma de operação, realizando subsolagem com o trator sem capota



Fonte: Autor.

Foi observado ainda que a temperatura e a umidade relativa se comportaram de forma inversa ao longo do dia, porém com amplitudes semelhantes, o que dificultou ainda

mais o estabelecimento das variáveis dentro da zona de conforto térmico. VAREJÃO-SILVA (2005) relatou que a alteração da umidade relativa do ar pode advir exclusivamente de alteração na temperatura ambiente, ou seja, a umidade é dependente da temperatura. Como consequência desse efeito, deve-se esperar que a umidade relativa diminua, a partir do nascimento do sol, atingindo o valor mínimo das horas mais quentes do dia, voltando a aumentar em seguida, apenas por efeito térmico.

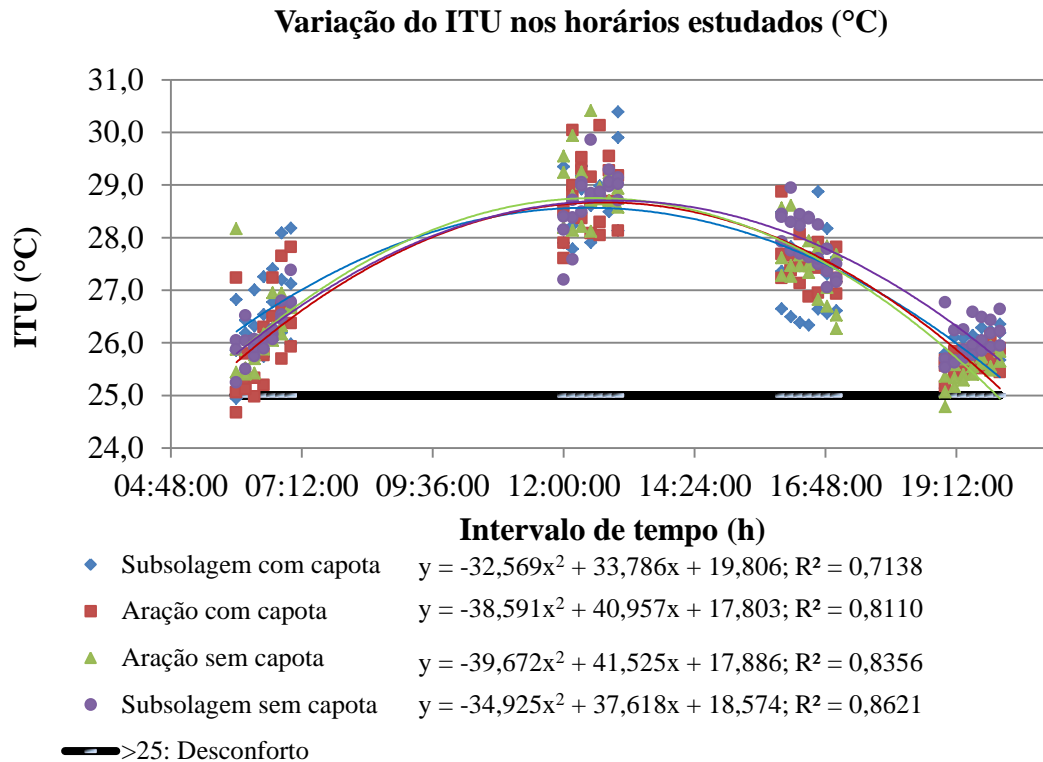
Como resultado, o interior da plataforma de operação permaneceu quente e úmido, causando uma sensação térmica desagradável, surgindo sinais de fadiga no corpo, podendo ser não somente desconfortável, mas, também perigoso. Reforça Repelli (1998), que a região onde o estudo foi submetido além de estar localizada em uma região tropical está próxima ao oceano, onde o clima é tropical úmido com temperaturas do ar elevada durante todo o ano, com pouca variação sazonal, onde em certos dias, são extremamente desconfortáveis para as atividades humanas. O mesmo autor salienta ainda que a população da cidade reclama deste clima desconfortável, particularmente no início do verão, quando se tem uma sensação de que temperatura do ar aumentou muito, fato este provavelmente justificado devido à diminuição da velocidade do vento nessa época do ano.

As variações do ITU em todas as condições de operação estão detalhadas na Figura 26, onde, de acordo com a linha de tendência os valores médios do ITU permaneceram acima de 25°C, estando essas temperaturas enquadradas na sensação térmica considerada com “desconfortável” para a maioria das pessoas. Em contra partida, para essa mesma época do ano, Oliveira et al. (2006) observaram que no sudeste, os valores de ITU médios proporcionaram menores riscos de desconforto térmico devido aos menores valores de temperatura e umidade relativa do ar, indicando ser o período pela qual os trabalhadores rurais podem obter maiores rendimentos no desenvolvimento de atividades de campo, além de reduzir os riscos de acidente causado devido o desconforto térmico. Relatou também que em condições ambientais muito quentes, pode trazer danos a saúde dos trabalhadores rurais.

Ainda com relação à Figura 26, foi verificado que para todas as condições de operação que a função de regressão é adequada aos dados, fato detalhado através do  $R^2$  e confirmado através do gráfico da análise de resíduos (apêndice A Figura 41-44), evidenciando que os mesmos se distribuem aleatoriamente em torno da média zero.



Figura 26 – Variação do ITU nos horários trabalhados, por condição de operação, e classificação do estresse calórico



Fonte: Autor.

#### 4.2 Insalubridades à exposição ao calor

Na Tabela 6 estão apresentados os valores do IBUTG durante a jornada de trabalho em todas as condições de operações do preparo secundário do solo, bem como a classificação do tipo de atividade, o IBUTG para o trabalho contínuo (sem interrupção) de acordo com a NR-15 e o tempo de permanência da atividade.

Tabela 6 – Valores médios de IBUTG durante a jornada de trabalho, por atividade, o IBUTG limite para trabalho contínuo e o tempo de permanência

CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO	HORÁRIO (h)	IBUTG (°C)				CLASS. TABELA 2	IBUTG (°C) PARA TRABALHO CONTÍNUO	TDP (h)
		R1	R2	R3	MÉDIA			
SUBSOLAGEM COM CAPOTA	07:00:00	26,63	26,24	27,10	26,65	LEVE	ATÉ 30	1
	13:00:00	28,81	28,07	28,50	28,46	LEVE	ATÉ 30	1
	17:00:00	25,29	26,22	27,20	26,24	LEVE	ATÉ 30	1
	20:00:00	24,99	25,44	26,20	25,54	LEVE	ATÉ 30	1
ARAÇÃO COM CAPOTA	07:00:00	27,30	27,30	26,00	26,87	LEVE	ATÉ 30	1
	13:00:00	28,70	28,90	28,40	28,67	LEVE	ATÉ 30	1
	17:00:00	27,00	28,40	28,10	27,83	LEVE	ATÉ 30	1
	20:00:00	26,40	25,60	25,90	25,97	LEVE	ATÉ 30	1

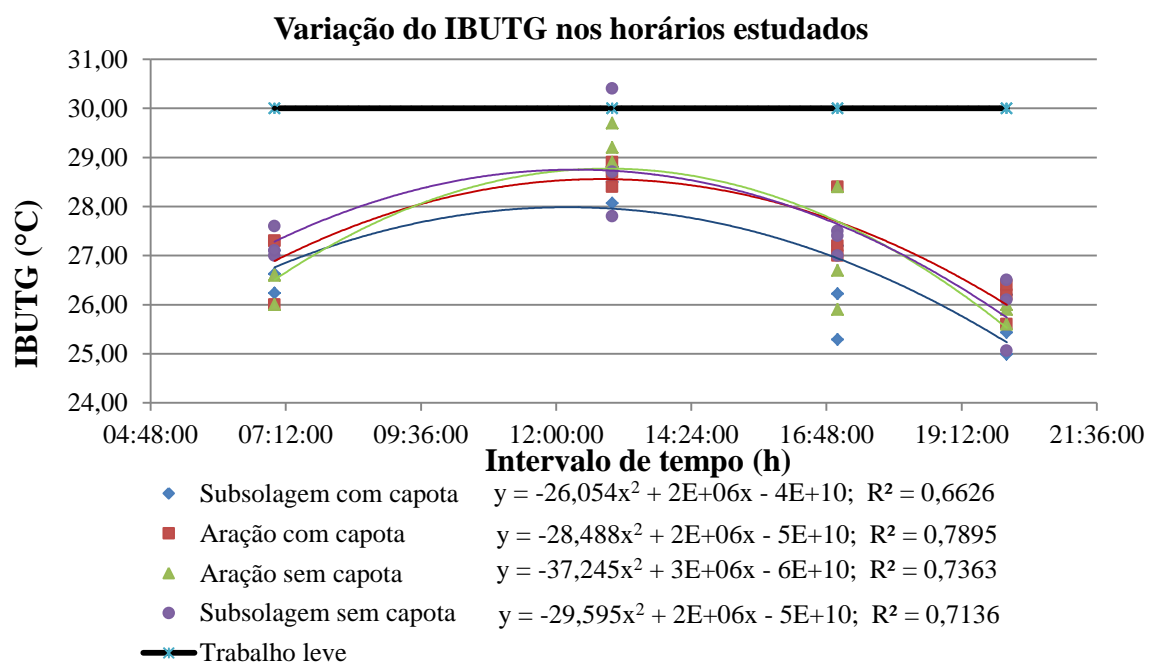
	07:00:00	26,00	26,60	26,60	26,40	LEVE	ATÉ 30	1
ARAÇÃO SEM CAPOTA	13:00:00	29,70	28,90	29,20	29,27	LEVE	ATÉ 30	1
	17:00:00	28,40	26,70	25,90	27,00	LEVE	ATÉ 30	1
	20:00:00	25,90	26,00	25,60	25,83	LEVE	ATÉ 30	1
	07:00:00	27,60	27,00	27,10	27,23	LEVE	ATÉ 30	1
SUBSOLAGEM SEM CAPOTA	13:00:00	27,80	30,40	23,91	27,37	LEVE	ATÉ 30	1
	17:00:00	27,50	27,40	24,20	26,37	LEVE	ATÉ 30	1
	20:00:00	26,10	26,50	24,48	25,69	LEVE	ATÉ 30	1

Fonte: Autor.

Foi visualizado que para todos os horários das condições de operação os valores médios do IBUTG foram menores que 30°C, não ultrapassando os valores estabelecidos para o tipo de atividade “leve” de acordo com a NR-15. Não havendo, dessa forma, a necessidade de descanso a cada hora de trabalho.

De acordo com as curvas de regressão visualizadas da Figura 27, para todas as atividades estudadas, mesmo nos horários mais críticos do dia, os valores do IBUTG tendem a permanecer menores que 30°C, em Minas Gerais um estudo semelhante (GOSLING, 2008) realizando aração em um trator da marca Valtra 68 ES relatou um IBUTG de 30,2°C, resultando em sobrecarga térmica para o nível de atividade exercida, vale ressaltar ainda que o trator Valtra 68 ES é um modelo antigo que não possui proteção contra intempéries e irradiação de energia nas pernas.

Figura 27 – Variação do IBUTG nos horários trabalhados, por condição de operação, e classificação da atividade de acordo com a NR-15



Fonte: Autor.

Concordando com os resultados do experimento relatado, (SANTOS et al., 2004) avaliaram o conforto térmico em tratores agrícolas sem cabine e concluíram que as atividades realizadas pelos operadores eram insalubres, em função do calor ter sido superior ao limite máximo permitido, constatando-se ainda um aumento da temperatura devido ao aquecimento proveniente do motor da máquina, não utilização de protetores solar, má ou nenhuma programação de horários de almoço e descanso, além da utilização de tipos errados de vestimenta. Esses fatores, além de comprometer a saúde dos operadores, reduzem o rendimento das operações.

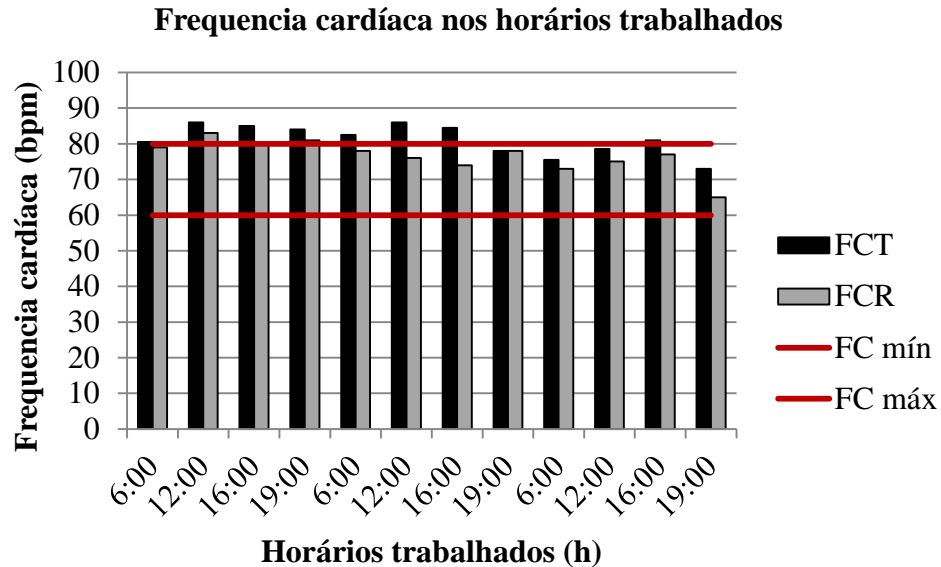
Vale ressaltar que nas operações de aração e subsolagem realizadas com o trator com a capota o operador não se manteve dentro da área sombreada em todos os períodos trabalhados na plataforma de operação, devido ao deslocamento da sombra ao longo do dia, apenas no intervalo das 12 às 13 h o operador permaneceu em um ambiente protegido da radiação solar direta por todo o seu corpo, no restante dos horários trabalhados o operador esteve parcialmente exposto à radiação solar, fato este pode ser reforçado através dos valores médios do IBUTG nos horários das 12 às 13h, onde foram menores nas operações realizadas com o trator com capota.

Foi verificado em cada tratamento que a função de regressão é adequada aos dados, pois, de acordo com os gráficos do apêndice A (Figura 45-48) os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da média zero.

#### **4.4 Carga física de trabalho**

Observou-se que na operação de subsolagem com capota apenas em um horário a frequência cardíaca de trabalho manteve-se menor que 75 bpm, sendo considerado como “muito leve”, no entanto, para os demais horários o batimento cardíaco manteve-se dentro do intervalo de 75 a 100 bpm sendo considerada como “leve”, Couto em 2007 afirmou que frequência cardíaca menor que 110 bpm não são prejudiciais à saúde do trabalhador. Foi observado também que para dois dias trabalhados a frequência cardíaca em repouso manteve-se dentro do intervalo considerado normal (BARBIERI, 2002; BRUNNER e SUDDARTH, 2009), ambos os autores relataram em seus estudos que a frequência cardíaca normal para um adulto ausente de doenças cardiovasculares em repouso está na faixa de 60 a 80 bpm. O comportamento da frequência cardíaca no trabalho e em repouso pode ser visualizado através da Figura 28.

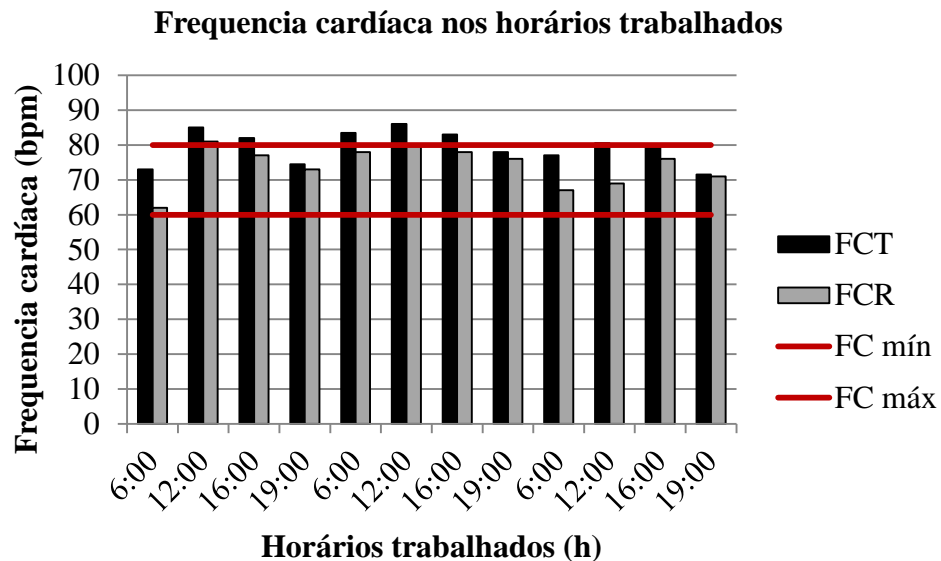
Figura 28 – Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando subsolagem com o trator com capota



Fonte: Autor.

Observou-se que na operação de aração com capota apenas em três horários a frequência cardíaca de trabalho manteve-se menor que 75 bpm, sendo considerado como “muito leve”, no entanto, para os demais horários o batimento cardíaco manteve-se dentro do intervalo de 75 a 100 bpm sendo considerada como “leve”, foi observado também que para dois dias trabalhados a frequência cardíaca em repouso manteve-se dentro da faixa de 60 a 80 bpm. A variação da frequência cardíaca no trabalho e em repouso pode ser visualizada através da Figura 29.

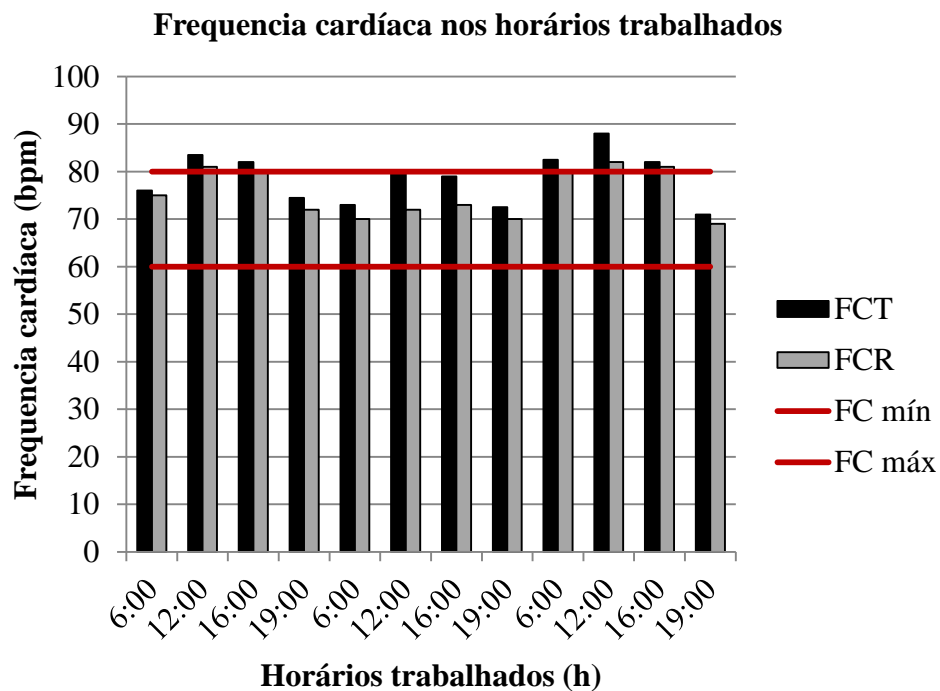
Figura 29 – Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando aração com o trator com capota



Fonte: Autor.

Verificou-se que na operação de aração sem capota que em quatro horários a frequência cardíaca de trabalho manteve-se menor que 75 bpm, sendo considerado como “muito leve”, no entanto, para os demais horários o batimento cardíaco manteve-se dentro do intervalo de 75 a 100 bpm sendo considerada como “leve”, foi verificado também que para dois dias trabalhados a frequência cardíaca em repouso manteve-se dentro da faixa de 60 a 80 bpm. A variação da frequência cardíaca no trabalho e em repouso pode ser visualizada através da Figura 30.

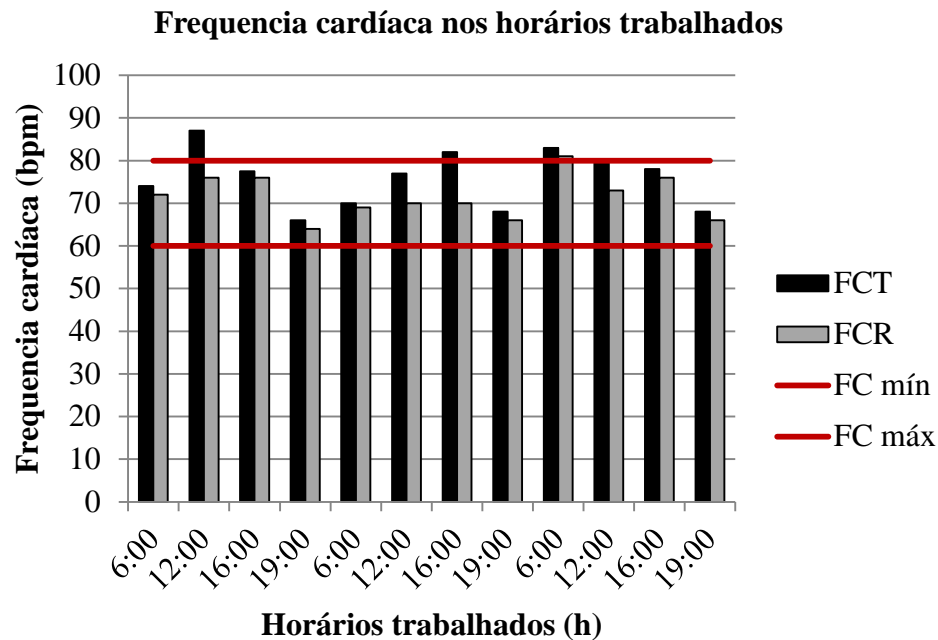
Figura 30 – Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando aração com o trator sem capota



Fonte: Autor.

Verificou-se que na operação de subsolagem sem capota que em cinco horários a frequência cardíaca de trabalho manteve-se menor que 75 bpm, sendo considerado como “muito leve”, no entanto, para os demais horários o batimento cardíaco manteve-se dentro do intervalo de 75 a 100 bpm sendo considerada como “leve”, foi verificado também que para dois dias trabalhados a frequência cardíaca em repouso manteve-se dentro da faixa de 60 a 80 bpm. A variação da frequência cardíaca no trabalho e em repouso pode ser visualizada através da Figura 31.

Figura 31 – Variação da frequência cardíaca nos horários trabalhados, realizando subsolagem com o trator sem capota



Fonte: Autor.

O aumento da frequência cardíaca no início das atividades físicas ocorre devido à diminuição imediata da atividade do sistema nervoso parassimpático e aumento da atividade do sistema nervoso simpático, o que é suficiente para elevar a frequência cardíaca a cerca de 30 batimentos por minuto. Na continuação da atividade física, a frequência cardíaca aumenta novamente pelo aumento da concentração sanguínea de noradrenalina, distensão mecânica da aurícula e sequentemente, do nó sinusal em função de maior retorno venoso, aumentando também a temperatura corporal (SILVA, 2012).

O aumento da variabilidade da frequência cardíaca durante o trabalho é sinal de boa adaptação, caracterizando um indivíduo saudável com mecanismos autonômicos eficientes. Inversamente, a diminuição da variabilidade da frequência cardíaca é frequentemente um indicador de adaptação anormal, o que pode indicar a presença de mau funcionamento fisiológico no indivíduo (PUMPRLA et al., 2002). A redução da variabilidade da frequência cardíaca vem sendo apontada como um importante indicador em pessoas com patologias.

Observou-se também que em todas as condições de operação, na maioria do tempo, a frequência cardíaca, manteve-se dentro da faixa considerada normal para adultos saudáveis em repouso, evidenciando que as operações não solicitavam grandes exigências

físicas por parte do operador, embora em alguns períodos (críticos) do dia tenham concluído para um aumento da frequência cardíaca acima de 80 bpm.

Os valores médios da carga cardiovascular (CCV), as frequências cardíacas de trabalho (FCT), limite (FCL), de repouso (FCR) e máxima (FCM), a classificação do carga física durante a jornada de trabalho e o tempo de exposição são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Carga física de trabalho exigida nas atividades de preparo secundário do solo

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	CCV (%)	FCT bpm	FCL bpm	FCR bpm	FCM bpm	CARGA FÍSICA DE TRABALHO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO (horas)
						TABELA 4	
Subsolagem com capota	2,93	84,04	127,90	80,75	193,00	leve	4
	5,26	82,63	123,70	76,50	193,00	leve	4
	3,49	76,71	120,70	72,50	193,00	leve	4
Aração com capota	4,49	78,63	121,15	73,25	193,00	leve	4
	4,24	82,88	124,00	78,00	193,00	leve	4
	5,18	85,10	126,00	81,33	193,00	leve	4
Aração sem capota	1,87	79,17	123,40	77,00	193,00	leve	4
	3,83	75,92	119,95	71,25	193,00	leve	4
	2,61	81,00	124,00	78,00	193,00	leve	4
Subsolagem sem capota	3,20	75,88	120,40	72,00	193,00	leve	4
	4,46	74,29	118,45	68,75	193,00	Muito leve	4
	2,73	77,25	117,18	66,63	193,00	leve	4

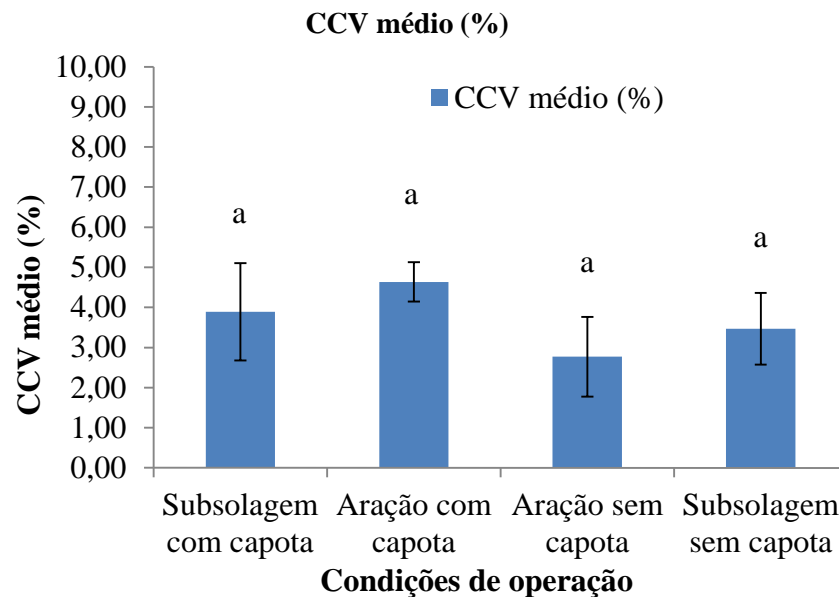
Fonte: Autor

Nenhuma atividade exigiu esforço de modo que a carga cardiovascular ultrapassasse o limite de 40% da frequência cardíaca de trabalho. Mesmo não estando ultrapassando o limite recomendando, este dado não deixa de ser relevante, a sobrecarga física do trabalho agrícola mesmo que mínima pode produzir enfermidades no organismo humano, resultando em afastamento do trabalho e aposentadorias (APUD, 1999).

Portanto, não foi necessário o cálculo do tempo de repouso para as atividades. No entanto, é de extrema importância o incentivo à adoção de pausas voluntárias para descanso e relaxamento dos músculos. Seria interessante a adoção dessas pausas fora da plataforma de operação, no intuito de evitar posições constantes por muito tempo, condições climáticas insatisfatórias, risco ao ataque de animais peçonhentos e poeira em suspensão.

A média diária da CCV não mostrou diferença estatística ( $p \geq 0,05$ ) de acordo com a análise de variância (apêndice B Tabela 8) evidenciando que a exigência do esforço físico para todas as atividades foram semelhantes. As médias diárias da CCV podem ser visualizadas pela Figura 32.

Figura 32 – CCV médio nas atividades de preparo secundário do solo



Fonte: Autor.

A diferença não significativa da carga cardiovascular entre as condições de operação pode ser justificada provavelmente pela semelhança entre os esforços exigidos na operação de aração e subsolação onde era necessário realizar manobra de cabeceira acionando os pedais de embreagem, alavancas de controle do sistema de três pontos para levantar e abaixar o implemento (arado) e acionar as alavancas de controle do sistema hidráulico de controle remoto (subsolação).

#### 4.4 Termografia

##### 4.4.1 Temperatura cutânea facial

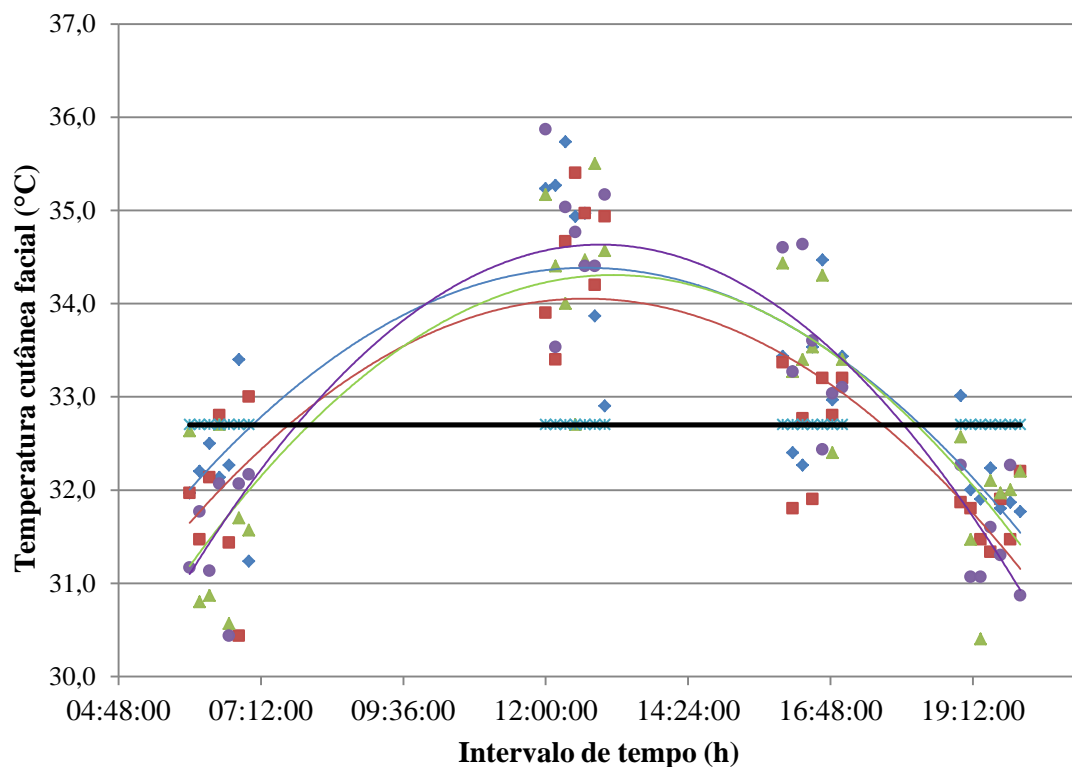
As curvas de regressão da Figura 33 mostram que para todas as condições de operação, houve uma tendência ascendente no valor da temperatura cutânea facial ao longo do dia (das 7 às 12h), e descendente ao longo da tarde estendendo-se para as horas noturnas (das 13 às 20h), e que, seus valores mínimos foram das 6 às 7h e das 19 às 20h, e que os seus valores máximos foram entre os horários das 12 às 13h. Foi verificado em cada condição de operação que a função de regressão é adequada aos dados, pois, de acordo com o apêndice A (Figura 49-52) os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da média zero. A variação da temperatura da pele do trabalhador ao longo dos horários estudados assegura, para este caso (ambientes externos), a situação de equilíbrio térmico, de forma automática através do



processo de termorregulação. Vale salientar, que a temperaturas cutâneas facial mais próxima ao de conforto estão compreendidas nos horários das 7, 16 e 19h, no período das 12h a temperatura da pele manteve-se acima da temperatura de conforto, fato este devido provavelmente ao alto fluxo de calor transferido entre o ambiente e a superfície da pele, e que o valor da temperatura de conforto da pele encontrou-se muito próxima ao citado por Ferreira em 2005 (33,7°C). A temperatura de conforto da pele foi convencionalizada como sendo a temperatura no horário das 6 h e 00 min, onde as condições ambientais estavam mais satisfatórias ao operador de acordo com Índice de Temperatura e Umidade proposta por Thom (COSTA et al.,2009).

Figura 33 – Variação da temperatura cutânea facial nos horários estudados

#### Variação da temperatura cutânea facial nos horários estudados

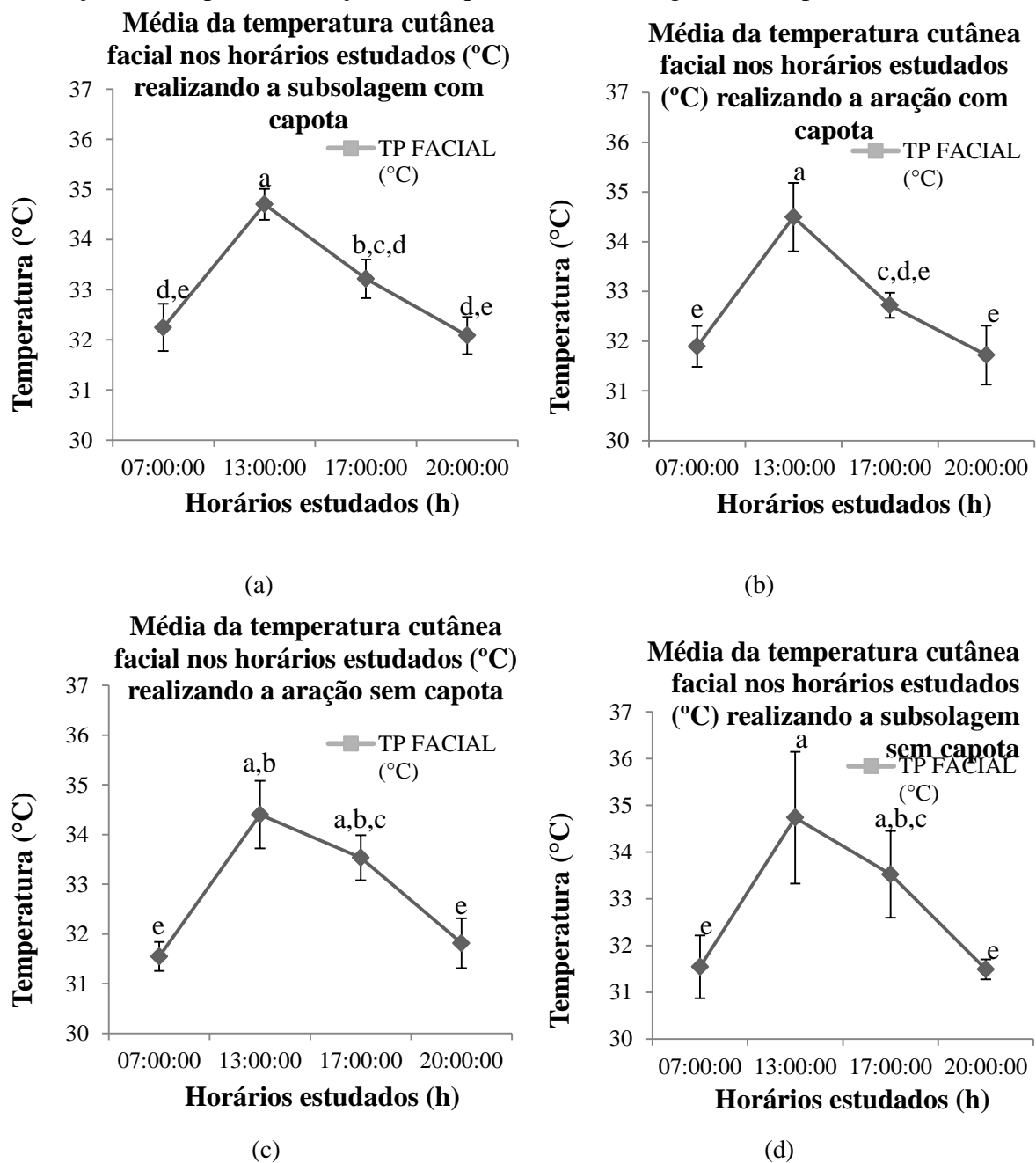


- ◆ Subsolação com capota  $y = -30,611x^2 + 32,368x + 25,828$ ;  $R^2 = 0,6468$
- Aração com capota  $y = -31,105x^2 + 32,851x + 25,380$ ;  $R^2 = 0,6499$
- ▲ Aração sem capota  $y = -35,336x^2 + 38,672x + 23,727$ ;  $R^2 = 0,6915$
- Subsolação sem capota  $y = -42,553x^2 + 45,802x + 22,309$ ;  $R^2 = 0,8273$
- \* Temperatura de conforto

Fonte: Autor.

Para o horário das 16 às 17h as operações realizadas sem capota diferiram das realizadas com capota ( $p < 0,01$ ), quanto aos demais horários, às temperaturas da pele da face não diferiram ( $p > 0,05$ ). No Apêndice B (Tabela 9) é possível observar a análise de variância da temperatura cutânea facial média nos horários estudados. A Figura 34 (a,b,c e d) observase as temperaturas da pele facial médias, com relação aos horários trabalhados e o tipo de atividade.

Figura 34 – Temperatura cutânea facial média de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura facial nos horários estudados ( $^{\circ}\text{C}$ ) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d)

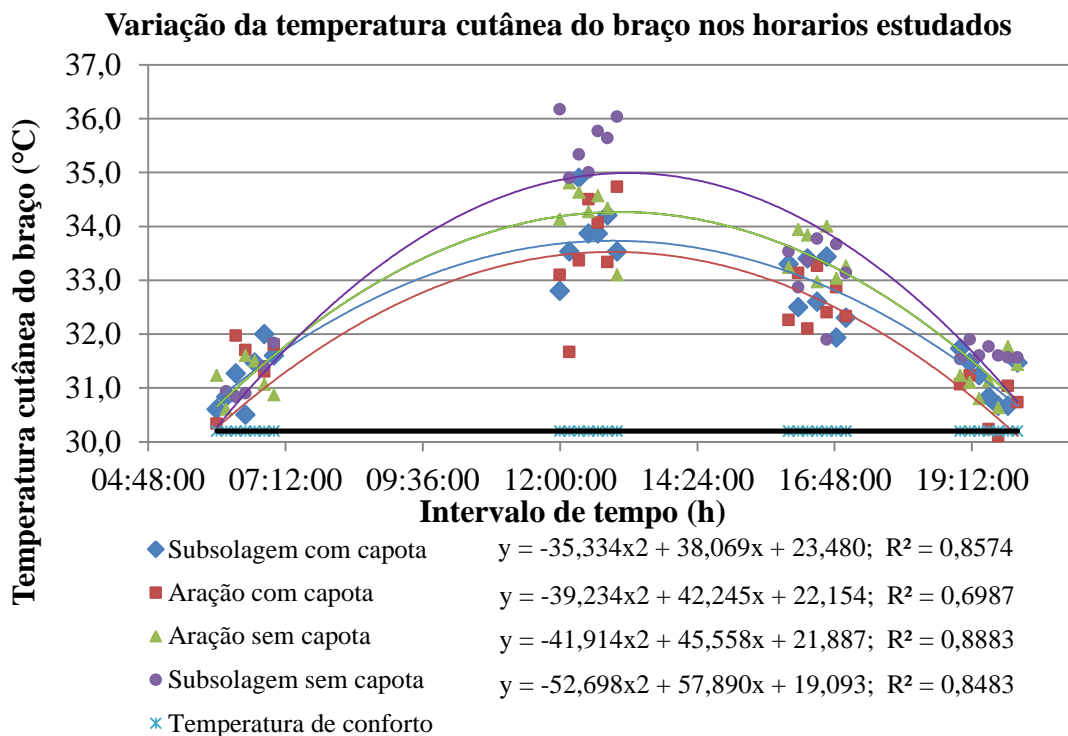


Fonte: Autor.

#### 4.4.2 Temperatura cutânea do braço

A Figura 35 mostra a variação da temperatura cutânea do braço nos horários estudados, onde, a curva de regressão mostra que a temperatura tende a elevar-se das 6 às 13h e a diminuir das 13 às 20h, atingindo o seu máximo às 13h e o mínimo às 6 e 20h. Uma menor temperatura corporal no período da manhã, seguida de aumento no turno da tarde, também foi encontrada por outros autores empregando diferentes métodos de registro da temperatura (termômetro clínico sublingual e sensor fixado no ombro) (EDWARDS et al., 2008; PRONINA; RYBAKOV, 2011). Os estudos dessas variações em função do horário do dia são importantes na tentativa de se estabelecer uma faixa de normalidade, visando caracterizar um estado de hipo ou hipertermia (COSTA, 2012).

Figura 35 – Variação da temperatura cutânea do braço nos horários trabalhados

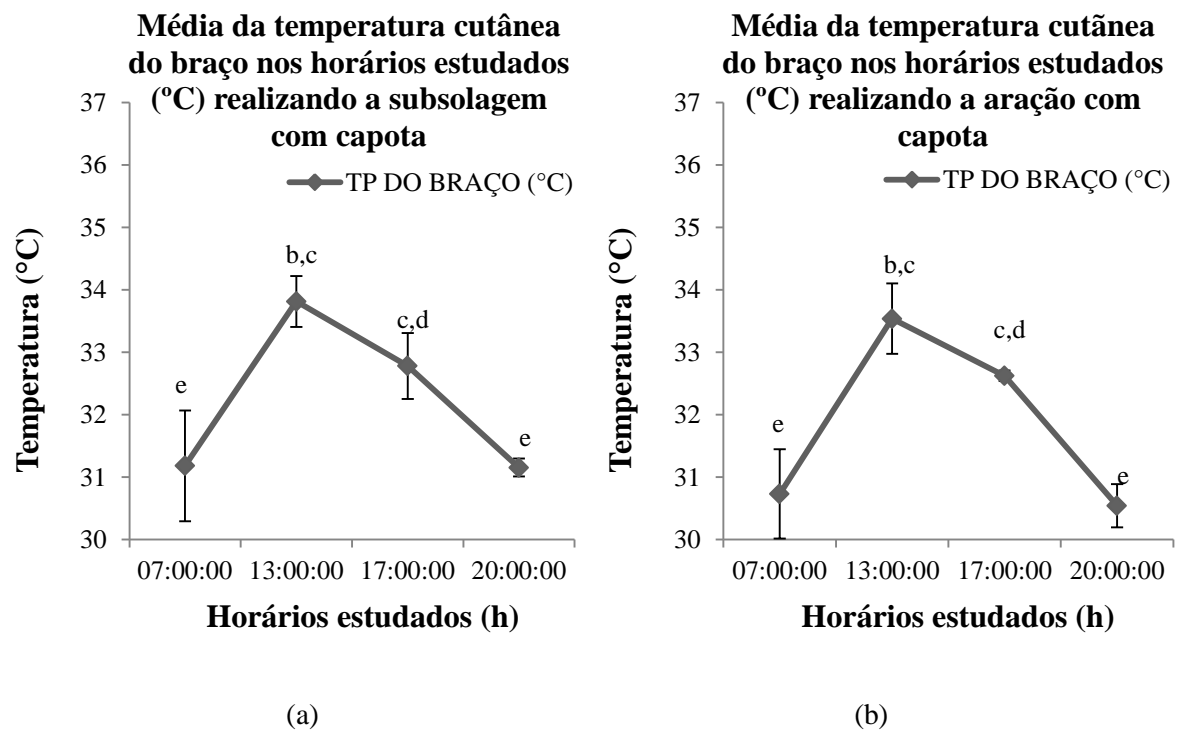


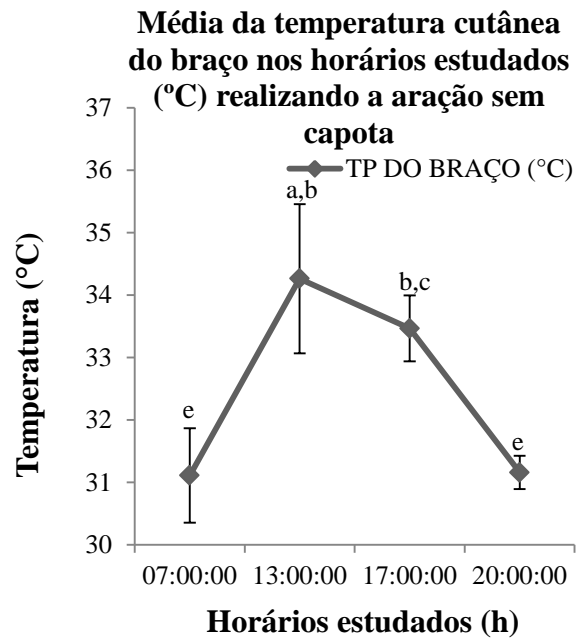
Fonte: Autor.

Ainda com relação à Figura 35, a linha de tendência prevê uma permanência da temperatura da pele do braço acima da considerada como confortável, para todos os horários do dia e condições de operação, a análise dos resíduos apresentados em Apêndice A (Figura 53-56) mostra que os mesmos se distribuem de forma aleatória em torno da média zero.

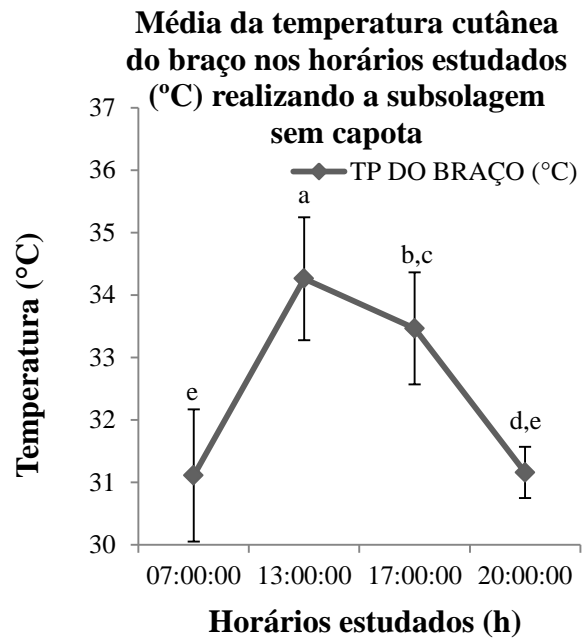
As médias das temperaturas cutânea do braço de acordo com a hora e com as condições de operação estão dispostas na Figura 36 (a, b, c, e d), onde as médias diferiram entre os horários trabalhados ( $p < 0,01$ ), e que entre as atividades houve diferença ( $p < 0,01$ ) somente nos horários das 12 às 13h e das 16 às 17h, evidenciando que a remoção da capota contribuiu para um aumento da temperatura da pele do braço apenas nestes horários trabalhados, e que para os demais horários a remoção da capota não influenciou para um aumento da temperatura da pele do braço. Resultado semelhante foi observado em ambiente urbano aberto, onde o sombreamento foi o fator preponderante para a redução da temperatura média da pele de 36,61 a 35,54°C em homens (NAKATA, 2010), esta redução ocorre a partir do momento em que a pele humana deixa de absorver radiação de ondas curtas provenientes do sol e passa a receber apenas radiação de ondas longas dos objetos entorno exemplo este, o objeto que causa o sombreamento. No Apêndice B (Tabela 10) é possível observar a análise de variância da temperatura cutânea do braço média nos horários estudados.

Figura 36 - Temperatura cutânea do braço média de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele do braço nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d)





(c)



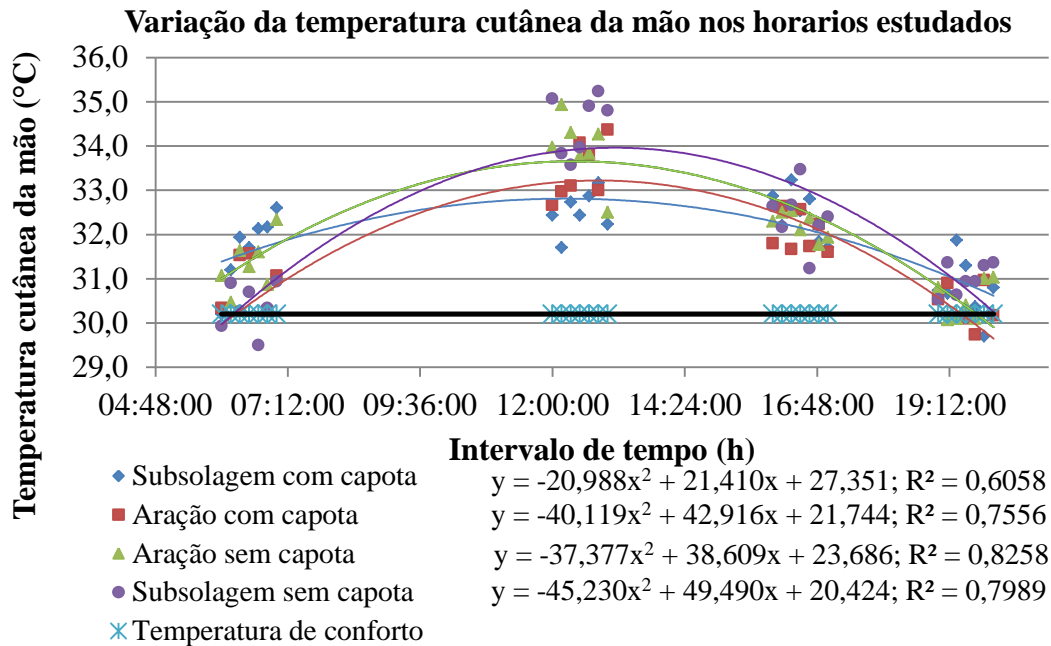
(d)

Fonte: Autor.

#### 4.4.3 Temperatura cutânea da mão

A Figura 37 mostra-se as linhas de tendência das temperaturas da pele da mão em todas as atividades exercidas, onde as mesmas variaram ao longo do dia: comportando-se de forma ascendente do amanhecer ao meio dia (6 às 13h) e descendente ao longo da tarde estendendo-se para a noite (13 às 20h). Podem existir várias justificativas para as menores temperaturas no início da manhã em relação aos outros horários do dia, os ajustes metabólicos seriam um deles, pois segundo pesquisadores (WAKAMURA; TOKURA, 2002), durante o período noturno de sono, ocorre redução aguda da taxa metabólica, impondo assim, diminuição da temperatura corporal. Foi verificado em cada condição de operação que a função de regressão é adequada aos dados, pois, de acordo com o apêndice A (Figura 57-60) os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da média zero. Ainda com relação à Figura 37, a linha de tendência prevê uma permanência da temperatura cutânea da mão acima da considerada como confortável para a maioria dos horários do dia e condições de operação.

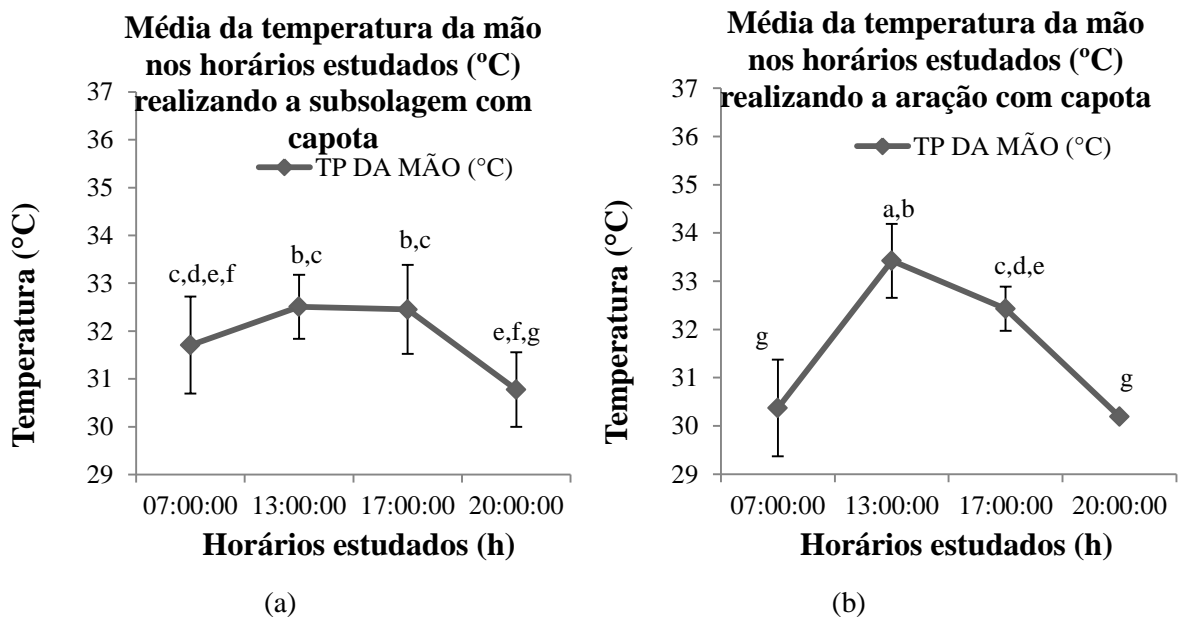
Figura 37 – Variação da temperatura da pele da mão nos horários trabalhados

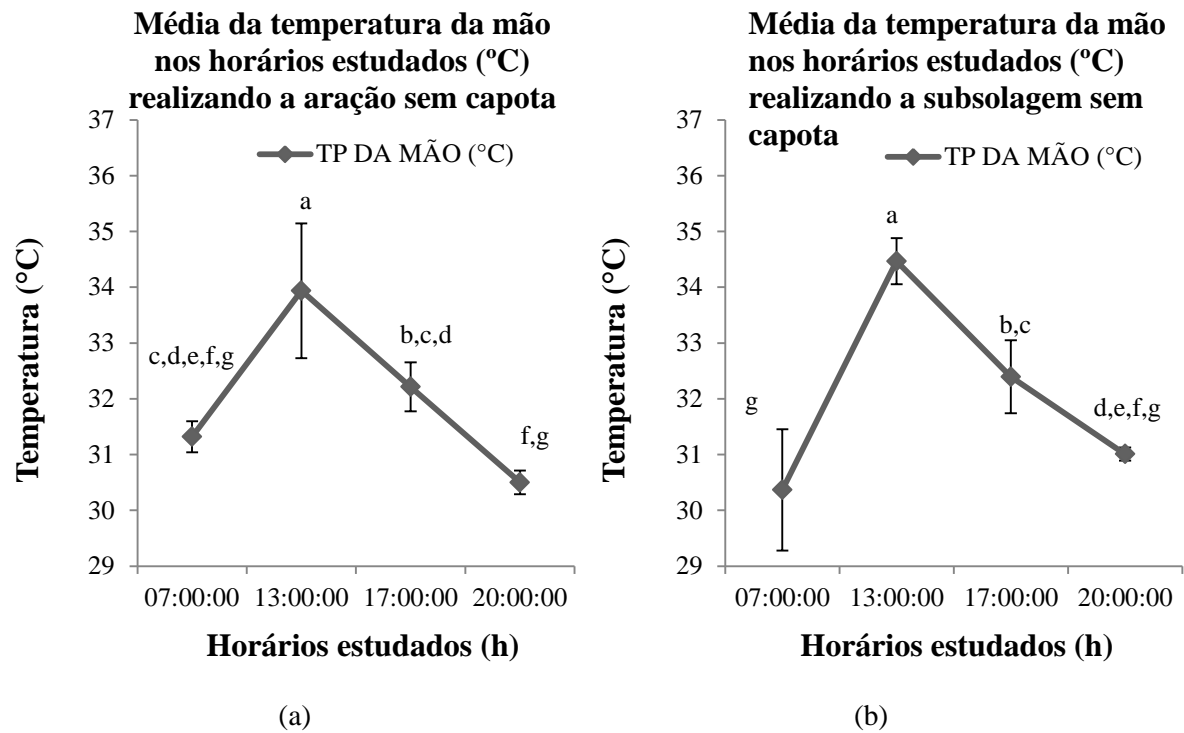


Fonte: autor.

A Figura 38 (a, b, c, e d) apresenta as temperaturas cutâneas do dorso da mão com relação aos horários trabalhados e o tipo e atividade, onde, para o horário das 12 às 13h as operações realizadas sem capota diferiram das realizadas com capota ( $p < 0,01$ ). A análise da variância da temperatura cutânea média do braço nos horários estudados está apresentada no Apêndice B (Tabela 11).

Figura 38 – Temperatura média da pele da mão de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele da mão nos horários estudados (°C) realizando a subsologem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsologem sem capota (d)





Fonte: Autor.

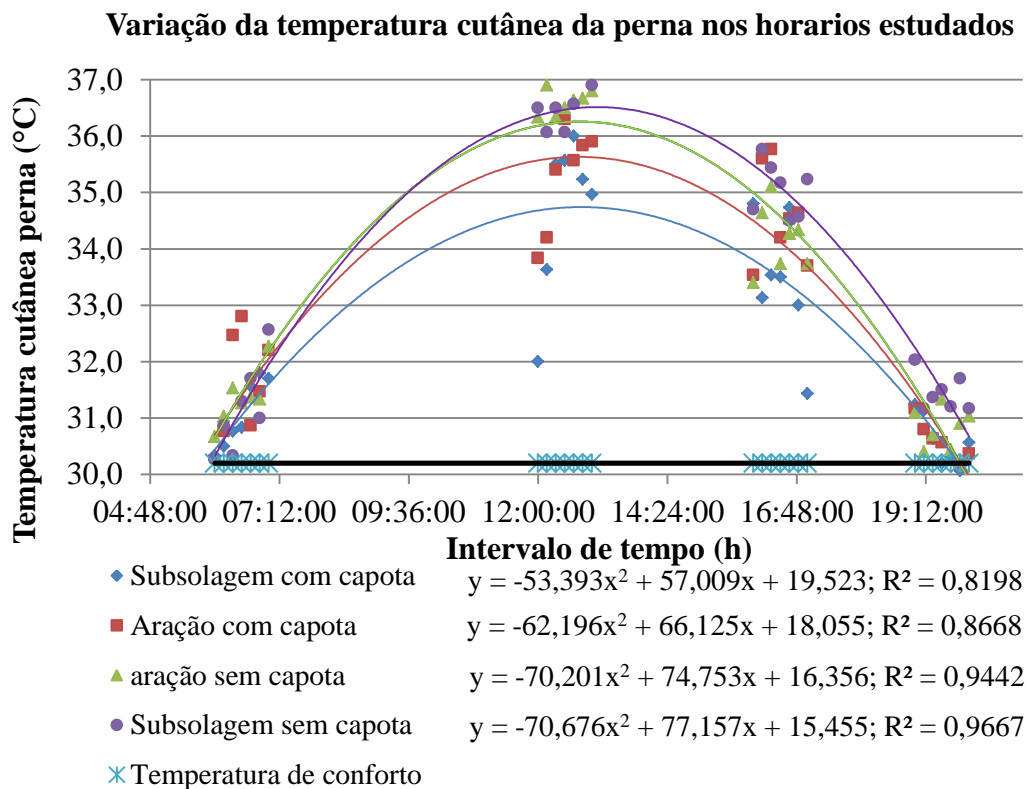
Apesar do aumento da temperatura cutânea do braço e mão, elas não chegaram a superar valores da temperatura cutânea nas regiões da face que, por sua vez, mantiveram-se mais homogêneas ao longo do dia. Essa menor variabilidade de temperatura nesta região do corpo pode ser considerada como normal, haja vista a concentração de órgão na região da cabeça que, são produtores de calor (CAMPBELL, 2011). Esses resultados são importantes por indicar que a termografia infravermelha demonstra ser sensível ao captar esse tipo de comportamento da distribuição de calor corporal com apenas um registro de imagem térmica, indicando maior temperatura na região central e menor nas extremidades (COSTA, 2012).

#### 4.4.4 Temperatura cutânea da perna

Na Figura 39 é possível observar a variação da temperatura cutânea da perna do operador, onde de acordo com a curva de regressão existe uma tendência das temperaturas da pele permanecerem acima da considerada de conforto e, variando ao longo do dia. As variações aconteceram também para as outras partes do corpo, porém com magnitudes diferentes, onde, as maiores diferenças registradas ao longo dos horários trabalhados foram nas regiões extremas do corpo (perna, mão e braço) em relação às regiões internas (cabeça), que podem ser justificadas pelo fato de serem zonas que possuem função vasomotora de perda de calor (MACHADO - MOREIRA, 2008). Além disso, as mãos possuem muitas anastomoses

arteriovenosas, que possuem vasos sanguíneos de maiores diâmetros que os quais contribuem para maior taxa de fluxo sanguíneo e consequente maior temperatura da pele nas mãos (COSTA, 2012).

Figura 39 – Variação da temperatura cutânea da perna nos horários trabalhados



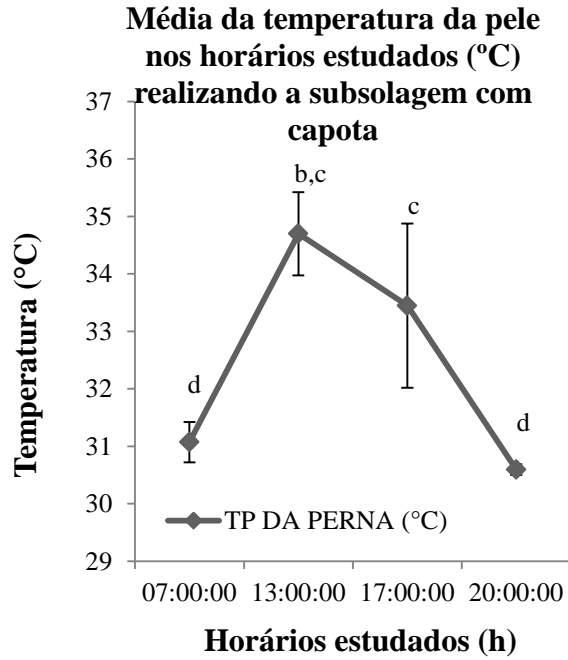
Fonte: autor.

A análise dos resíduos apresentados no apêndice A (Figura 61-64) mostra que os mesmos se distribuem de forma aleatória em torno da média zero, provando que a linha de tendência é adequada aos dados.

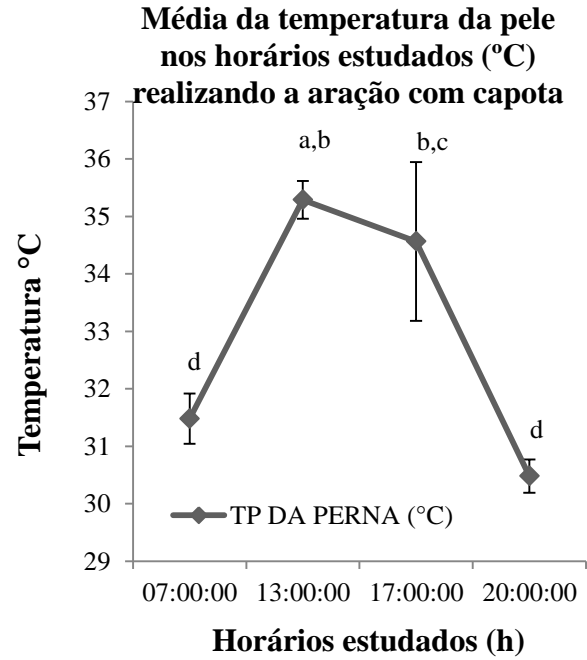
A Figura 40 (a, b, c, e d) mostra as temperaturas da pele da perna com relação aos horários trabalhados e o tipo e atividade, onde, para o horário das 12 às 13h as operações realizadas sem capota diferiram das realizadas com capota ( $p < 0,01$ ), e para o horário das 6 às 7h e 19 às 20h as temperaturas da pele não diferiram ( $p > 0,05$ ) entre as condições de operação. No Apêndice B (Tabela 12) é possível observar a análise de variância da temperatura cutânea da perna média nos horários estudados.



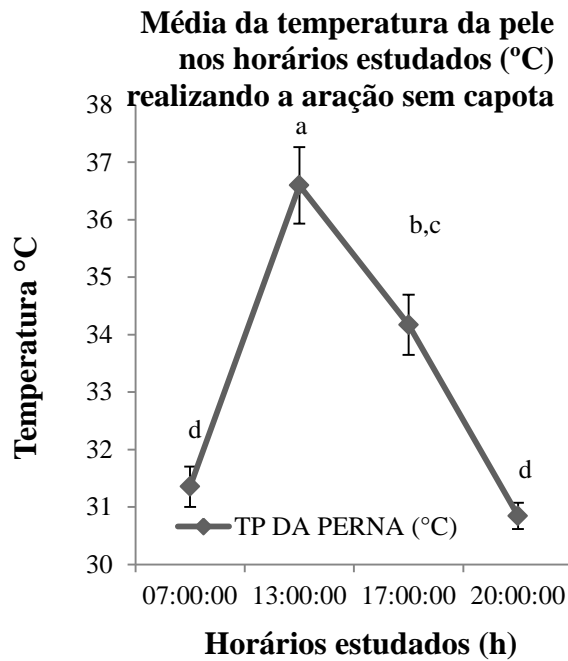
Figura 40– Temperatura média da pele da perna de acordo com a hora e a atividade exercida: Média da temperatura da pele da perna nos horários estudados (°C) realizando a subsolagem com capota (a), aração com capota (b), aração sem capota (c), a subsolagem sem capota (d)



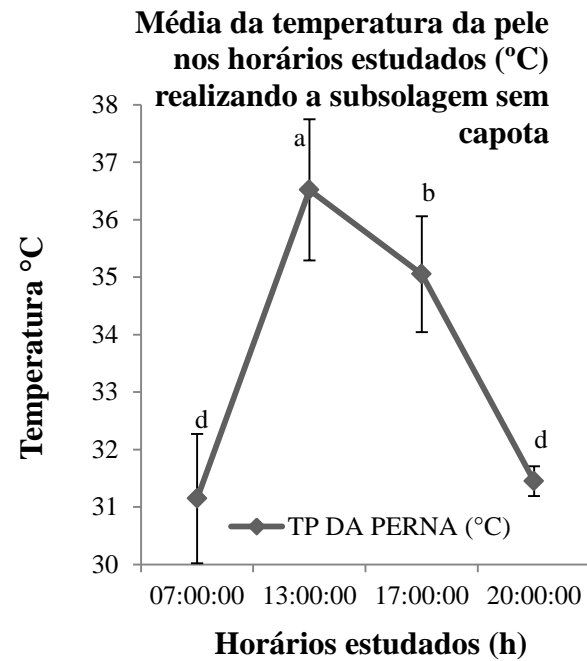
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autor.

Realizando estudos com homens e mulheres despidos e estáticos, (COSTA, 2012) comprovou que as regiões que apresentaram as maiores variações térmicas entre os sujeitos avaliados foram as mãos, tanto na região anterior como posterior. Já a região de menor variação correspondeu ao peitoral, comprovou-se também que cada região do corpo apresentou um comportamento específico de temperatura da pele de forma que os valores médios são menores nas regiões extremas: mãos, antebraços, braços, pernas e coxas em comparação às regiões do peitoral, abdômen, escápulas e dorsal inferior.

A ocorrência de maiores variações da temperatura da pele nas regiões da perna em relação a outras partes do corpo pode ser justificada também pela vestimenta utilizada, onde provavelmente a mesma tenha influenciado no fluxo de calor de forma a elevar a temperatura da perna nos horários mais quentes do dia (12 às 13 e 16 às 17h). Concordando com essas afirmações Thomas et al. (2004) relatou que o tipo e vestimenta, temperatura ambiente não controlada e o grau e exercícios podem ter influenciado nos resultados obtidos em seus estudos, onde relacionou a temperatura da pele e a temperatura retal ao longo do dia, no experimento, os avaliados foram submetidos a período mínimo de 10min de adaptação ao ambiente de avaliação e às condições de temperatura foram similares nos cinco períodos de registro, de forma a minimizar qualquer fator interveniente no registro da termografia infravermelha e possibilitando a comparação da temperatura da pele entre os períodos.

A ocorrência de menores variações da temperatura da pele nas regiões da face e do tronco também foram encontrados por Krauchi et al. (1994) e Costa (2012), em que os autores sugerem que a temperatura da pele das regiões proximais seguem as variações diárias da temperatura retal.

Os valores de temperatura obtidos através da termografia infravermelha apresentam variações da temperatura cutânea em regiões no corpo do operador durante os quatro períodos de trabalho com diferentes magnitudes em função da área analisada. Os valores encontrados nesse trabalho se mostraram similares aos estudos que identificaram variações diárias da temperatura corporal mensurada a partir da temperatura retal, utilizando termistores e sondas descartáveis (DIJK et al., 2012; THOMAS et al., 2004) e da pele, utilizando sensor fixado no ombro (PRONINA et al., 2011 *apud* COSTA, 2012).

Em todos os casos, o aumento na temperatura central é atingido por meio de aumento na temperatura da pele, apesar de haver diferenças na magnitude de aumento na temperatura dependendo da estratégia empregada. Alguns estudos reportam aumento de 0,5 a 2,0° C na temperatura central (CRANDALL et al., 2010).

O estudo da termografia infravermelha aplicada a operador de tratores agrícolas é recente e escasso, dificultando as discussões e comparações dos resultados obtidos com estudos semelhantes. Assim, a pesquisa instiga novas investigações a respeito do comportamento da temperatura das diferentes partes do corpo e do perfil térmico frente a diferentes trabalhos, como as realizadas manualmente ou de forma semi-mecanizada, ou em diferentes situações climáticas como as de baixas temperaturas e radiação solar, ou variando a raça, gênero, biótipo, idade e cor bem como o tipo de vestimenta do trabalhador.

## 5 CONCLUSÕES

1. De acordo com a classificação do ITU houve desconforto térmico no interior da plataforma em todas as suas condições de operação.

2. De acordo com a NR-15, as operações de preparo de solo realizadas com o trator BM 125I com e sem capota não foram consideradas insalubres, o tipo de atividade e o valor médio do IBUTG permitiram um regime de trabalho contínuo.

3. As classificações da carga física de trabalho das condições de operação variaram de muito leve a leve. Para todas as condições de operação os valores da CCV do operador foram menores do que 40%, não havendo a necessidade de horários de descanso.

4. Houve variação na temperatura da pele do operador entre as condições de operações realizadas com e sem capota apenas nos os horários das 12 às 13h (braço, mão e perna), e das 16 às 17h (face, braço, mão e perna).

5. As temperaturas da pele do operador variaram ao longo dos horários estudados, onde se observou que no período das 7 e das 20h registraram-se as temperaturas mais baixas, enquanto que às 13h as mais altas, onde as menores variações foi na face do operador e as maiores no braço, mão e perna

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. U.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Avaliação do perfil e condições de trabalho de operários na atividade de propagação de *Eucalyptus* spp. em viveiros, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ERGONOMIA E SEGURANÇA DO TRABALHO FLORESTAL E AGRÍCOLA, 1., 2000, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: 2000. p.135-140.
- ALVES, J. U.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Avaliação do perfil e condições de trabalho de operários na atividade de propagação de *Eucalyptus* spp. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.6, n.3, p.481-486, 2002.
- APUD, E. **Guide-lines on ergonomics study in forestry**. Genebra: ILO, 1989. 241 p.
- APUD, E.; GUTIÉRREZ, M.; LAGOS, S.; MAUREIRA, F.; MEYER, F.; ESPINOSA, J. **Manual de ergonomia florestal**. Chile: Laboratorio de Ergonomia de la Universidad de Concepción, 1999. 315p.
- AQUINO, D.N. **Irrigação e sustentabilidade dos recursos solo e água na área do distrito de irrigação Baixo Acaraú – DIBAU - Ceará**. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- ARCHER, A.G.; ROBERTS, V.C.; WATKINS, P.J. Blood flow patterns in painful diabetic neuropathy. **Diabetologia**, v.27, p.563–567, 1984.
- BARBIERI, R.L. **SOS - Cuidados Emergenciais**. Ed.ideal, São Paulo, 2002.
- BATISTA, R. J. R. **Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de ndices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- BLUESTEIN, M; OSCZEWSKI, R.; Wind chill and the development of frostbite in the face. **15th Conf. on Biomet. And Aerobiology**, Kansas City, MO, Amer. Meteor. Soc., p. 168-171, 2002.
- BRIOSCHI, M.L.; MACEDO, J.F.; MACEDO, R.A.C. **Termometria cutânea: novos conceitos**. *J Vasc Br*, Curitiba; v. 2, n. 2, p.151-60, 2003.
- BRUNNER & SUDDARTH. **Tratado de enfermagem médico-cirúrgica**. 11<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009, 1084p.
- CAMPBELL, I. Body temperature and its regulation. **Anaesth Intens Care Med**. v. 12 n. 6, p. 240-244, 2011.
- CASTANEDO, C.I. **Quantitative subsurface defect valuation by pulsed phase thermography: Depth retrieval with the phase**. Thèse (obtention grade de Philosophiae Doctor Ph.D.) Faculté des Sciences et de Génie Université Laval – Québec. 2005.
- CHARKOUDIAN, N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. **Rev. J Appl. Physiol**. v. 109, n. 4, p. 1221-1228, 2010.

COSTA, C. M. A. **Técnicas de mensuração da temperatura corporal: uma especial atenção para as variações da temperatura da pele mensuradas por termografia ao longo do dia**. 2012. (dissertação de mestrado em educação física) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2012.

COSTA, E.Q. ; BAPTISTA, J. S.; DIOGO, M. T.; MAGALHÃES, A. B. Ambiente térmico quente e o seu impacto na produtividade e sinistralidade. **Conferência Internacional Symposium on Occupational Safety and Hygiene**. P. 211-215. Guimarães, Portugal, 2011.

COSTA, J. R. S.; BEZERRA, I. M.; SILVA, F. M. Conforto térmico na cidade de Natal e Ceará Mirim/RN utilizando os métodos de ITU e WCI. **Rev. Okara: Geografia em debate**, v. 3, n. 2, p. 223-347, 2009. Disponível em: <<http://www.okara.ufpb.br>>. Acesso em: 01 jul. 2012.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual técnico da máquina humana**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995. 353p.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: conteúdo básico: guia prático**. Belo Horizonte: ERGO Editora, 2007.

CRANDALL, C.G.; GONZÁLEZ-ALONSO J. Cardiovascular function in the heat-stressed human. **Acta Physiol (Oxf)** v.199, n.4, p. 407-423, 2010.

DEBIASE, H; SCHLOSSER, J. F.; PINHEIRO, E. D. Características ergonômicas dos tratores agrícolas utilizados na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. v.34, n.6, p. 1807-1811, 2004.

DIJK, D.J.; DUFFY, J.F.; SILVA, E.J.; SHANAHAN. T.L.; BOIVIN, D.B.; CZEISLER, C.A.; Amplitude reduction and phase shifts of melatonin, cortisol and other circadian rhythms after a gradual advance of sleep and light exposure in humans. **PLoS One**. v.7, n. 2, 2012.

DUL, J. & WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia prática**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

EDWARDS, B.; WATERHOUSE, J.; REILLY, T. Circadian rhythms and their association with body temperature and time awake when performing a simple task with the dominant and non-dominant hand. **Chronobiol Int**. v. 25 n.1, p. 115-132, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999, 412p.

FERREIRA, J.J.; MENDONÇA, L.C.; NUNES, L.A.; ANDRADE FILHO, A.C.; REBELATTO, J.R.; SALVINI, T.F.; Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects. **Ann Biomed Eng.**; v. 36 n. 8, p.1420-1427, 2008.

FERREIRA, M.L. **Aplicação de um modelo à determinação de índices de conforto térmico**. 2005. 141p. (dissertação de mestrado em engenharia humana). Escola de engenharia. Universidade do Minho. Braga, 2005.

FERREIRA, P.C. **Avaliação ergonômica de algumas operações florestais no município de Santa Bárbara – MG.** 2006. 61f. (Dissertação de mestrado em meio ambiente e sustentabilidade) - Centro Universitário de Caratinga. Caratinga, Minas Gerais, 2006.

FISHER M.; PAOLONE V.; ROSENE J.; DRURY D.; VAN DYKE A.; MORONEY D. The effect of submaximal exercise on recovery hemodynamics and thermoregulation in men and women. **Res Q Exerc Sport.** v.70, n.4, p. 361-368, 1999.

GALLOIS, N. S. P. **Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina.** 2002. 140f. (Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2002.

GAMBRELL, R. C.. Doenças térmicas e exercício. *In:* LILLEGARD, W. A.; BUTCHER, J. D.; RUCKER, K. S. **Manual de medicina desportiva: uma abordagem orientada aos sistemas.** São Paulo, SP: Manole, p. 457-464. 2002.

GIVONI, B.; NOGUCHI, M.; SAARONI, H.; POCHTER, O.; YAACOV, Y.; FELLER, N.; BECKER, S. Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings.** v. 35, n. 1, p. 77-86, 2003.

GOSLING, M.; ARAUJO, G. C. D. Saúde Física do Trabalhador Rural Submetido a Ruídos e à Carga Térmica: um estudo em operadores de tratores. **Rev. O Mundo da Saúde,** v. 32, n. 3, p. 275-286, 2008.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Tratado de fisiologia medica.** 10ª ed. Mexico: McgrawHill Interamericana, 2001.

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

HÖPPE, P. R. The physiological equivalent temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology,** 43, pp 71-75, 1999.

HORROCKS, A.R. Developments in Flame Retardants for Heat and Fire Resistant Textils –The Role of Char Formation and Intumescence. **Polymer Degradation and Stability,** Vol. 25, p. 143-154, 1996.

HUE, O.; ANTOINE-JONVILLE, S.; GALY, O.; BLONC, S. Maximal oxygen uptake, ventilatory thresholds and mechanical power during cycling in tropical climate in Guadeloupean elite cyclists. **Rev. J Sci Med Sport.** v. 13, n. 6, p. 607-612, 2010.

IIDA, I. **Ergonomia projeto e produção.** 9ª ed. São Paulo: Edgard blücher Ltda, 2003.

ISO 7243. Hot Environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: 1982.

ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva. 2005.

JAY, O.; KENNY, G. P. Heat exposure in the Canadian workplace. **Rev. Amer. J. Ind. Med.**, v. 53, n. 8, p. 842-853, 2010.

JIANG, L. J.; NG, E. Y.; YEO, A. C.; WU, S.; PAN, F.; YAU, W. Y.; CHEN, J. H.; YANG, Y. A perspective on medical infrared imaging. **Rev. J Med Eng Technol.** v. 29, n. 6, p. 257-267, 2005.

KOBAYASHI, T.; SHIMO, H.; SUGI, H. Infrared thermography of bullfrog skeletal muscle at rest and during an isometric tetanus. **Jpn. J. Physiol.** V. 48, p. 477-482, 1998.

KOSCHEYEV, V.S.; LEON, G.R.; PAUL, S.; TRANCHIDA, D.; LINDER, I.V. Augmentation of Blood Circulation to the Fingers by Warming Distant Body Areas. **Eur J. Appl Physiol**, Vol. 82, 2000, p. 103-111.

KRAUCHI, K. WIRZ-JUSTICE, A. Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. **Am J Physiol.** v. 267 n. 3, p. 819-829, 1994.

KROEMER, E. H. K.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia adaptando o trabalho ao homem.** 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KRONER, W. M. Environmentally Responsive Workstations and Office-Worker Productivity, **ASHRAE Transactions.** v.10, n.4, p.35-39. 1994.

LAMBERT, R. **Desempenho térmico de edificações: Aula 2: Conforto térmico**, 2012.46 f. Nota de aula.

LEHMUSKALLIO, E. **Cold protecting emollients and frostbite.** 2001. 96f (Dissertação de mestrado em medicina). Faculdade de medicina Departamento de demartologia e venereologia, Universidade de Oulu, 96f. 2001.

LEITE, E. S. C. M. **Stress Térmico por Calor – Estudo Comparativo dos Métodos e Normas de Quantificação.** 2002 (Dissertação de mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002, 152p.

LIM, C. L.; BYRNE, C.; LEE, J. K. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. **Rev. Ann Acad Med.** v. 37, n. 4, p.347-353, 2008.

LOPES, D. S.; OLIVEIRA, F. M. Avaliação da carga de trabalho físico e da postura de trabalhadores na produção de mudas florestais. **Cerne.**v. 17, n. 4, p.573-582, 2011.

LÓPEZ, R. M.; CLEARY, M. A.; JONES, L. C.; ZURI, R. E. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes. **Rev. J. Athl Train.** v. 43, n. 1, p. 55-61, 2008.

LORSCH, H. G. The Impact of the Building Indoor Environment on Occupant



Productivity – Part 2: Effects of temperature, **ASHRAE Transactions**. v.10, n.4, p.16-22. 1994.

MACHADO-MOREIRA C. A.; CALDWELL, J.N.; MEKJAVIC, I.B.; TAYLOR, N.A. Sweat secretion from palmar and dorsal surfaces of the hands during passive and active heating. **Aviat Space Environ Med**. v.79, n. 11, p. 1034-1040, 2008.

MALDAGUE, X.P. **Theory and practice of infrared technology for non destructive testing**. Wiley & Sons: New York: 2001.

MARTINS, A.; SÁ, V. W. B. Variation of skin temperature during and after contrast bath therapy. **Rev Andal Med Deporte**. v. 4, n. 4, p. 129-134, 2011.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2003.

Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-15: atividades e operações insalubres**. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20\(atualizada%202011\)%20II.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20(atualizada%202011)%20II.pdf)>. Acesso em: jun. 2012.

Ministério do trabalho e do emprego. Secretaria de segurança e saúde no trabalho. **Portaria Nº 25, de 29 de dezembro de 1994**. Disponível em: <[http://www.ccs.ufrj.br/arquivos/biosseguranca/norma\\_de\\_riscos\\_ambientais\\_no\\_ambiente\\_d\\_e\\_trabalho\\_-\\_ministerio\\_do\\_trabalho\\_e\\_emprego.pdf](http://www.ccs.ufrj.br/arquivos/biosseguranca/norma_de_riscos_ambientais_no_ambiente_d_e_trabalho_-_ministerio_do_trabalho_e_emprego.pdf)>. Acesso em: jun. 2012.

NAKATA, C.M.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G. Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano. **Rev. Ação Ergonômica**. v.5, n. 2 p. 2010.

NIKOLOPOULOU, M. **Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach**. Atenas, CRES. 2004.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Rev. Amb. Construído**. v. 7, n. 3, p. 43-58, 2007.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Working outdoors in warm climates**. 2005 Disponível em: <[www.osha.gov/index.html](http://www.osha.gov/index.html)>. Acesso em: 16 fev. 2013.

OKASAKI, K. et al. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. **J. Appl. Physiol**. v. 93, p. 1630-1637, 2002.

OLIVEIRA, L. M. F. DE et al. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.26, n.3, p.823-831, set/dez. 2006.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance**. 2ª ed. London: Taylor and Francis, 2003.

PASCOE, D. D.; MERCER, J. D.; WEERD, L. **Physiology of thermal signals**. In: DIAKIDES, N.A, BRONZIN, J.D. **medical infrared imaging**. Boca Raton: CRC Press; 2008. p. 6-20.

POOLE, J. G. et al. Vascular and metabolic response to cycle exercise in sedentary humans: effect of age. **Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.** v. 284, p. 1251-1259, 2003.

PRONINA, T.S.; RYBAKOV, B.P. Features of the circadian rhythm of temperature of the skin at children of 8-9 years and young men and girls. **Fiziol Cheloveka**. v.37 n.4, p. 98-104, 2011.

PUMPRLA F.; HOWORKA K.; GROVES D.; CHESTER M.; NOLAN J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. **Int J Cardiol.** v.84, p.1-14, 2002.

QUEMELO, P.R.V.; ARAR, M.B.; COELHO, A.R.; GOTTARDO, D. Avaliação ergonômica e prevalência das doenças relacionadas ao trabalho em empresas calçadistas. **Colloquium Vitae**. v. 1, n. 2, p. 95-100, 2009.

RING E.F.J. Progress in the measurement of human body temperature. **IEEE Eng Med Biol Mag.** v. 17, n. 4, p.19-24, 1998.

REPELLI, C.A. Sensação térmica em Fortaleza – CE, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 5., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília, 1998.

RUAS, A. C. **Avaliação do conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego –FUNDACENTRO, 2001.

SALES, R.B.C. **Estudo de compostos de cimento Portland utilizando o ensaio de frequência ressonante forçada e termografia**. 2008. (Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BÓRMIO, M. F. Conforto térmico: uma avaliação em tratores agrícolas sem cabine.SP. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2004, Bauru. **Anais...** Bauru: Universidade Estadual Paulista, p.35-39. 2004.

SCHLADER, Z. J.; STANNARD, S. R.; MÜNDEL, T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise - a prospective review. **Rev. Physiol. Behav.** v. 99, n. 3, p. 269-75, 2010.

SCHLOSSER, J.F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria : UFSM, Departamento de Engenharia Rural, 2001. 63p.

SILVA, D.M. **Relação entre Variabilidade da Frequência cardíaca e a Relação Cintura/Anca**. 2012. (Dissertação de mestrado em educação física) - Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

SILVA, E. M. da; CORRÊA, D. M.; RIBEIRO, A. G. O conforto térmico na cidade de Uberlândia–MG. MG. *In: II Simpósio Regional de Geografia “Perspectivas para o Cerrado no século XXI”* 2005, Uberlândia. **Anais...**, Minas Gerais, 2005, CD-ROM.

SILVA, L. B. Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: O caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da Caixa Econômica Federal do estado do Pernambuco.2001 (Tese de doutorado em engenharia de produção) – Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade de Santa Catarina. 2001.

SILVA, N. R. D. **Avaliação do conforto térmico.** 2007. 35 f. (Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho). Universidade de Santa Cecília, Santos, 2007.

SRINAVIN, K.; MOHAMED, S. Thermal Environment and Construction Workers’ Productivity: Some Evidence from Thailand. **Building and Environment**, v. 38, 2003. p. 339-345.

STATHOPOULOS, T.; Wu, H.; ZACHARIAS, J. Outdoor Human Comfort in an Urban Climate. **Building and Environment**, Vol. 39, p. 297-305.2004.

TAVARES, S.G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de arte.** 2007. (Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

THOMAS, K.A.; BURR, R.; WANG, S.Y.; LENTZ, M.J.; SHAVER, J.; Axillary and thoracic skin temperatures poorly comparable to core body temperature circadian rhythm: results from 2 adult populations. **Biol Res Nurs.** v. 5, n. 3, p. 187-194, 2004.

VAINER, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. **Rev. Phys. Med. Biol.** v. 50, n. 23, p. 63-94, 2005.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia.** Versão digital. Recife, 2005.

VARGAS, J. V. C.; BRIOSCHI, M. L.; DIAS, F. G.; PAROLIN, M. B.; MULINARI-BRENNER, F. A.; ORDONEZ, J. C.; COLMAN, D. Normalized methodology for medical infrared imaging. **Rev. Infrar. Phys. Technology.** v. 52, n. 1, p. 42-47, 2009.

VILLASENOR-MORA, C; SANCHEZ-MARIN F.J; CALIXTO-CANON, S. An indirect skin emissivity measurement in the infrared thermal range through reflection of a CO<sub>2</sub> laser beam. **Rev. Mex. Fís.**, Mexico, v. 55, p.387-392, 2009.

WAKAMURA, T.; TOKURA, H. Circadian rhythm of rectal temperature in humans under different ambient temperature cycles. **Journal of Thermal Biology.** v. 27, n. 5, p. 439-447, 2002.

APÊNDICE A – Análise de resíduo versus valor ajustado em função das condições de operação e dos horários trabalhados

Figura 41 - Gráfico de trabalhados resíduo versus valor ajustado do ITU na operação de subsolagem, com trator com capota, em todos os horários

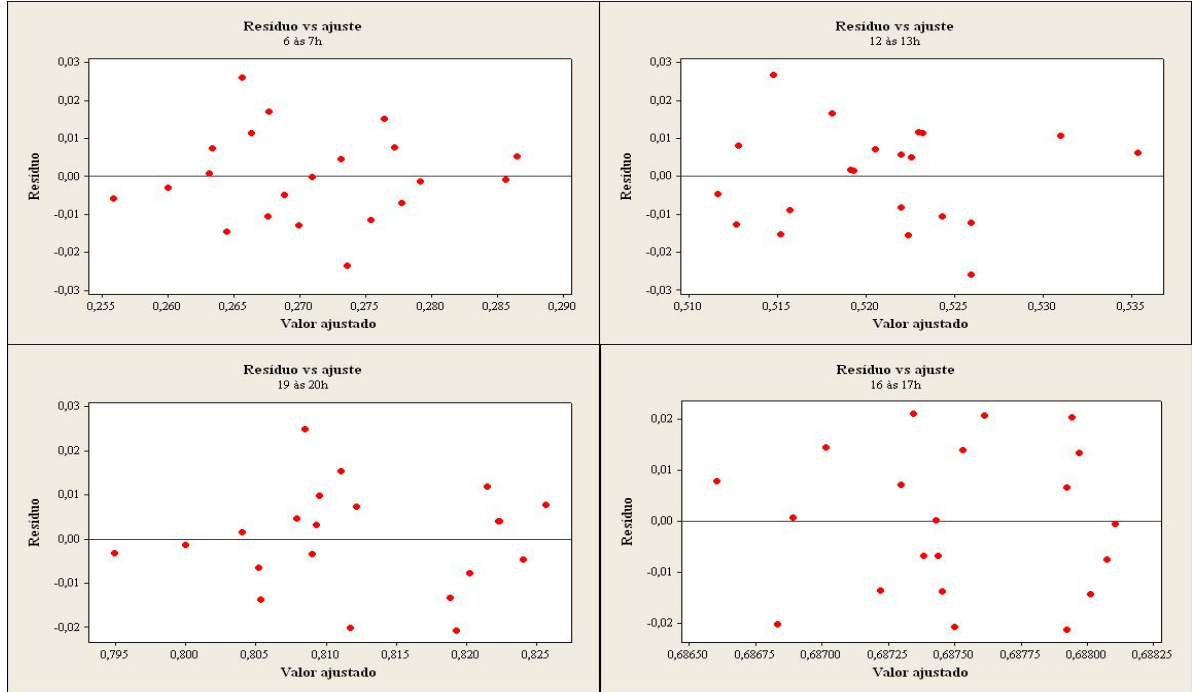


Figura 42 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do ITU na operação de aração, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

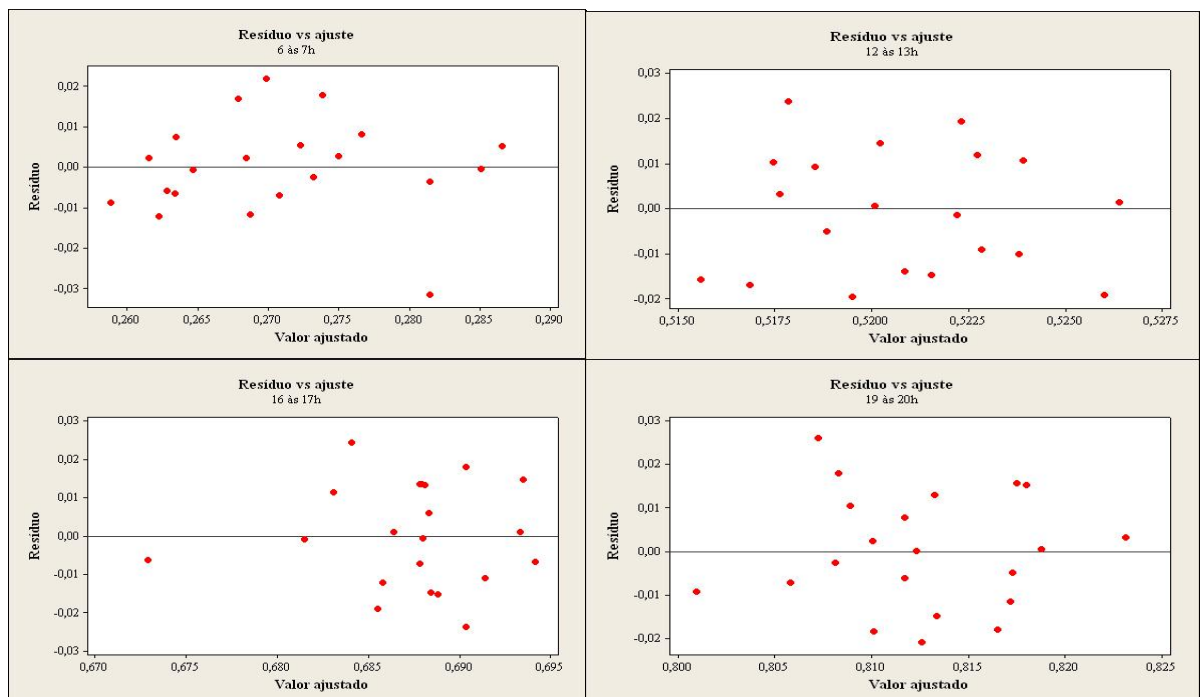


Figura 43 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do ITU na operação de aração, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

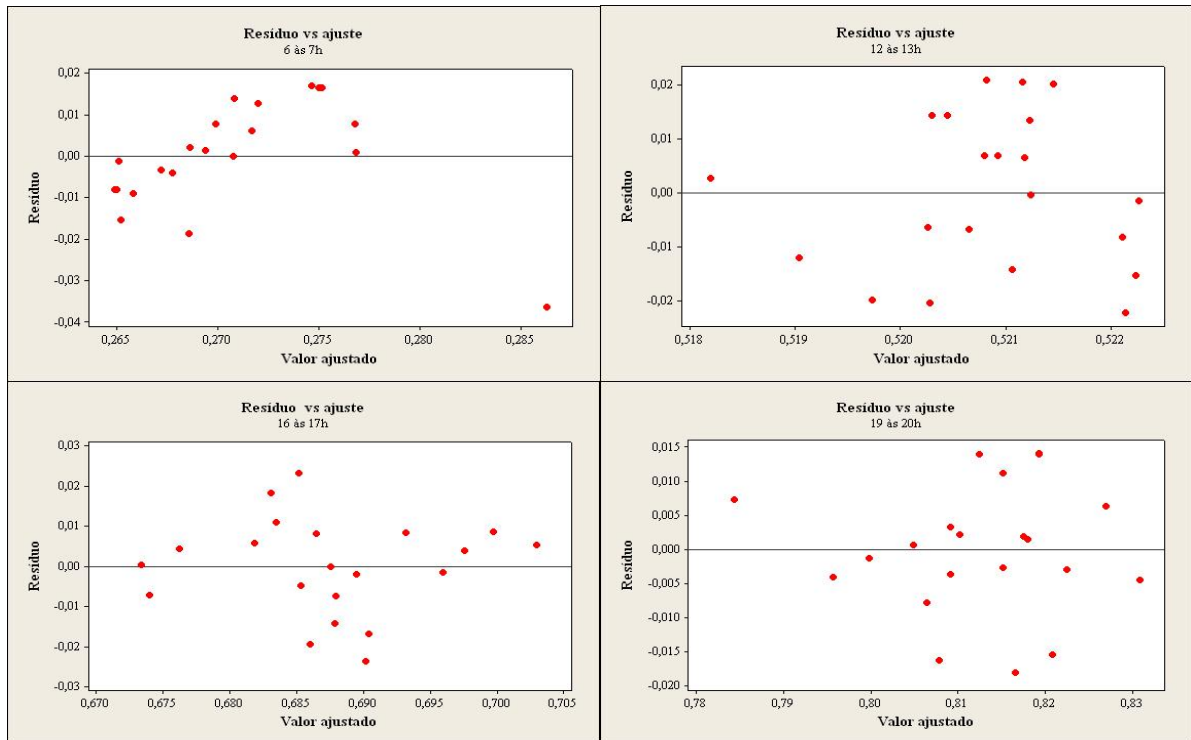


Figura 44 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do ITU na operação de subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

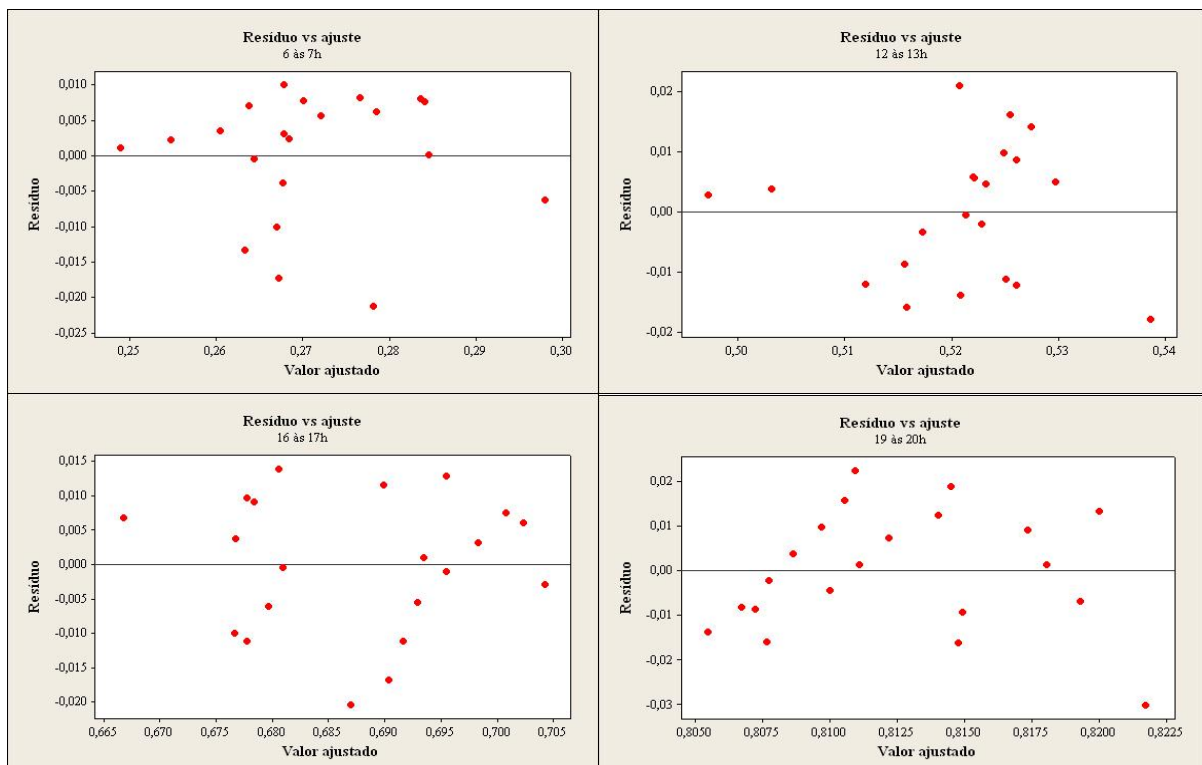


Figura 45 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do IBUTG na operação de subsolagem, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

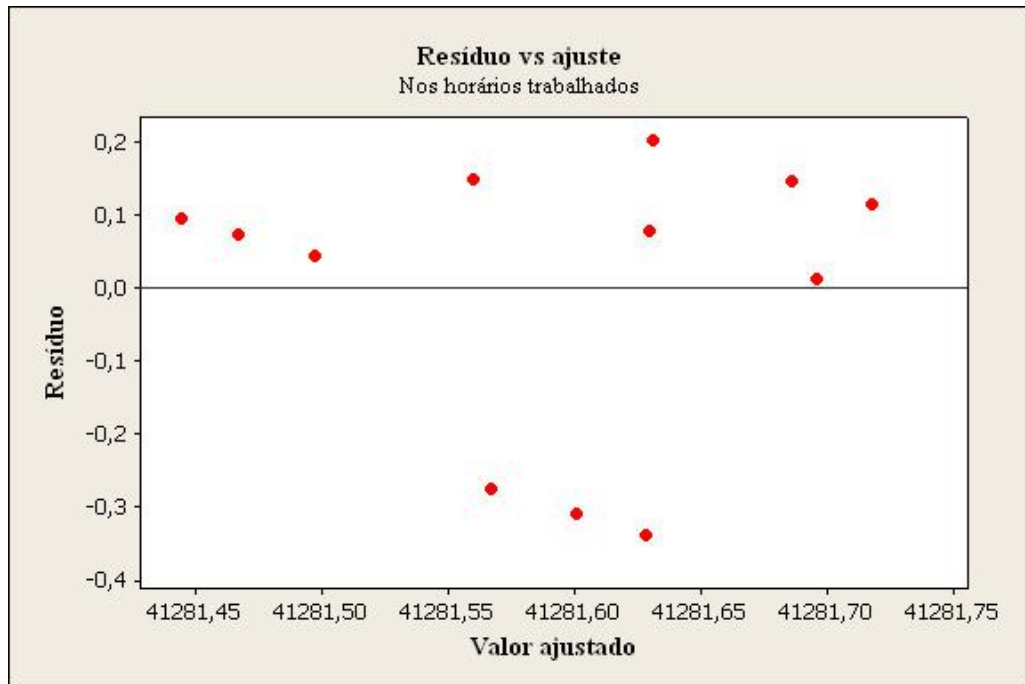


Figura 46 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do IBUTG na operação de aração, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

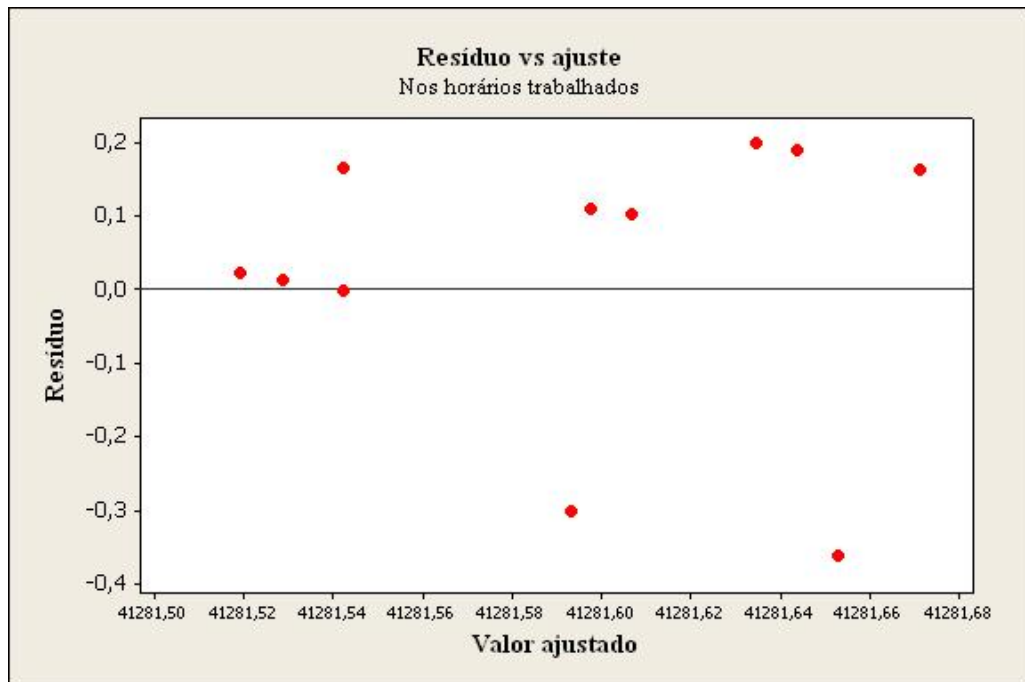


Figura 47 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do IBUTG na operação de aração, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

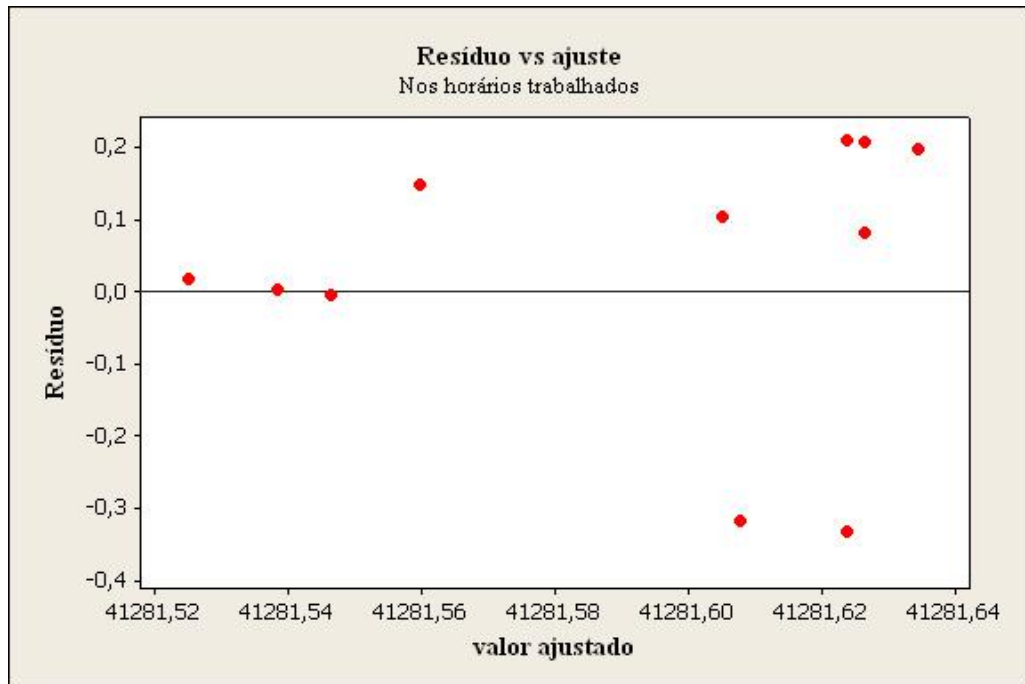


Figura 48 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado do IBUTG na operação de subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

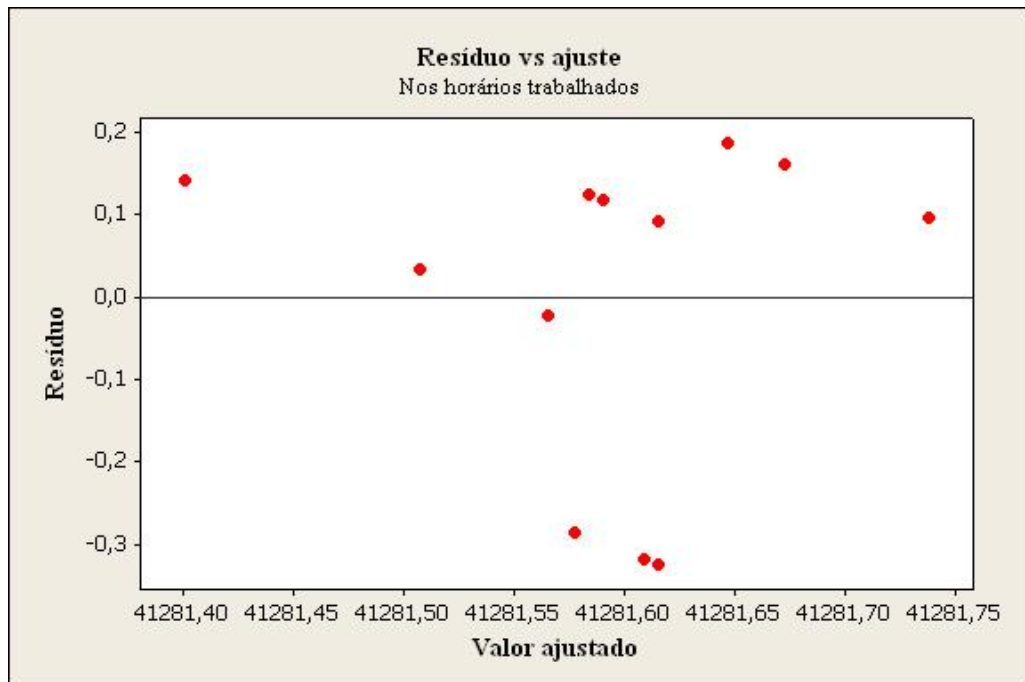


Figura 49 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da face do operador realizando subsolagem, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

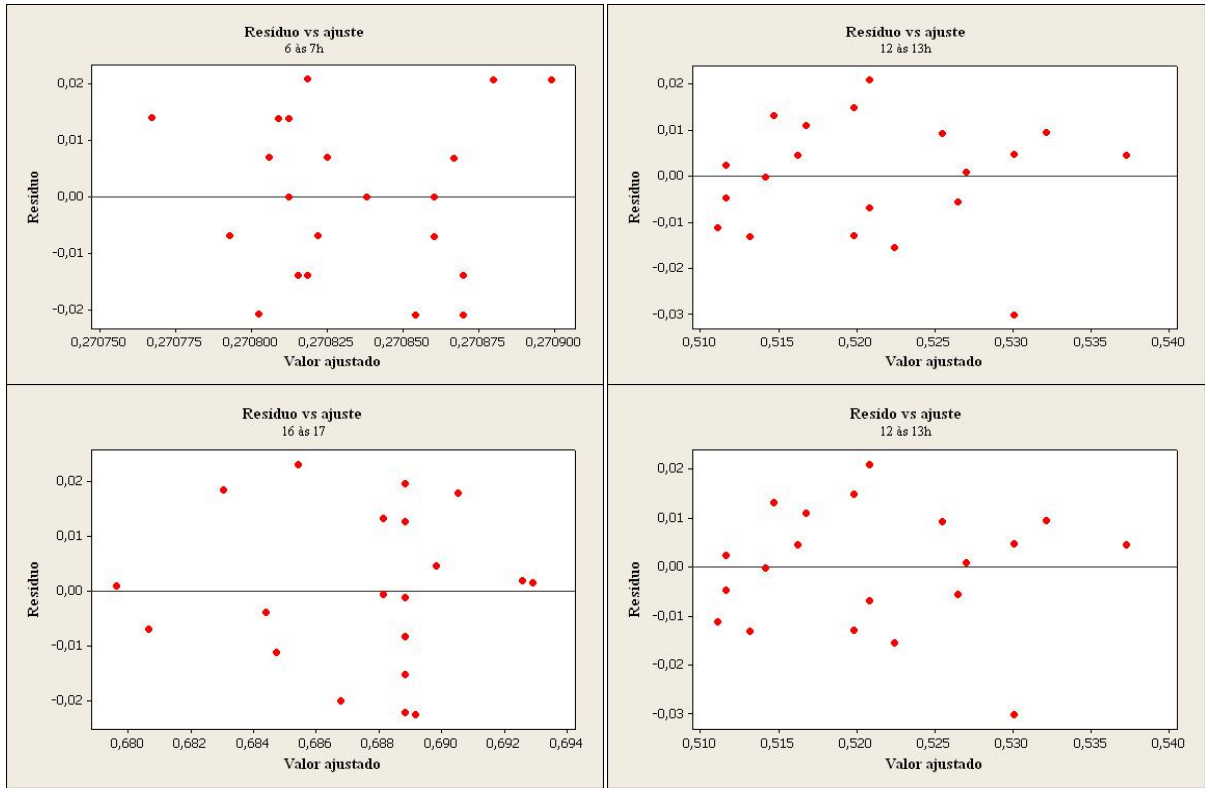


Figura 50 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da face do operador realizando aração, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

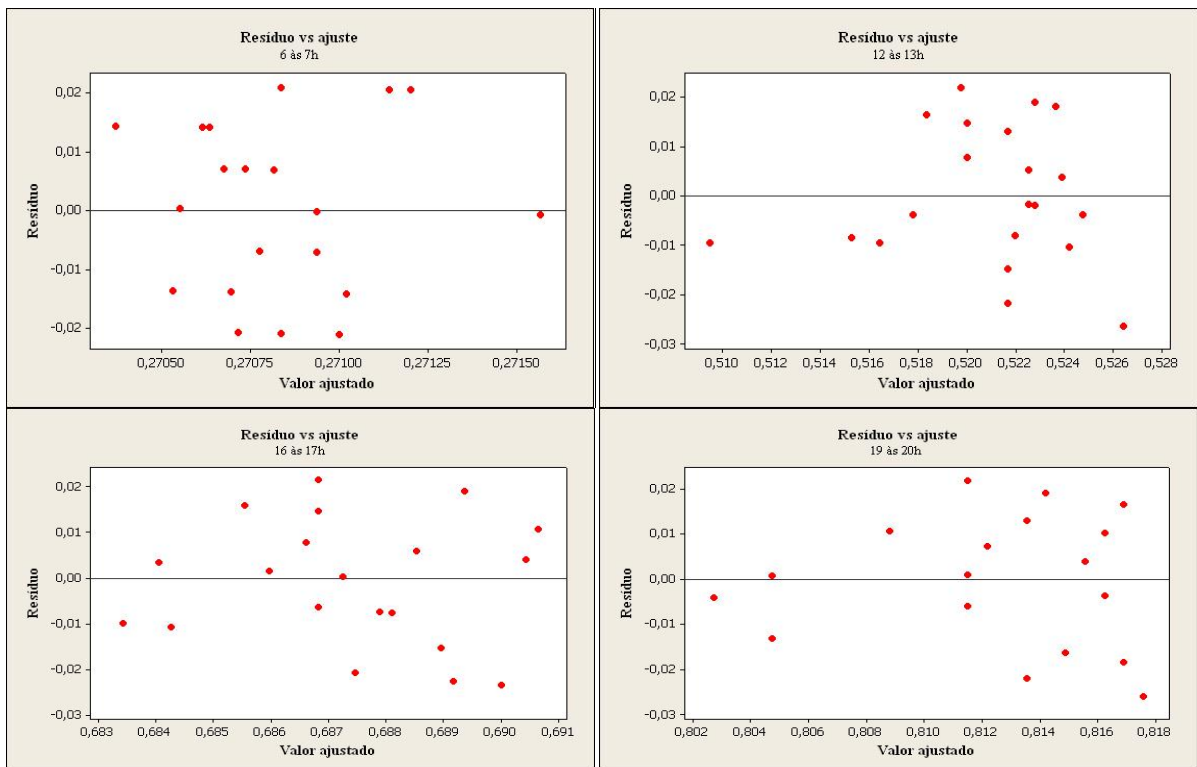




Figura 51 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da face do operador realizando aração, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

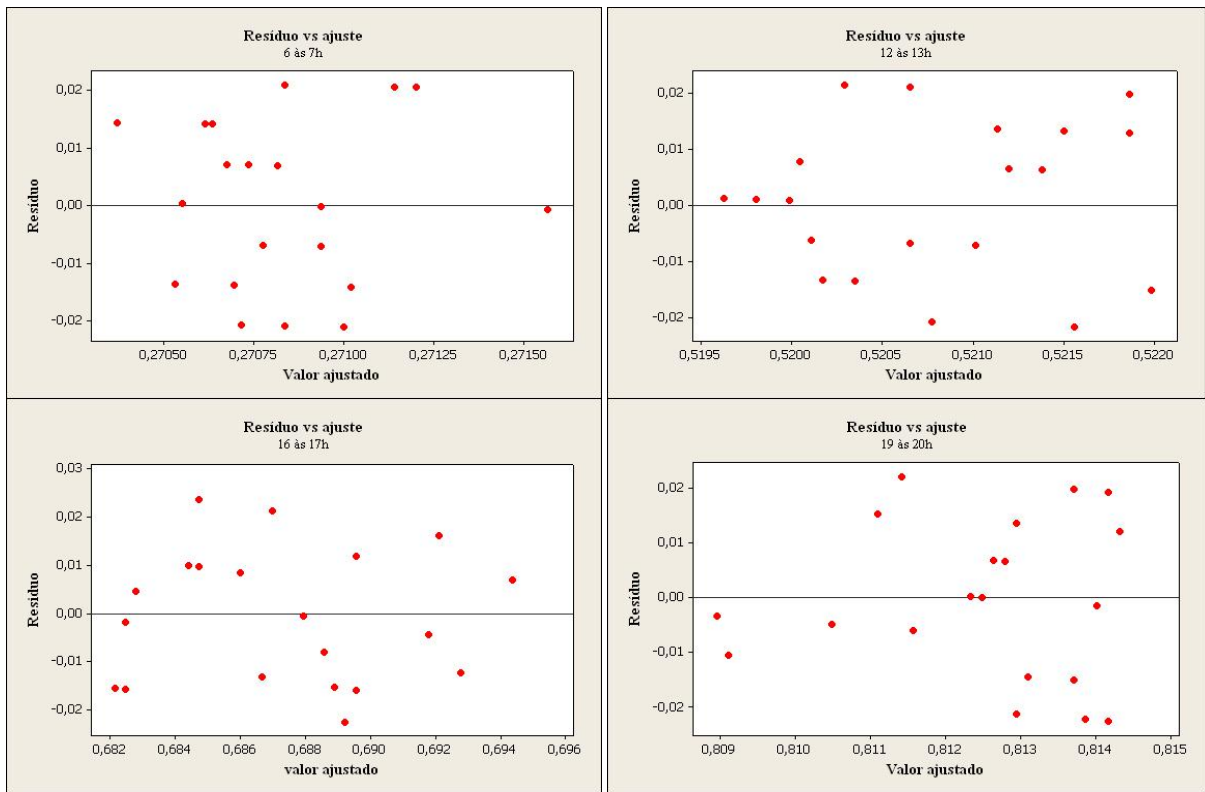


Figura 52 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da face do operador realizando subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

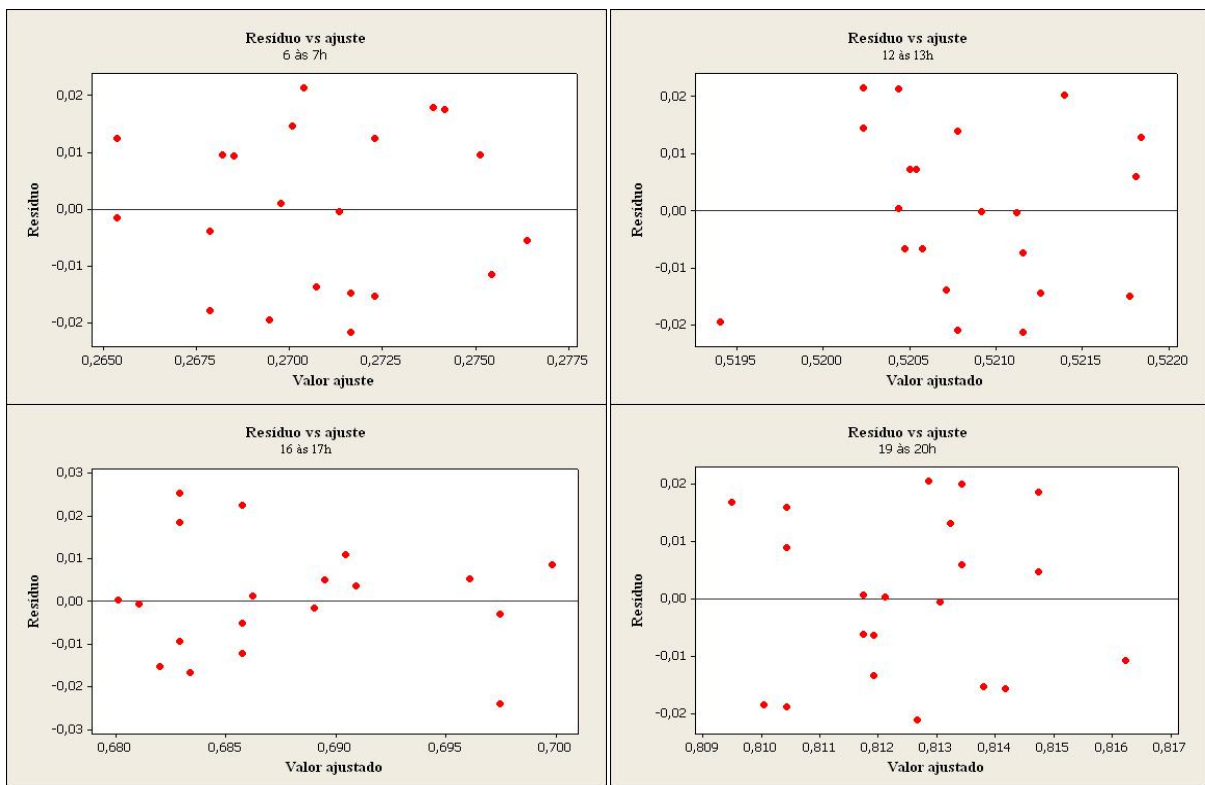


Figura 53 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura do braço do operador realizando subsolagem, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

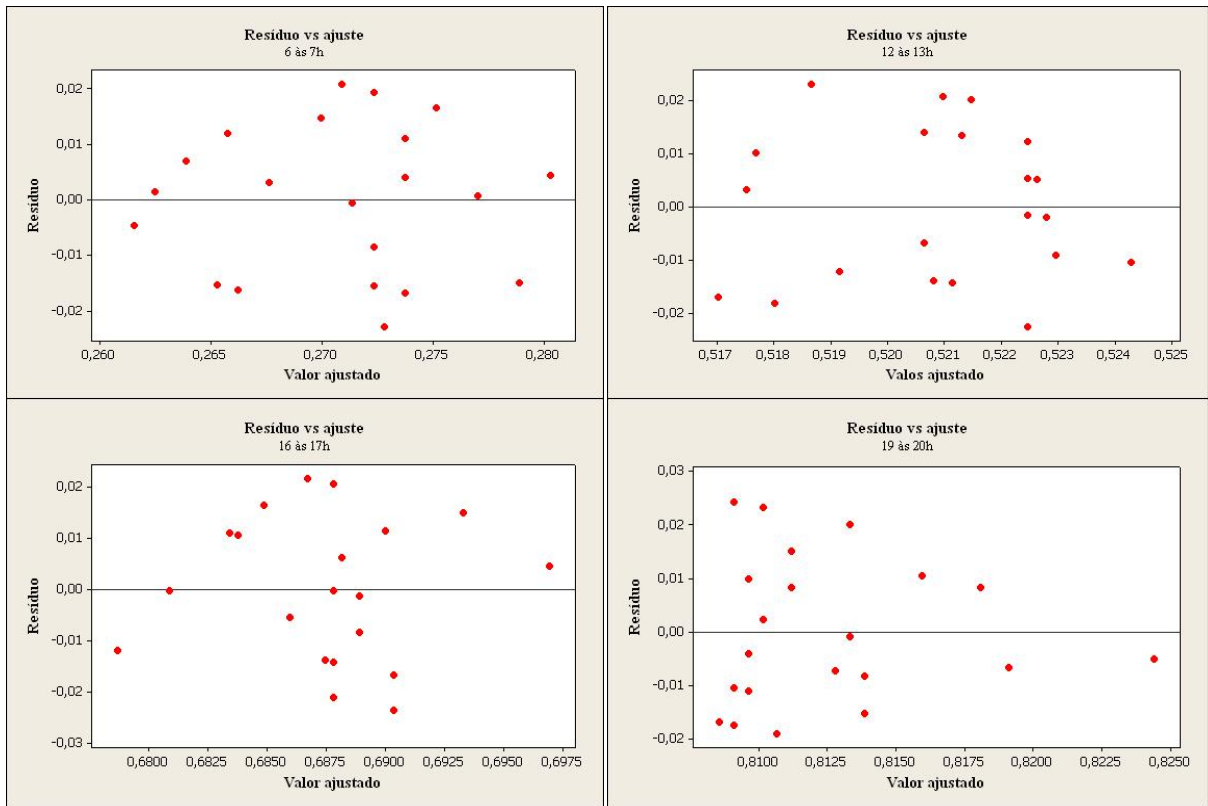


Figura 54 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura do braço do operador realizando aração, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

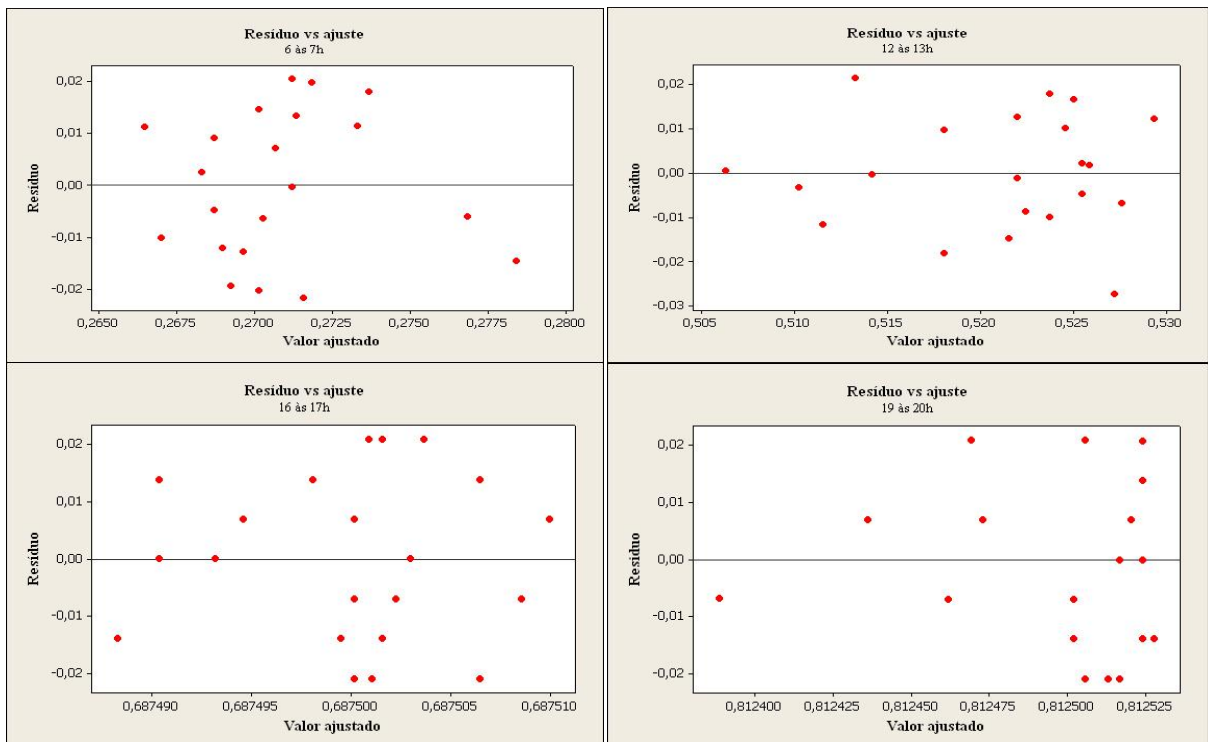


Figura 55 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura do braço do operador realizando aração, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

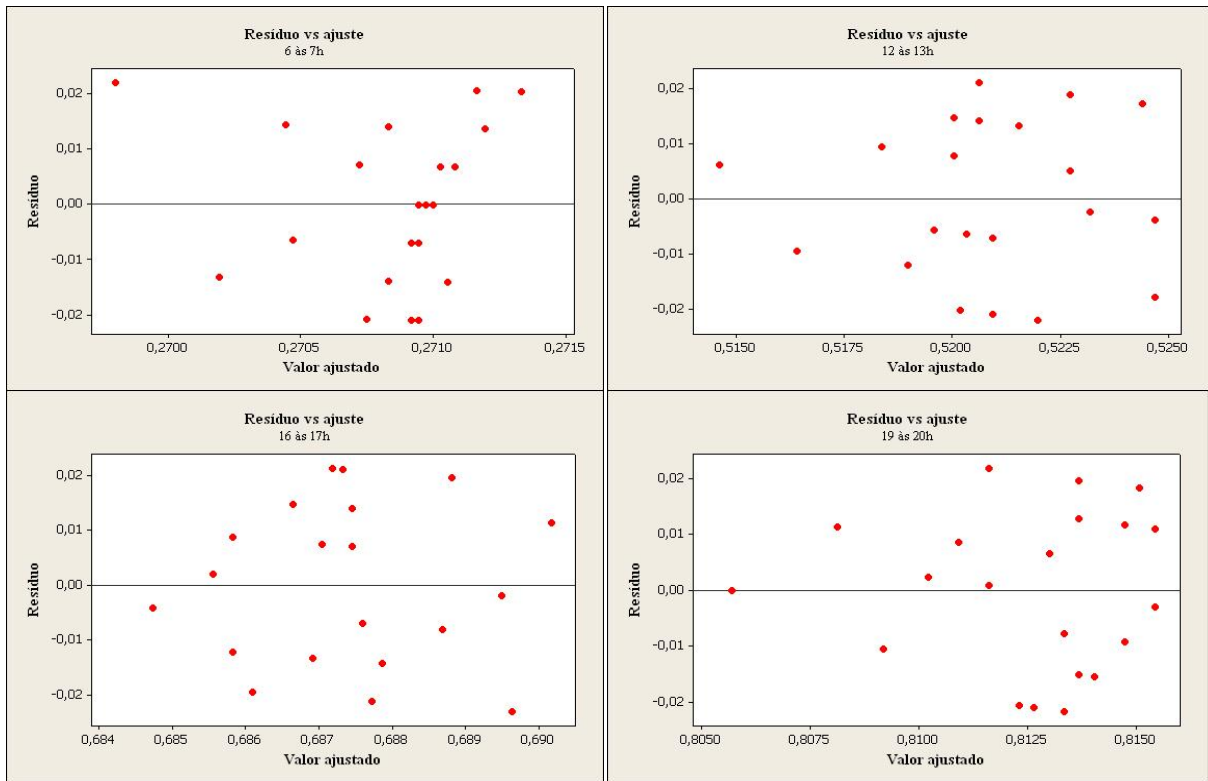


Figura 56 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura do braço do operador realizando subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

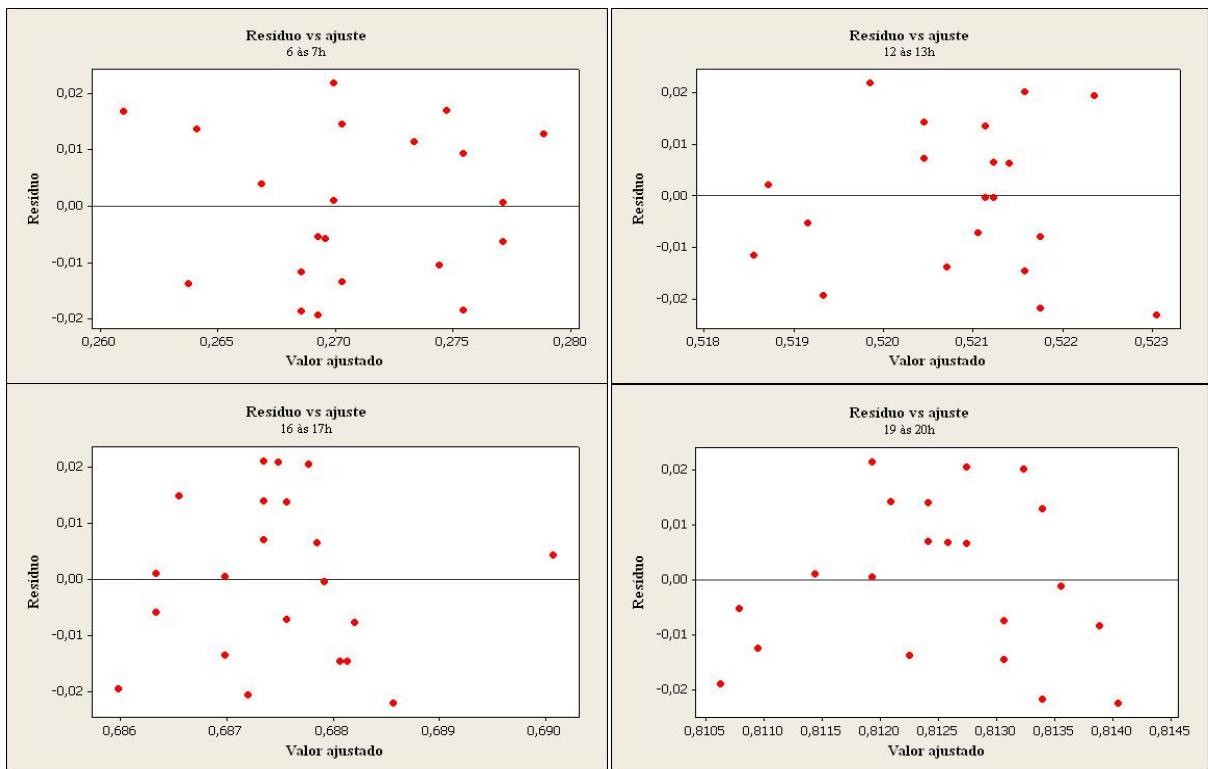


Figura 57 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da mão do operador realizando subsolagem, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

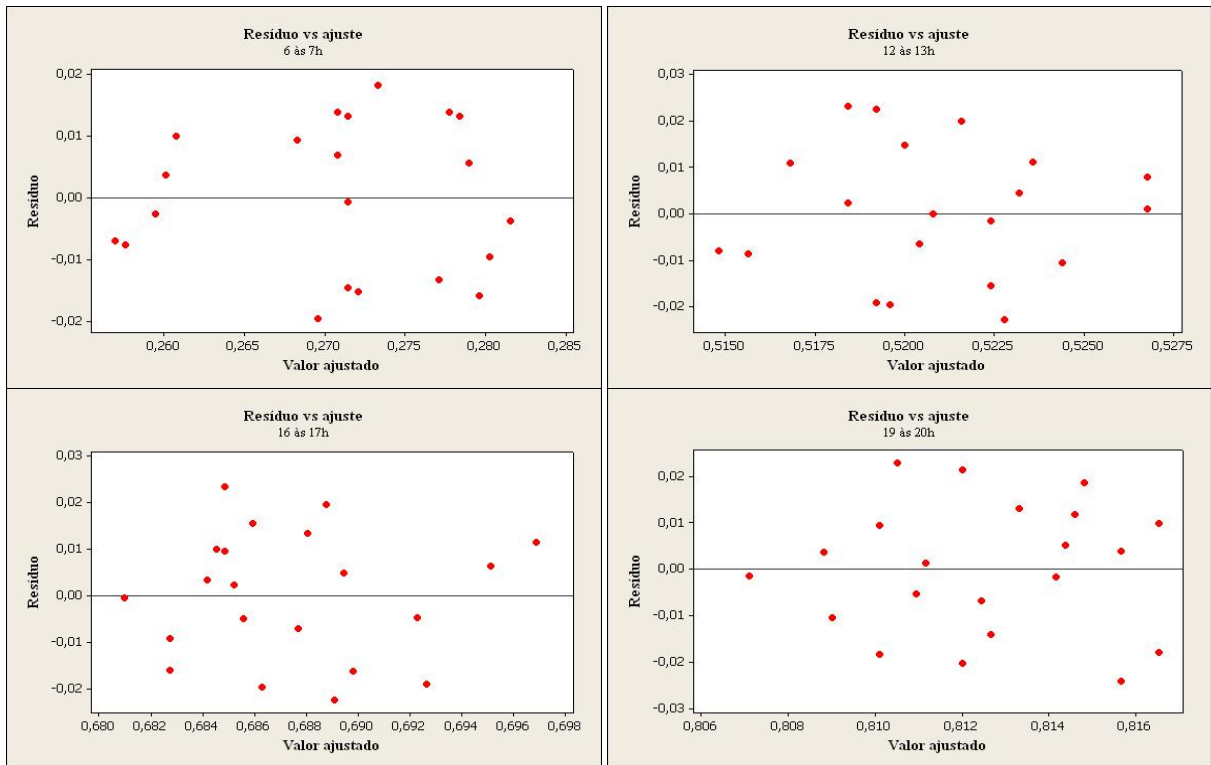


Figura 58 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da mão do operador realizando arado, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

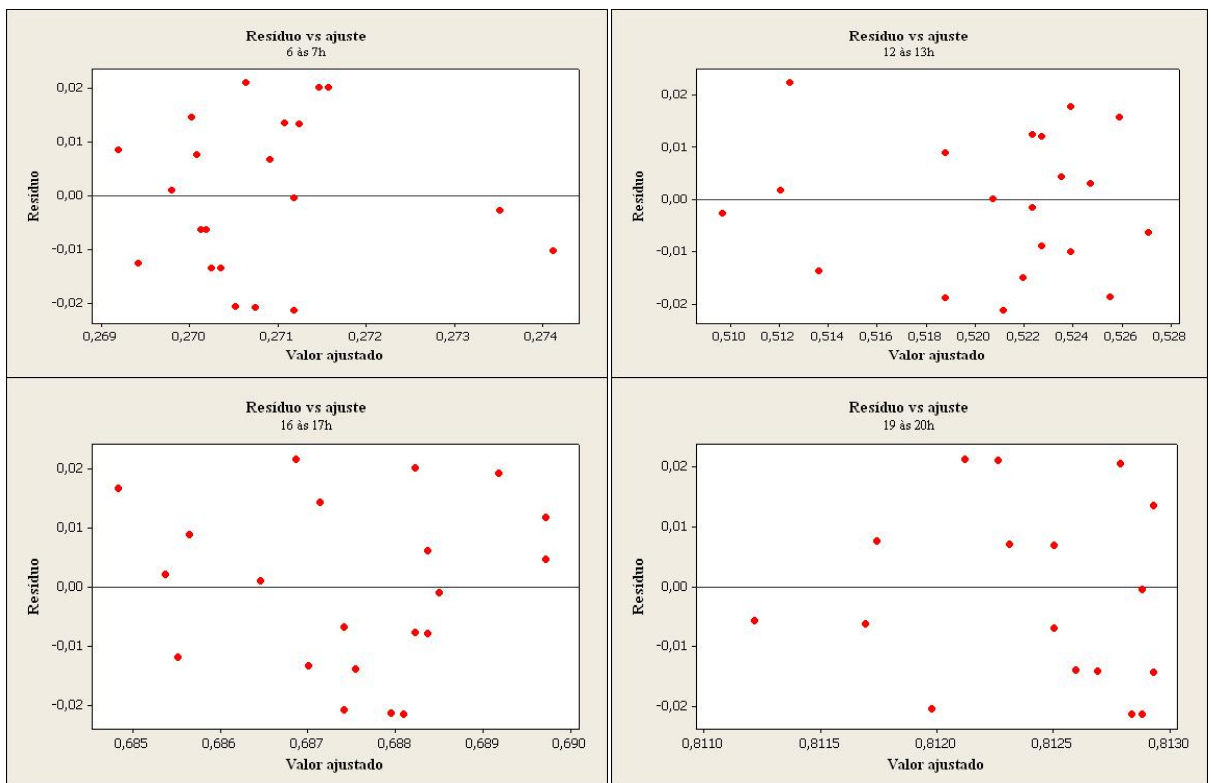


Figura 59 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da mão do operador realizando arado, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

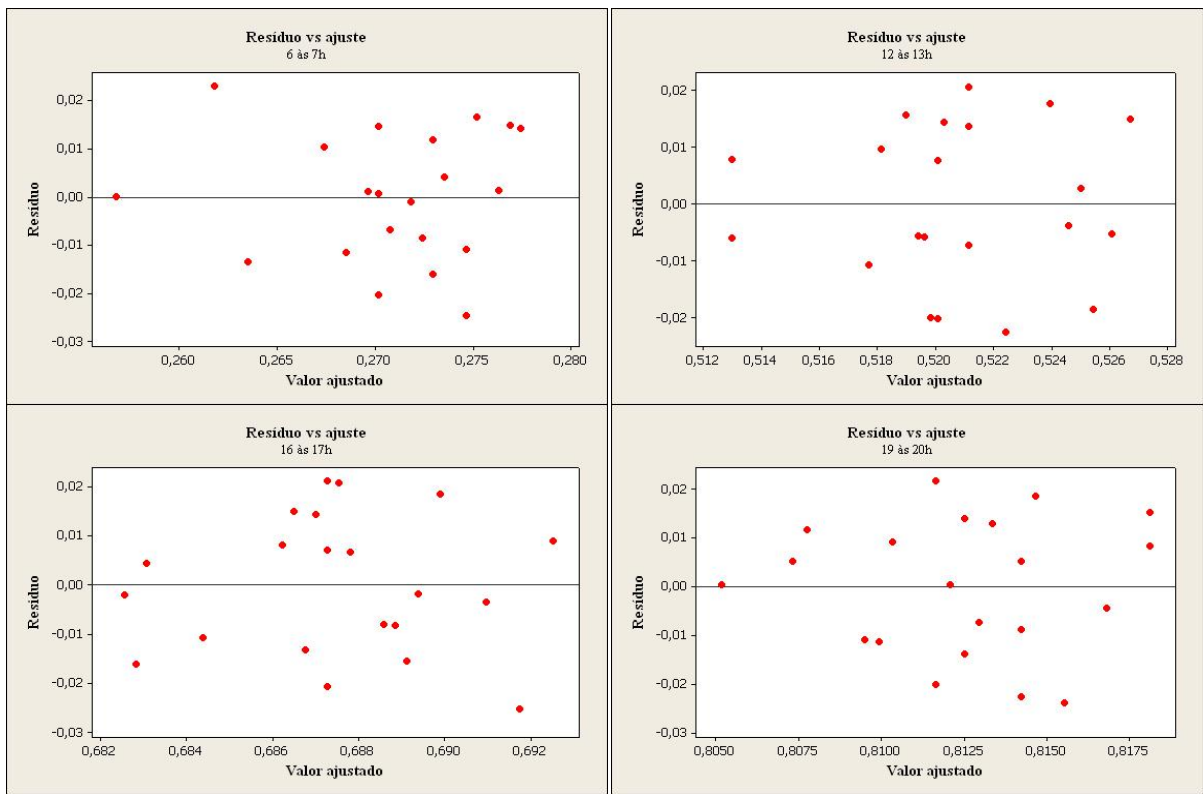


Figura 60 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da mão do operador realizando subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

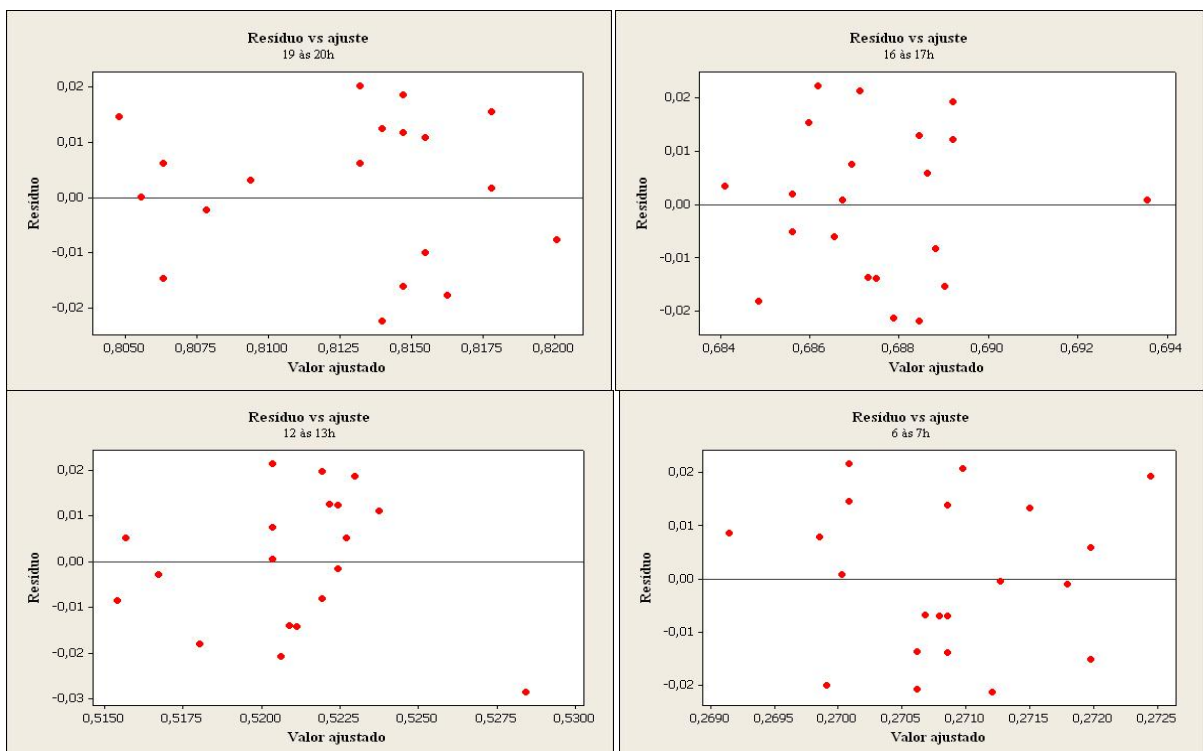


Figura 61 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da perna do operador realizando subsolagem, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

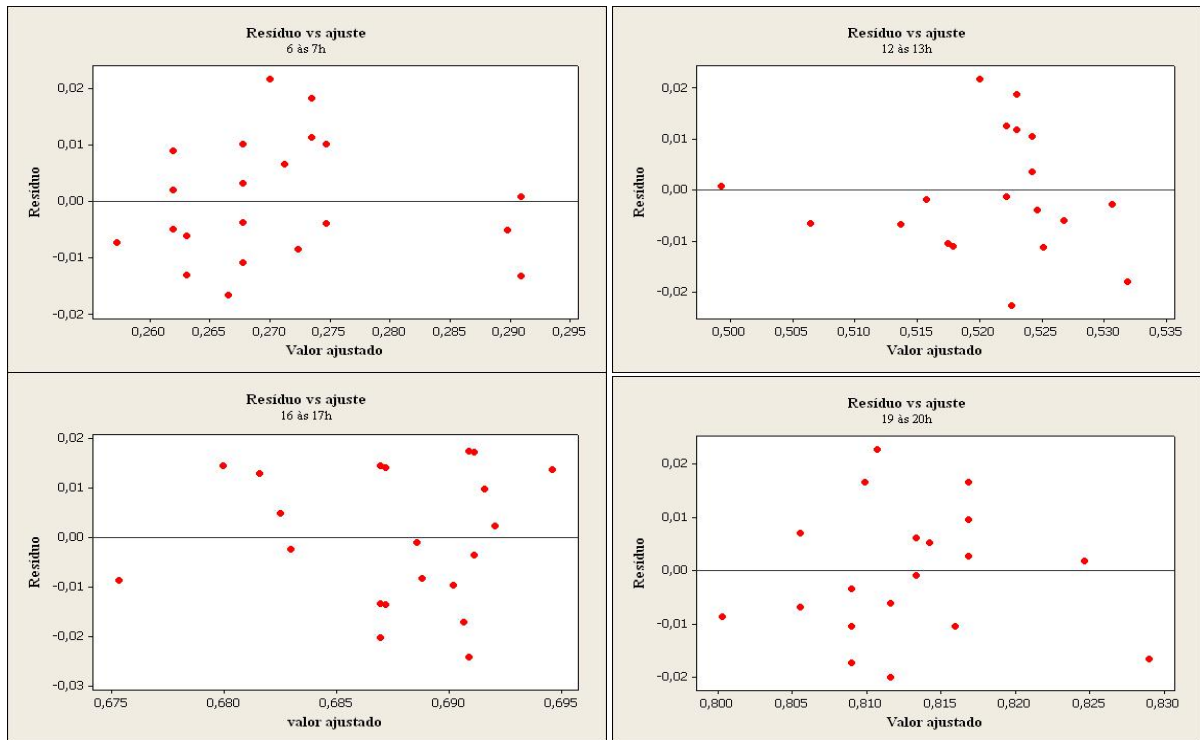


Figura 62 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da perna do operador realizando aração, com trator com capota, em todos os horários trabalhados

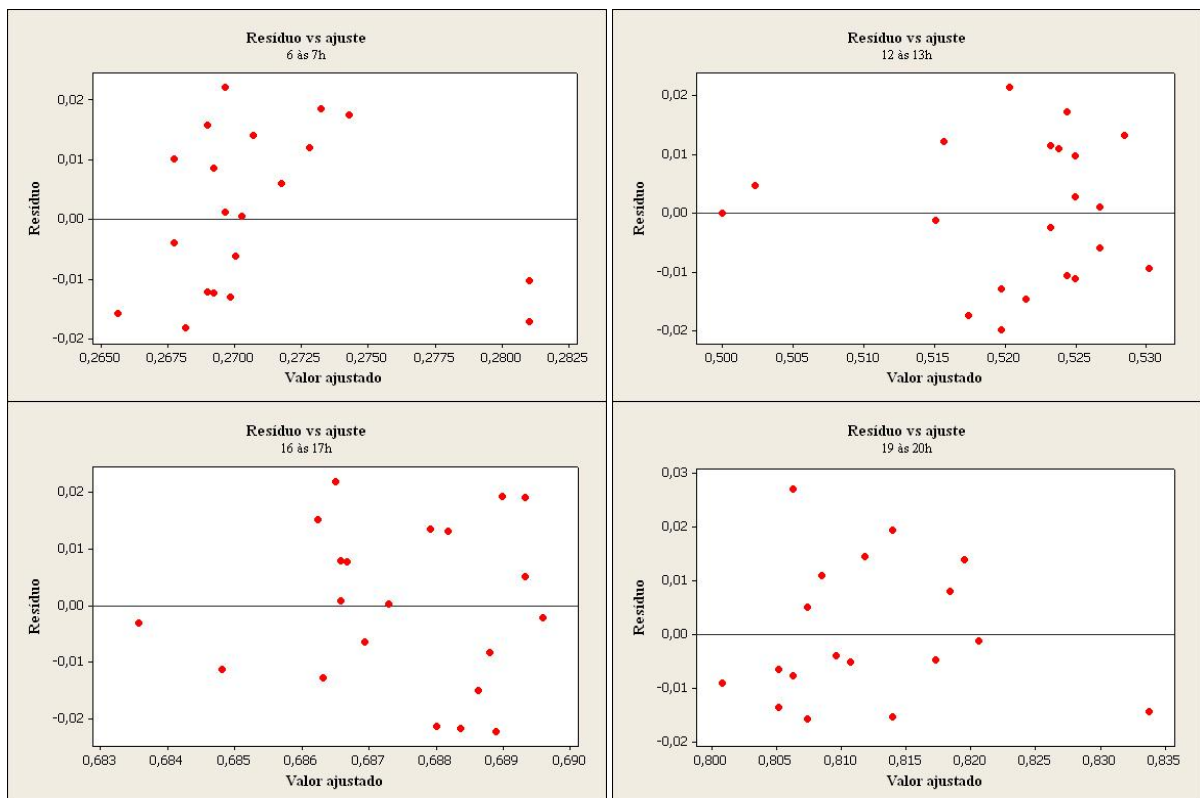


Figura 63 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da perna do operador realizando aração, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados

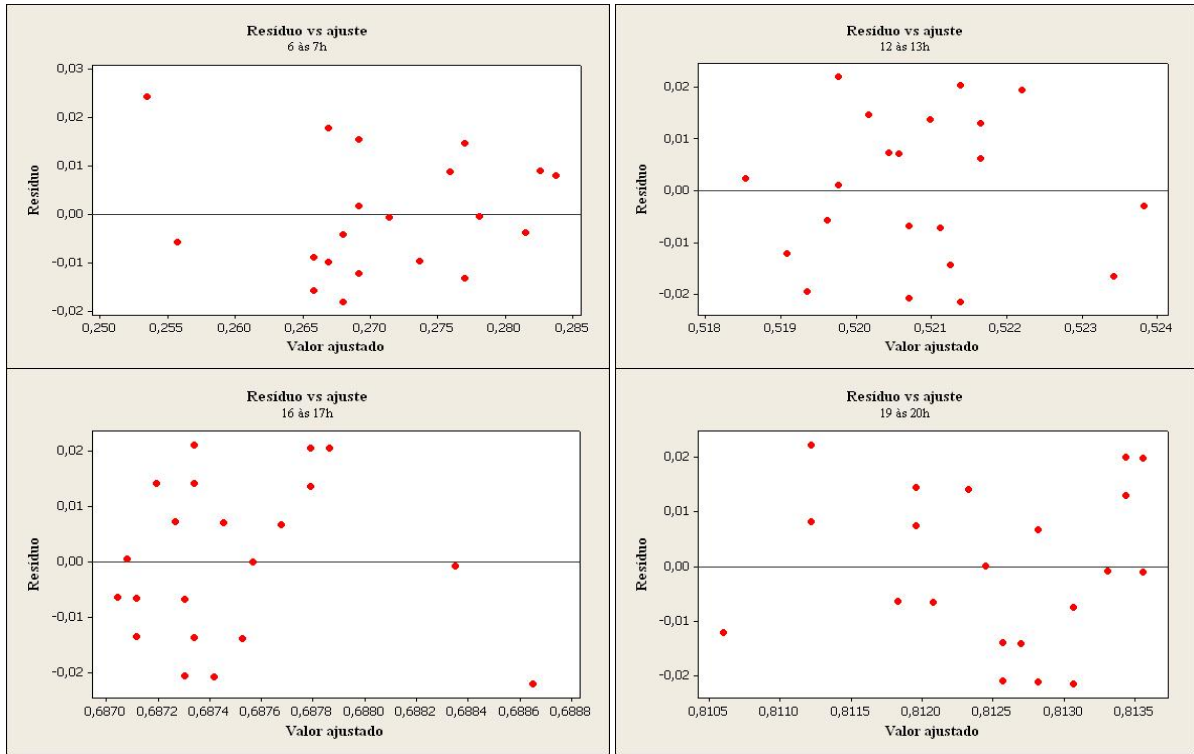
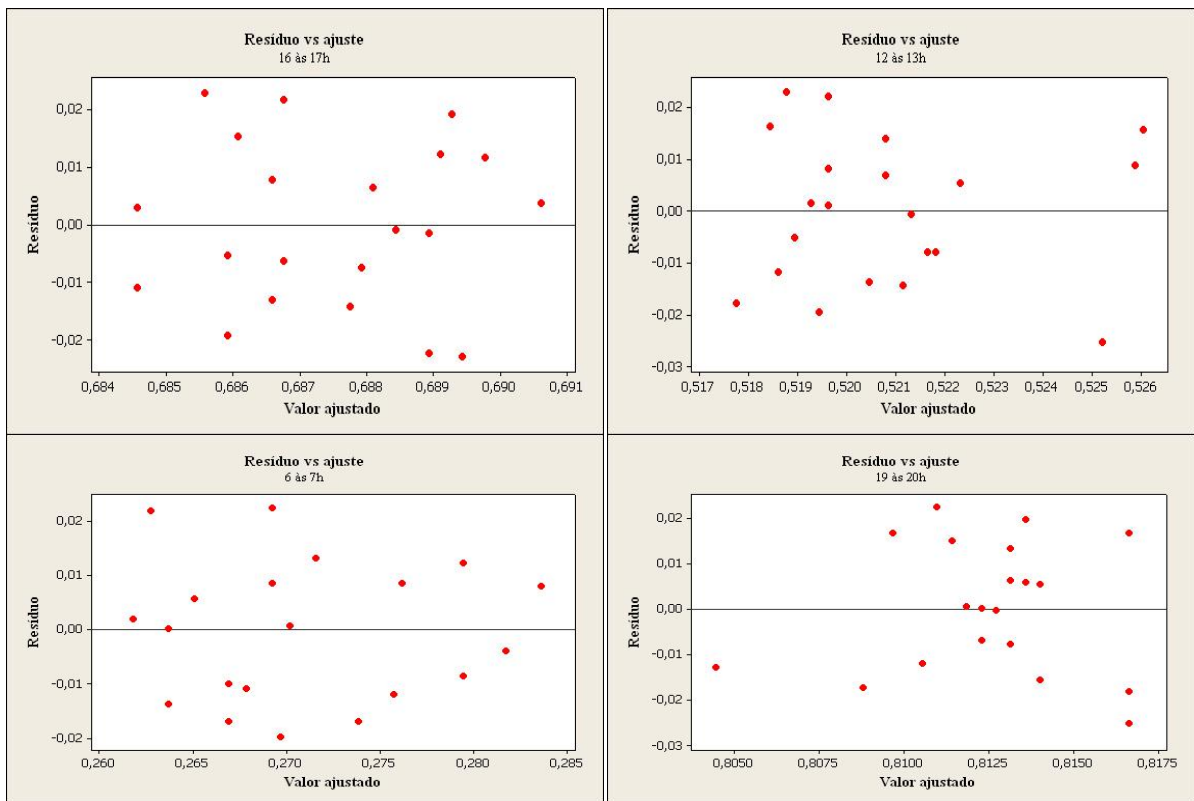


Figura 64 - Gráfico de resíduo versus valor ajustado da temperatura da perna do operador realizando subsolagem, com trator sem capota, em todos os horários trabalhados



## APÊNDICE B – Análise de variância

Tabela 8 – Análise da variância da CCV(%) média de acordo com as condições de operação

FONTE DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
TRATAMENTO	3	5,51	1,84	2,35 ns
RESÍDUO	11	6,24	0,78	
TOTAL	8	11,75		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Tabela 9 – Análise da variância da temperatura cutânea facial média nos horários estudados

FONTE DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
TRATAMENTOS	15	475,66	31,71	22,85**
RESÍDUO	320	444,18	1,39	
TOTAL	335	919,84		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Tabela 10 – Análise da variância da temperatura cutânea do braço média nos horários estudados

FONTE DE VARIÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
TRATAMENTO	15	719,93	48	30,7**
RESÍDUO	320	505,75	1,58	
TOTAL	335	1225,68		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )



Tabela 11 – Análise da variância da temperatura da cutânea da mão média nos horários estudados

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
TRATAMENTO	15	549,58	36,64	24,51**
RESÍDUO	320	478,39	1,50	
TOTAL	335	1027,96		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Tabela 12 – Análise da variância da temperatura da cutânea da perna média nos horários estudados

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
TRATAMENTO	15	1533,28	102,22	63,86**
RESÍDUO	320	512,22	1,60	
TOTAL	335	2045,5		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )