

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

O USO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO HUMANA PARA A
AVALIAÇÃO DE CARGAS FÍSICAS DE TRABALHO: UMA
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO EM
AMBIENTE REAL NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA E
AMBIENTE DIGITAL

Ana Carolina Parise Diniz

SÃO CARLOS
2014

**O USO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO HUMANA PARA A
AVALIAÇÃO DE CARGAS FÍSICAS DE TRABALHO: UMA
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO EM
AMBIENTE REAL NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA E
AMBIENTE DIGITAL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

O USO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO HUMANA PARA A
AVALIAÇÃO DE CARGAS FÍSICAS DE TRABALHO: UMA
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO EM
AMBIENTE REAL NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA E
AMBIENTE DIGITAL

Ana Carolina Parise Diniz

Dissertação de mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte do requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Dr. Nilton Luiz Menegon

SÃO CARLOS
2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

D585uf Diniz, Ana Carolina Parise.
O uso de ferramentas de simulação humana para a
avaliação de cargas físicas de trabalho : uma análise
comparativa entre a aplicação em ambiente real na indústria
aeronáutica e ambiente digital / Ana Carolina Parise Diniz. --
São Carlos : UFSCar, 2014.
103 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2014.

1. Ergonomia. 2. Simulação humana. 3. Manequins
humanos. 4. Software. I. Título.

CDD: 658.542 (20^a)

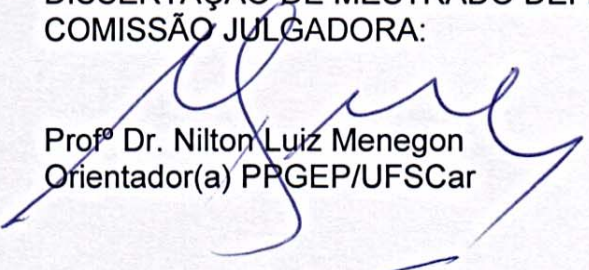


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)
Email : ppgep@dep.ufscar.br

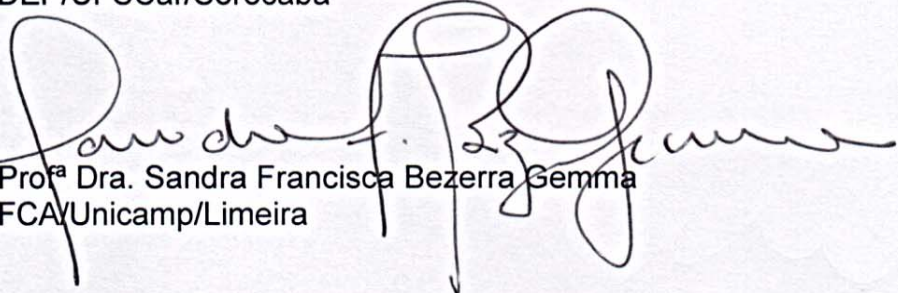
FOLHA DE APROVAÇÃO

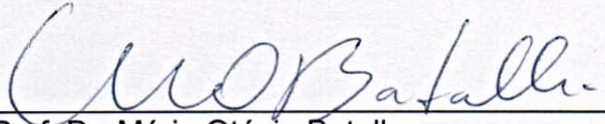
Aluno(a): Ana Carolina Parise Diniz

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 20/05/2014 PELA
COMISSÃO JULGADORA:


Prof.º Dr. Nilton Luiz Menegon
Orientador(a) PPGE/UFSCar


Prof.ª Dr.ª Andréa Regina Martins Fontes
DEP/UFSCar/Sorocaba


Prof.ª Dra. Sandra Francisca Bezerra Gemma
FCA/Unicamp/Limeira


Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE

Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE

*Com amor e carinho,
dedico este trabalho à minha mãe,
que sempre me apoiou e lutou
para que eu chegasse até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me dar forças para concluir este trabalho com a dedicação que sempre busquei.

À minha mãe, Maria Cecília, que sempre acreditou nas minhas escolhas e em mim, me dando apoio e muito amor. Te amo, mãe.

Ao meu irmão, Carlos Eduardo, por ser um grande exemplo na minha vida e me ensinar a acreditar que todos somos capazes de alcançar nossos objetivos.

Ao Tiago, meu companheiro querido, que me deu forças e esteve ao meu lado nesta fase importante da minha vida. Agradeço pelos conselhos, por me ouvir e me apoiar quando precisei.

Aos meus primos João Paulo e Vanessa, por me deixarem usufruir de sua casa para finalizar meu estudo.

Aos meus avós, João e Amábile, por me abrigarem em sua casa e compreenderem esta fase da minha vida.

Aos meus amigos e primos, que sempre estiveram ao meu lado, me ouvindo e me divertindo, em especial Adriane, Fernanda, Bruna e Tatiana.

Às minhas amigas de São Carlos, Alana, Bianca, Maíra e Marina, que me abrigaram com muito carinho em suas casas.

À Manoela, minha amiga e veterana tão querida, que me ajudou em todos os meus passos do mestrado.

Aos meus professores de graduação e pós-graduação, por me ensinarem teorias e lições de vida, em especial à Ana Beatriz de Oliveira (Bia).

Às professoras da minha banca, Andréa e Sandra, por serem pacientes e tão eficientes em suas correções, agradeço pelas dicas e conselhos e também pela grande contribuição que agregaram à minha pesquisa.

Ao Braatz, que me ajudou ao longo do meu trabalho, compartilhando suas experiências e sua sabedoria.

Aos amigos do SimuCAD, entre eles, Elaine, Rosane, Tonin, Willian e Bia.

Aos operadores da indústria aeronáutica, que se disponibilizaram a participar do estudo, sem eles a realização deste trabalho não seria possível.

Enfim, ao meu orientador, Menegon, pelos ensinamentos, pelas oportunidades, por compartilhar sua experiência e permitir essa conquista na minha vida.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta a utilização das modelagens humanas digitais integrantes dos pacotes Tecnomatic/Simens (*software* Jack) e Dassout System (*software* Delmia). Tal escolha é justificada pela representatividade destes pacotes em termos de aplicações industriais bem como pela disponibilidade dos mesmos no PSPLab/DEP/UFSCar. O estudo teve como objetivo geral: avaliar a variabilidade nas respostas entre os resultados dos dois *softwares* e da aplicação em ambiente real das ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello. E como objetivo específico: caracterizar a aplicação destas ferramentas e comparar o desempenho dos diferentes *softwares*. Enquanto procedimentos de pesquisa foram selecionadas três ferramentas de análise comuns aos *softwares* (RULA, NIOSH e Snook e Ciriello) e aplicadas nas mesmas situações de trabalho. Como balizador das aplicações e modelagens realizadas nos *softwares*, os procedimentos prescritos para aplicação das ferramentas foram realizados pelo pesquisador. Assim, uma mesma situação foi analisada em três contextos: aplicação das ferramentas pelo pesquisador em ambiente real (P), no Delmia (D) e no Jack (J). As atividades foram selecionadas de acordo com o que cada ferramenta visa analisar. Foi possível observar que os resultados das aplicações do RULA e do Snook e Ciriello em ambiente real e digital foram próximos, já os resultados das aplicações da NIOSH em ambos ambientes foram discrepantes. Conclui-se então que as ferramentas RULA e Snook e Ciriello podem ser aplicadas em simulações humanas nos *softwares* Delmia e Jack para auxiliar na análise ergonômica. E mais estudos são necessários para validar a aplicação da NIOSH nos *softwares*.

Palavras-chave: Ergonomia, Simulação Humana, Carga Física.

ABSTRACT

This research introduces the use of digital human modeling packages Tecnomatic members (Simens) - Jack software - and Dassout System - Delmia software. This choice is justified by the representation of these packages in terms of industrial applications as well as by the availability of such PSPLab / DEP / UFSCar. The overall study aims: to assess the variability in responses between the results of both software and application of RULA, NIOSH and Snook and Ciriello tools in real environment. And as a specific goal: to characterize the application of these tools in both softwares and compare the performance of different softwares. While search procedures were selected common three softwares analysis tools (RULA, NIOSH and Snook and Ciriello) and applied the same work situations. As base of applications and modeling in software performed the procedures prescribed for application of the tools were made by the researcher. Thus, the same situation was analyzed in three contexts: application of the tool by the researcher in a real environment (P), in Delmia (D) and in Jack (J). The activities were selected according to what each tool aims to analyze. It was observed that the results of the RULA and Snook and Ciriello real environment and digital applications have been coming, since the results of the NIOSH applications in both environments were discrepant . It is concluded that the RULA and Snook and Ciriello tools can be applied in human simulations in softwares Delmia and Jack to assist ergonomic analysis of actual and future activities. Further studies are needed to validate the application of the NIOSH software.

Keywords: *Ergonomics, Human Simulation, Physical Load.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo da estrutura do trabalho (Fonte: elaboração própria)	21
Figura 2. Inserção da simulação em situações de projeto (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 134)	25
Figura 3. Construção de DHMs (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 61)	31
Figura 4. Ilustração da construção dos manequins em softwares (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 62)	32
Figura 5. Articulações de joelho, cotovelo e ombro (Fonte: Netter, 2000 e Putz e Pabst, 2000)	33
Figura 6. Pontuação do método RULA (Fonte: McAtamney e Corlett, 1993, pág. 94)	36
Figura 7. Colocação dos parâmetros da atividade (Fonte: <i>software</i> Delmia)	38
Figura 8. Análise detalhada - aplicação RULA (Fonte: <i>software</i> Delmia)	39
Figura 9. Selecionando o manequim (Fonte: <i>software</i> Jack)	40
Figura 10. Janela de customização do manequim (Fonte: <i>software</i> Jack)	40
Figura 11. Inserção de parâmetros e pontuação final do RULA no software Jack (Fonte: <i>software</i> Jack)	41
Figura 12. Colocação dos parâmetros iniciais da atividade (Fonte: <i>software</i> Delmia)	48
Figura 13. Resultados da aplicação da NIOSH no Delmia (Fonte: <i>software</i> Delmia)	49
Figura 14. Parâmetros inseridos na ferramenta NIOSH - software Jack (Fonte: <i>software</i> Jack)	50

Figura 15. Colocação dos parâmetros e resultados - Snook e Ciriello no Delmia (Fonte: Delmia)	53
Figura 16. Aplicação do Snook e Ciriello no software Jack (Fonte: software Jack)	54
Figura 17. Exemplo da sequência das aplicações (Fonte: elaboração própria)	66

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Valores referentes ao Fator Frequência (Waters, Putz-Anderson e Garg,1994, pág. 26)	45
Tabela 2. Valores do Fator de Pega (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994, pág. 31)	47
Tabela 3. Pontuações finais das aplicações do RULA nas três situações estudadas (Fonte: elaboração própria)	72
Tabela 4. Resultados das aplicações do RULA (Fonte: elaboração própria)	72
Tabela 5. Pontuações finais das aplicações da NIOSH nas três situações estudadas (Fonte: elaboração própria)	76
Tabela 6. Pontuações finais das aplicações do Snook e Ciriello nas três situações estudadas	80
Tabela 7. Resultados das aplicações do Snook e Ciriello (Fonte: elaboração própria)	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características de um manequim humano digital (Tonin, 2011)	28
Quadro 2. Ferramentas presentes nos softwares Delmia e Jack (Fonte: elaboração própria)	34
Quadro 3. Classificação do Fator Pega (Fonte: Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994, pág. 29)	46
Quadro 4. Comparação dos inputs do RULA (ambiente real e ambiente dos softwares) (Fonte: elaboração própria)	55
Quadro 5. <i>Inputs</i> da NIOSH (Fonte: elaboração própria)	56
Quadro 6. Inputs do Snook e Ciriello (Fonte: elaboração própria)	58
Quadro 7. Atividades selecionadas para a aplicação do RULA (Fonte: elaboração própria)	69
Quadro 8. Atividades selecionadas para a aplicação da NIOSH (Fonte: elaboração própria)	74
Quadro 9. Atividades selecionadas para a aplicação do Snook e Ciriello (Fonte: elaboração própria)	77

LISTA DE ABREVIATURAS

Cc	Carga constante
D	Aplicação no Delmia
DHMs	<i>Digital Human Models</i> (Modelos Humanos Digitais)
DOL (BLS)	<i>Department of Labor`s Bureau of Labor Statistics</i>
FA	Fator assimetria
FD	Fator deslocamento vertical
FF	Fator frequência
FH	Fator horizontal
FP	Fator de pega.
FV	Fator vertical
IL	Índice de levantamento
J	Aplicação no Jack
LPR	Limite de Peso Recomendado
MMSS	Membros superiores
NIOSH	<i>National Institute for Ocupacional Safety and Health</i>
P	Aplicação feita pelo pesquisador em ambiente real
PROVER	Protocolo de Verificação de Ergonomia
PSPLab	Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projeto de Situações Produtivas
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Caracterização do Problema	18
1.2	Objetivos	20
1.3	Justificativas da pesquisa	20
1.4	Metodologia	20
1.5	Estrutura do Trabalho	21
2	SIMULAÇÃO HUMANA E AVALIAÇÃO DE CARGAS	23
2.1	Ergonomia e Atividade Futura	23
2.2	Simulação Humana	26
2.2.1	Modelos Humanos Digitais	27
2.2.2	Formas Construtivas de DHMs	31
2.2.3	Protocolos de Análise de Fatores Humanos	34
2.2.3.1	Protocolo RULA	35
2.2.3.1.a	Caracterização da aplicação do RULA no <i>software</i> Delmia	37
2.2.3.1.b	Caracterização do RULA no <i>software</i> Jack	39
2.2.3.1.c	Comparação entre as aplicações do RULA	41
2.2.3.2	Protocolo NIOSH	42
2.2.3.2.a	Caracterização da aplicação da NIOSH no Delmia	47
2.2.3.2.b	Caracterização da aplicação da NIOSH no Jack	49
2.2.3.2.c	Comparação entre as aplicações da NIOSH	50
2.2.3.3	Protocolo Snnok e Ciriello	51
2.2.3.3.a	Caracterização da aplicação do Snook e Ciriello no Delmia	52
2.2.3.3.b	Caracterização da aplicação do Snook e Ciriello no Jack	53
2.2.3.3.c	Comparação entre as aplicações do Snook e Ciriello	54
2.2.3.4	Considerações acerca dos protocolos de análise	54
2.3	Limites e validação da Simulação Humana	58
2.4	Considerações acerca da revisão teórica	61
3	METODOLOGIA	63
3.1	Desenvolvimento da pesquisa	63

3.1.1	Tipo de pesquisa e racionalidade	64
3.1.2	Procedimento para a coleta de dados	64
3.1.3	Procedimento para o tratamento de dados	65
3.1.4	Considerações sobre os limites e dificuldades	66
3.2	Considerações acerca da metodologia	67
4	APLICAÇÕES E RESULTADOS	68
4.1	Aplicações e resultados para o RULA	68
4.2	Aplicações e resultados para a NIOSH	73
4.3	Aplicações e resultados para o Snook e Ciriello	77
4.4	Discussão	81
4.5	Considerações sobre as aplicações	84
5	CONCLUSÕES	85
5.1	Comparações com outros estudos	85
5.2	Contribuições das ferramentas que avaliam cargas físicas presentes em <i>softwares</i> de simulação humana	86
5.3	Limitações e dificuldades encontradas ao longo da pesquisa	87
5.4	Pesquisas posteriores	88
6	REFERÊNCIAS	89
7	ANEXOS	94

1 INTRODUÇÃO

Empresas estão investindo em alta tecnologia (Castañon, Saraiva, e Araujo, 2012), uma delas é a aplicação de simulação e modelagem digital, que é uma maneira de avaliação humana. Esta tecnologia avançada permite que fatores humanos sejam avaliados por meio da representação digital do ambiente de trabalho e da interação entre os manequins humanos digitais (Karkamar et al., 2012).

Modelos humanos digitais são ferramentas essenciais no planejamento de novas unidades de produção. Estes modelos servem para representar grupos definidos de pessoas com o mais alto nível de precisão antropométrica, bem como para analisar e avaliar os processos de trabalho e sistemas futuros para um projeto de trabalho em potencial (Zülch, 2012).

Há um conjunto de programas computacionais de modelagem e simulação humana que busca unir as técnicas de computação gráfica no projeto de produtos e de postos de trabalho (Braatz, 2009). O crescimento do uso destas ferramentas computacionais relaciona-se à necessidade dos processos de projeto serem rápidos, de boa qualidade, de fácil entendimento e de baixo consumo de recursos (Braatz, 2009). Os modelos digitais visam melhorar a compreensão do que está sendo proposto, fazendo com que o resultado final atenda às necessidades e capacidades humanas.

Alguns *softwares* apresentam a possibilidade de aplicação de ferramentas de análise de posturas, cargas físicas, força e fadiga. Estas ferramentas têm sido usadas por engenheiros para analisar as posturas adotadas pelos indivíduos ao executar tarefas, principalmente, de montagem (Hanson, Högberg e Söderholm, 2012) e são consideradas promissoras para a facilitação do planejamento da produção e da avaliação ergonômica (Fritzsche et al., 2012).

Este estudo mostra a aplicação de três ferramentas de análise de cargas físicas de trabalho presentes em dois *softwares* de simulação humana, o Delmia/Human Builder e o Jack. Estas aplicações ocorreram no ambiente real de trabalho e no ambiente digital dos *softwares*.

1.1 Caracterização do Problema

O aumento da demanda em ergonomia leva a um aumento no interesse por modelos e técnicas para a mensuração dos fatores condicionantes das atividades de trabalho, também leva a um aumento do uso destes instrumentos para que os resultados do trabalho sejam quantificados (Souza, 2011).

Segundo Sundin e Örtengren (2006), as ferramentas de simulação humana possuem diversas funções, entretanto, seu principal objetivo é prover suporte antropométrico. Contudo, estas ferramentas podem ser complicadas de manusear e é importante assegurar que as simulações ergonômicas de tempos cíclicos e cargas de trabalho sejam precisas e reflitam a realidade muito bem, pois os resultados das análises podem levar a investimentos substanciais no *design* do local de trabalho (Fritzsche et al., 2012).

Metodologias de avaliação de risco de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho foram desenvolvidas de forma independente por pesquisadores para abordar as doenças que estão cada vez mais conectadas com os locais de trabalho. Na maioria das vezes, as pesquisas avaliam o risco em um ambiente de trabalho real. As organizações internacionais utilizam padrões para lidar com situações típicas de trabalho. A ISO 11228 define normas internacionais e diretrizes padrão de metodologias para avaliação de risco como a NIOSH, o Strain Index, Reba, Rula, OCRA, Snook e Ciriello, índice de risco CTD, ACGI HAL, OREGGE, OSHA, que são as metodologias mais utilizadas em todo o mundo (Benedetto e Fanti, 2012).

As análises biomecânicas e fisiológicas feitas pelos *softwares* de simulação são embasadas em diferentes estudos e são feitas com rapidez e precisão pela interação homem-ambiente, permitindo que alguns dados sejam obtidos automaticamente (Menegon, Braatz e Tonin, 2011).

No campo de trabalho da ergonomia, existem vários instrumentos que traduzem uma avaliação a partir de uma relação pré-fixada de fatores observáveis, em geral com análise quantitativa, desconsiderando, na maioria das vezes, o contexto da situação (Souza, 2011). Contudo, a atividade do trabalho está longe de ser um conjunto de regras conhecidas previamente, e sim aborda um conjunto de regulações contextualizadas, onde a variabilidade do ambiente e a variabilidade própria do trabalhador são consideradas (Guérin et al., 2001). Segundo estes autores, a análise do

trabalho compreende analisar uma situação real, objetivando identificar *o que é* determinado para a realização do trabalho, *como* o trabalho é efetivamente realizado, e o *porquê* do comportamento do trabalhador.

Muitas ferramentas de análise de carga física de trabalho podem ser encontradas na literatura, estas foram desenvolvidas para determinar e quantificar a exposição a fatores de risco, principalmente por sobrecarga biomecânica dos membros superiores (Souza, 2011). Alguns destes instrumentos destacam de forma qualitativa a presença de características ocupacionais que podem conduzir o analista em direção à possível presença de um risco; alguns, com base em *checklist*, permitem uma rápida identificação do problema; e outros, mais complexos permitem caracterizar a multifatorialidade da exposição (Colombini, 2005).

Ainda que os *softwares* de modelagem humana digital apresentem características similares em termos de interfaces e ferramentas, diferenças significativas podem ser observadas na forma como os manequins digitais são construídos e modelados. Por exemplo, as variáveis antropométricas utilizadas não são as mesmas, bem como, a geometria dos manequins não obedecem a um padrão único.

De tal constatação emerge a questão a ser elucidada nesta pesquisa. Considerando que os manequins digitais adotam número de segmentos e, portanto, relações biomecânicas distintas, é questionável a congruência nos resultados a serem obtidos numa mesma modelagem utilizando-se *softwares* diferentes. Portanto busca-se nesta pesquisa comparar o desempenho de diferentes *softwares* de simulação humana quando as mesmas ferramentas de análise de fatores humanos são aplicadas.

Para a realização da pesquisa serão utilizados as modelagens humanas digitais integrantes dos pacotes Tecnomatic (Simens) – *software* Jack - e Dassout System – *software* Delmia. Tal escolha é justificada pela representatividade destes pacotes em termos de aplicações industriais bem como pela disponibilidade dos mesmos no PSPLab/DEP/UFSCar.

Estudando os dois *softwares* (Delmia e Jack), sabe-se que existem três ferramentas comuns a eles: o *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), o *National Institute for Occupational Safety and Health – Lift equation* (NIOSH) e o *Snook e Ciriello*. Essas ferramentas podem ser aplicadas pelos *softwares*, todavia não existem estudos que mostrem uma comparação dos resultados, os quais podem ser distintos. Também não há estudos falando sobre a validade destas ferramentas. Ao aplicar essas ferramentas em ambiente real e ambiente digital, os resultados podem não coincidir.

1.2 Objetivo

Este estudo tem como objetivo geral: avaliar a variabilidade nas respostas entre os resultados dos *softwares* Delmia e Jack, e da aplicação em ambiente real das ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello. E como objetivo específico: caracterizar a aplicação destas ferramentas e comparar o desempenho dos diferentes *softwares* quando estas são aplicadas.

1.3 Justificativas da Pesquisa

Os dois *softwares* estudados apresentam ferramentas de análise de cargas físicas comuns a ambos, contudo, apesar destas tecnologias estarem em plena difusão no mercado brasileiro e internacional, não é conhecido o grau de variabilidade e validade de suas respostas.

A escolha dos *softwares* é justificada pela representatividade dos mesmos e pela sua disponibilidade no PSPLab/DEP/UFSCar. O conhecimento destas ferramentas nos *softwares* possibilita que projetos sejam realizados com condições de trabalho mais adequadas. Além disso, o setor de montagem de aeronaves é de grande importância para a economia brasileira, assim, projetos com melhores adequações evitam o adoecimento no trabalho, reduzindo os custos para a indústria e para o país.

Outro motivo para a realização desta pesquisa é a escassez de estudos que comparem aplicações de ferramentas de análise de cargas físicas presentes em *softwares* de simulação humana. Sabe-se que as ferramentas podem ser aplicadas no Delmia e no Jack, mas não há estudos que falem sobre a validade destas ferramentas.

1.4 Metodologia

Levando em consideração a busca por meios que alcançassem os objetivos, define-se na sequência o foco do estudo e a questão principal para a pesquisa.

O foco da análise é validar as três ferramentas comuns aos dois *softwares* com o ambiente real. E a questão central desta dissertação é: “*Ao serem aplicadas em ambiente real e em ambiente digital, os resultados das ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello serão iguais. Haverá diferenças entre os softwares?*”

Para responder esta pergunta vários temas foram estudados: os conceitos de ergonomia, atividade futura, simulação humana, manequins humanos digitais e protocolos de análise de cargas físicas.

A pesquisa partiu de uma parceria entre o PSPLab e uma indústria que fabrica aeronaves, um projeto chamado “Ergoar”. Juntamente com este projeto havia a disponibilidade de pesquisar dois *softwares* presentes no PSPLab: o Delmia e o Jack. Assim, os dois *softwares* foram estudados e pode-se observar que apresentavam, em seu conteúdo, diversas ferramentas de análise do trabalho. Após observação e estudo dos dois *softwares* analisados, foram identificadas as ferramentas de análise de cargas físicas presentes em ambos os *softwares*. Foi possível observar que das onze ferramentas identificadas nos *softwares* apenas três delas são comuns a ambos, são elas: RULA, NIOSH e Snook e Ciriello.

As atividades foram selecionadas a partir de visitas nas áreas produtivas e de acordo com o foco de cada ferramenta. As três ferramentas foram aplicadas em atividades reais de trabalho na indústria aeronáutica, as atividades foram simuladas nos *softwares* e as ferramentas foram aplicadas também em ambiente digital.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, com as fases da pesquisa, demonstradas na Figura 1.

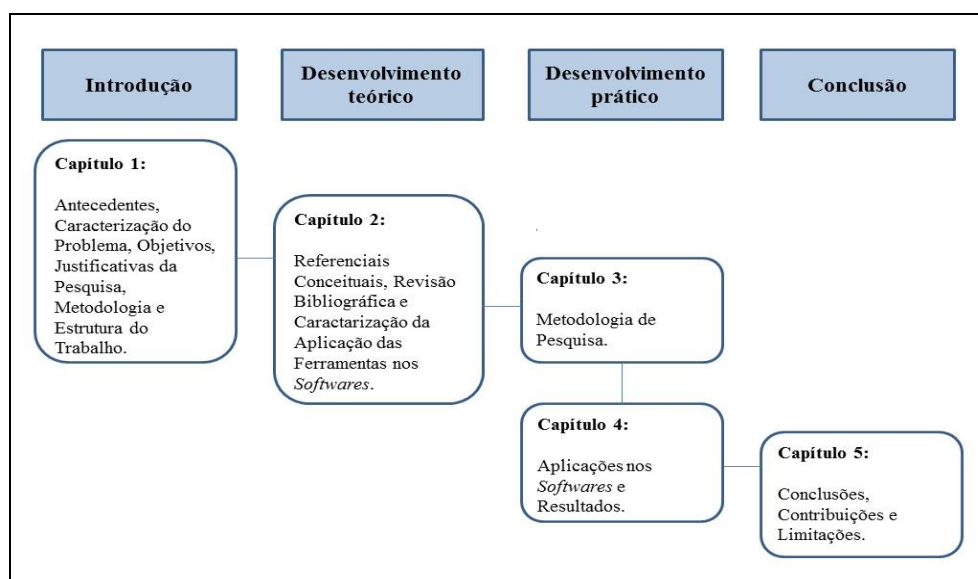


Figura 1. Esquema representativo da estrutura do trabalho (Fonte: elaboração própria).

No Capítulo 2, há uma revisão bibliográfica sobre ergonomia, simulação humana e atividade futura. Além de uma revisão sobre os modelos humanos digitais e sua comparação com os seres humanos. São mostradas as ferramentas de análise presentes nos dois *softwares*, quais são comuns a eles, e a descrição da aplicação das três ferramentas comuns em ambiente real e ambiente dos *softwares*. Também há uma comparação entre as aplicações das ferramentas em ambiente real e ambiente digital, além das limitações presentes nas ferramentas. O Capítulo 3 apresenta a metodologia do trabalho, descrevendo como se iniciou o projeto, sua racionalidade e os procedimentos para a coleta e tratamento de dados. O Capítulo 4 mostra as aplicações e os resultados para as ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello e a discussão do trabalho. E o Capítulo 5 apresenta as conclusões, as contribuições da pesquisa e as limitações dos *softwares* encontradas ao longo do estudo.

2 SIMULAÇÃO HUMANA E AVALIAÇÃO DE CARGAS FÍSICAS

Neste capítulo são apresentados conceitos ligados a ergonomia, simulação humana e as ferramentas/protocolos de análise de cargas físicas. O conceito abordado primeiramente é o da ergonomia da atividade futura, citada por Daniellou (2007), que está ligado a simulação humana e seus objetivos.

Após apresentados os conceitos de ergonomia, simulação e atividade futura, este capítulo faz uma contextualização da simulação humana e dos modelos humanos digitais, comparando suas estruturas com as estruturas humanas. São apresentados os protocolos de análise presentes nos *softwares* Delmia e Jack e quais são comuns a eles. Os três protocolos comuns aos *softwares* são explicados e a metodologia de sua aplicação é apresentada, tanto em ambiente real, quanto em ambiente digital. O capítulo apresenta também uma comparação entre as aplicações das ferramentas, e suas formas de *inputs* e as limitações presentes nestas ferramentas.

2.1 Ergonomia e Atividade Futura

Uma das contribuições mais significativas do ergonomista é o fato de que ele dispõe um método comprovado para compreender o trabalho antes de transformá-lo. Para a ergonomia, o funcionamento do homem e sua atividade em situação constituem variáveis que devem ser integradas pelos projetistas (Daniellou, 2007). A ergonomia da atividade constitui sua legitimidade a partir da análise do trabalho, porém se o trabalho (objeto da intervenção do ergonomista) não existe ainda, a atividade não pode ser analisada e o ergonomista precisa mobilizar métodos de abordagem da atividade futura, distintos da análise do trabalho real (Daniellou, 2007). Em linhas gerais, a abordagem proposta por Daniellou (2007) envolve:

- a) Um reconhecimento das situações características suscetíveis de surgirem na operação da situação futura (situações de referência);
- b) A análise das variabilidades presentes nas situações de referência e as estratégias utilizadas pelos operadores para lidar com as mesmas;
- c) A simulação do trabalho possível por meio de suportes que representem as futuras instalações, tais como: maquetes, plantas, protótipos ou *softwares*.

A abordagem constitui-se em essência na construção de um diagnóstico que irá fundamentar um prognóstico acerca dos efeitos que as decisões dos projetistas irão produzir. Deve-se então distinguir duas funções do diagnóstico: 1) Agir sobre o projeto, que visa definir o estatuto do funcionamento do homem na definição do projeto; 2) Agir no projeto, os conhecimentos resultantes da análise das situações visam identificar a natureza dos problemas a tratar para atingir os objetivos. Contudo é um desafio avaliar em que medidas as escolhas de concepção permitirão a implementação de modos operatórios compatíveis com os critérios escolhidos, em termos de saúde, eficácia produtiva, desenvolvimento pessoal e trabalho coletivo. Assim, a abordagem da atividade futura é uma previsão das margens de manobra que a concepção abre aos modos operatórios futuros (Daniellou, 2007).

A simulação inserida no processo de concepção constitui-se em uma ferramenta para o projetista, o qual insere a simulação em um projeto de realização de um objeto ou de concepção de uma situação (Béguin e Weill-Fassina, 2002). Distinguem-se dois casos extremos para o uso da simulação, com objetivos diferentes: 1) a simulação como banco de teste de uma situação ou de um procedimento, visando testar a eficiência, validar determinados materiais, melhorar dispositivos, criando uma situação futura que respeite o máximo possível as características materiais futuras; e 2) a simulação como uma dimensão intrínseca da concepção, permitindo uma exploração do campo das possibilidades e do processo de redução da incerteza (Béguin e Weill-Fassina, 2002).

Braatz (2009) propõem um modelo conceitual para a inserção da simulação em situações de projeto (Figura 2).

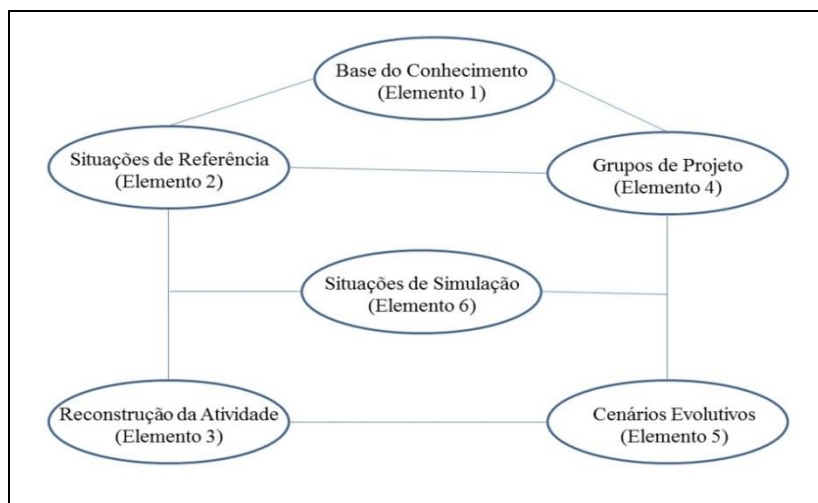


Figura 2. Inserção da simulação em situações de projeto (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 134).

A Base de Conhecimento (Elemento 1) representa o acúmulo de referências derivadas das experiências de análises e de projetos de ergonomia nas tecnologias operadas. Constitui o lócus da sistematização e difusão do conhecimento acumulado por meio de atividades de capacitação e de interação nos processos de projeto em ações corretivas e em processos de concepção de novas situações de trabalho (Braatz, 2009).

As Situações de Referência (Elemento 2) representa os conhecimentos derivados da aplicação do Método de Análise Ergonômica do Trabalho em diferentes tecnologias operadas da análise de situações de referência quando da introdução de novas tecnologias de processo ou de produto (Braatz, 2009).

A Reconstrução da Atividade (Elemento 3) designa o processo de elaboração de uma previsão da atividade futura de trabalho tendo como base as situações de referência, bem como o esforço de antecipar as competências que serão exigidas quando da introdução de novas tecnologias de processo ou de produto (Braatz, 2009).

Os Grupos de Projeto (Elemento 4) representam as diferentes competências mobilizadas que interagem na concepção das situações de trabalho atuais e futuras, oriundos de diversas áreas técnicas especializadas, bem como, aqueles ligados ao campo da gestão e da organização do trabalho (Braatz, 2009).

Os Cenários Evolutivos (Elemento 5) designam as concepções técnicas e organizacionais articuladas pelos grupos de projeto para os problemas das situações de trabalho atuais ou futuras (Braatz, 2009).

As Situações de Simulação (Elemento 6) constituem os momentos específicos em que ergonomistas, engenheiros, gestores e operadores interagem em cenário de simulação visando produzir validações das concepções técnicas e organizacionais (Braatz, 2009).

2.2 Simulação Humana

No projeto de situações de trabalho futuras uma das modalidades de suporte que pode ser utilizada é a simulação baseada em modelos humanos digitais. Independentemente do setor produtivo onde é aplicada, os principais benefícios da simulação humana são verificados através da antecipação de situações de trabalho futuras, permitindo ganho de tempo no projeto, maior interação entre projetistas e operadores (resultando em espaços de trabalho mais adaptados às atividades a serem realizadas) e redução de custos de mudança (Braatz et al., 2012).

Softwares dotados de modelos humanos digitais são ferramentas úteis no planejamento de novas unidades de produção. Estes manequins servem para representar grupos definidos de pessoas, bem como para analisar e avaliar os processos de trabalho e sistemas futuros para um projeto de trabalho em potencial (Zülch, 2012). Segundo Jayaram et al. (2006), a contribuição essencial de uma simulação de um posto de trabalho, é que a partir dela é possível fazer uma análise de todo o processo de forma continuada.

Em termos aderentes ao conceitual da ergonomia da atividade, é possível fazer um prognóstico do curso da ação possível ou provável (Bucciarelli, 1996). Assim, a simulação humana contribui no sentido da construção social da ação do ergonomista, potencializando as interações entre os atores envolvidos na situação de projeto, bem como, potencializa a construção técnica da perspectiva da ergonomia na medida que permite explicitar as implicações das escolhas e seus efeitos sobre os sujeitos em ação. A simulação humana constitui parte do mundo objeto do ergonomista no sentido dado ao termo por Bucciarelli (1996).

Para concretizar a contribuição técnica da simulação humana dentro do campo de conhecimento da ergonomia e do mundo objeto dos ergonomistas faz-se necessário discutir a validade que os atores sociais irão atribuir ao processo de simulação no geral; e, em especial à validade atribuída ao humano digital. Seria os humanos digitais qualquer coisa próxima de um humano?

2.2.1 Modelos Humanos Digitais

A utilização de modelos humanos digitais em ambientes de realidade virtual e de manufatura digital é crescente nos processos de projeto da indústria automotiva, aeronáutica e aeroespacial. Em princípio, a utilização de programas computacionais de simulação da atividade humana, também conhecidos pelo termo *computer aided ergonomics* (ergonomia auxiliada por computador), associa-se particularmente às avaliações das exigências biomecânicas, vinculadas às tarefas futuras, validações de zonas e envelopes de alcance e acessibilidade (Tonin, 2011). Atualmente, com a importância cada vez maior da participação de diversas competências e especialidades nos processos de projeto, destaca-se a utilização da simulação como elemento dinamizador das comunicações em processos de revisão de projetos, também chamados como etapa de *design review* (Tonin, 2011).

Modelos Humanos Digitais (DHM) constituem representações das formas e de funcionalidades humanas em ambiente computacional. Um humano digital pode ser caracterizado por três conjuntos de características, segundo Tonin (2011): a) características construtivas do DHM; b) funcionalidades do DHM; e, c) possibilidades de análise incorporadas ao humano digital.

As características construtivas dos humanos digitais envolvem o número de segmentos, o número de juntas e os graus de liberdade que são utilizados para representar o esqueleto humano; a forma de controle dos movimentos (em regra por cinemática inversa); e, o número de polígonos utilizados para a representação da superfície (pele) (Tonin, 2011).

As funcionalidades do humano digital envolvem fundamentalmente a visão e a deambulação. Por fim as possibilidades de análise envolvem ferramentas de fatores humanos de caráter biomecânico para análises posturais e de aplicação de força; aspectos fisiológicos baseados em consumo energético, avaliações de conforto baseadas na incorporação de escalas de percepção; e, envelopes de alcance, acessos e detecção de colisão, fundamentados em dados antropométricos (Tonin, 2011). O conjunto de características que podem caracterizar um humano digital foi analisado por Tonin (2011), conforme Quadro 1, ainda que de uma forma não estruturada, no sentido de estabelecer diferenças entre aspectos construtivos, funcionalidades e potencialidades de análises.

Quadro 1. Características de um manequim humano digital.

Item	CATIA/Human Builder	DELMIA/Human	RAMSIS	JACK
Nº de Segmentos	99	99	56	68
Nº de Articulações	99	99	57	69
Nº de Graus de Liberdade (DOF)	148	148	107	135
Controle dos Movimentos	Cinemática direta e inversa e predição de posturas	Cinemática direta e inversa e predição de posturas	Cinemática inversa e probabilidade de posturas	Cinemática inversa e predição de posturas
Representação da superfície - pele	Modelo feminino: 15354 polígonos. Modelo masculino: 15134 polígonos.	Modelo feminino: 15354 polígonos. Modelo masculino: 15134 polígonos.	Superfície padrão: 2979 polígonos. Melhor superfície: 30662 polígonos	2245 polígonos em baixa resolução e 8606 polígonos em modelo de alta resolução
Análise de Conforto	Não possui	Não possui	Uma base de dados de conforto apenas para as posturas de motorista e passageiro	Seis bases de dados de conforto
Avaliação de Espaço Livre	Possibilidade de medir distâncias entre humanos e objetos	Possibilidade de medir distâncias entre humanos e objetos	Possibilidade de medir distâncias entre humanos e objetos	Possibilidade de medir distâncias entre humanos e objetos
Campo de Visão	Campo de visão esquerdo e direito. Visualização dos cones das regiões de exatidão, ótima e máxima	Campo de visão dos olhos esquerdo e direito juntos. Visualização dos cones das regiões ótima e máxima	Campo de visão esquerdo e direito. Visualização dos cones das regiões de exatidão, ótima e máxima	Visualização dos cones de visão e telas com visão do olho direito, esquerdo e ciclope
Alcance	Avaliação de alcance máximo para qualquer ponto do corpo, ferramenta ou geometria associada a qualquer junta	Avaliação de alcance máximo para qualquer ponto do corpo, ferramenta ou geometria associada a qualquer junta	Definição dos limites de alcance para qualquer sequência de elementos do corpo	Avaliação de alcance máximo para qualquer ponto do corpo, ferramenta ou geometria associada a qualquer junta
Integração com CAD	Completamente integrado às plataformas Dassault, podendo importar e exportar formatos fundamentais, como por exemplo: IGES, 3DS, VRML	Completamente integrado às plataformas Dassault, podendo importar e exportar formatos fundamentais, como por exemplo IGES, 3DS, VRML	Permite importar e exportar formatos VDA, IGES, IGES A7, CATIA V4, CATIA V5, RAMSIS/Scan, OBJ e SAT. Cada formato depende da licença disponível	Permite importar os formatos IGES, WRL, CSB, JT, STL e exportar os formatos IGES, WRL
Integração com MoCap	Possui, podendo ser em tempo real, com <i>plugin</i> específico para o <i>hardware</i>	Possui, podendo ser em tempo real, com <i>plugin</i> específico para o <i>hardware</i>	Possui	Possui, podendo ser em tempo real
Animações	Capaz de animar	Capaz de animar	Apenas de	Capaz de animar

	vários manequins e objetos, podendo inclusive andar pelo cenário	vários manequins e objetos, podendo inclusive andar pelo cenário	movimentos de membros inferiores e superiores. Impossibilidade de o manequim andar e de animar objetos	vários manequins e objetos, podendo inclusive andar pelo cenário
Aplicação Alvo	Geral, com ênfase no desenvolvimento de produtos.	Geral, com ênfase no desenvolvimento de processos de produção.	Análises ergonômicas de interiores de veículos	Geral

Fonte: Tonin (2011), pág. 35.

Considerando que os *softwares* de simulação humana são diferentes e desenvolvidos para aplicações também diferentes, doravante esta pesquisa irá recortar o objeto em duas dimensões: a) *softwares* de aplicação geral, unificando numa mesma categoria os aplicativos CATIA/Human Builder, Delmia/Human Builder e Jack; e, b) possibilidades de análise incorporadas ao humano digital. Justifica-se tal escolha pela importância mercadológica dos pacotes computacionais Dassault (Human) e Siemens (Jack) no campo do projeto de engenharia, bem como, pela disponibilidade destes pacotes no PSPLab/DEP/UFSCar..

O Human Builder é uma ferramenta que atua junto com diversos módulos, dentre eles estão o Human Measurements Editor, Human Posture Analyses 2 e Human Activity Analyses 2. Estes possuem integração direta com as soluções de ciclo de vida do produto, modelagem e design review das famílias Delmia, Catia e Enovia (Dassault, 2014). O Delmia/Human é um aplicativo usado para criar, validar e simular manequins humanos no ambiente Delmia para o intercâmbio de recursos humanos e a análise de processos de fabricação. Diferentemente do Jack, é possível selecionar o aplicativo dentro do Delmia e inserir um manequim digital humano diretamente no modelo CAD que está sendo manipulado. É totalmente integrado às soluções Delmia e tem a capacidade de trabalhar com situações dinâmicas, principalmente quando estão relacionadas a uma tarefa realizada por um manequim digital humano como uma etapa dentro do processo de produção, integrando o tempo padrão da tarefa nas etapas de simulação. Assim, ele permite a análise dinâmica das tarefas realizadas pelos humanos como recursos de produção. Isto contribui para a alocação de tarefas e para o balanceamento das atividades, sejam elas em uma linha de produção ou em uma célula (Tonin, 2011).

O *software* Jack surgiu através de uma tese de doutorado, que se desenvolveu no Centro de Modelagem e Simulação Humana da Universidade da Pensilvânia, nos Estados Unidos (Menegon, Braatz e Tonin, 2011). É uma ferramenta gráfica, a qual possibilita que simulações precisas de situações reais, visando o ambiente e a figura humana, sejam feitas. Permite o detalhamento da simulação, a execução de avaliações das exigências biomecânicas associadas a tarefas reais ou futuras, validações de zonas e envelopes de alcance e acessibilidade. As análises são baseadas, principalmente, nos métodos National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Ovaco Working Analysing System (OWAS) e Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (Siemens, 2010).

Esta ferramenta possibilita a importação de modelos tridimensionais de softwares CAD em diferentes formatos de arquivos. Estes modelos são utilizados para compor o cenário onde a simulação é realizada. Além disso, apresenta uma biblioteca de objetos que podem ser utilizados e possibilita a criação de modelos tridimensionais simples como esferas, cilindros, cubos e cones. Permite que animações e vídeos sejam criados e que os manequins e objetos que fazem parte do cenário sejam animados (Tonin, 2011).

Os manequins digitais deste *software* levam em consideração as diferenças biológicas de idade e gênero. Há modelos masculinos, femininos e infantis. Estes manequins interagem por simulação em tempo real, facilitando as análises e gerando melhorias como o planejamento de tarefas especiais e de manutenção (Siemens, 2010).

Segundo Menegon, Braatz e Tonin (2011), o modelo humano deste *software* é composto por 71 segmentos individuais e 5182 polígonos. Os segmentos são ligados por 69 articulações, com 135 graus de liberdade. O manequim apresenta um modelo da espinha e dos ombros, baseados nos algoritmos de cinemática inversa, garantindo assim, que o corpo se mova de maneira próxima à real.

Este *software* pertenceu a diversas empresas, como a Transon Technologies, a Eletronic Data Systems (EDS), a Engineering Animation Inc. (EAI), a Siemens (Menegon, Braatz e Tonin, 2011). Atualmente ele é usado pela Ford Motor Co., pela fabricante japonesa Toyota, pelos engenheiros da U.S. Air Force (Força Aérea dos Estados Unidos). No Brasil, além da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), o *software* é utilizado pela Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer).

2.2.2 Formas construtivas dos DHMs

Ainda que os DHMs busquem uma aproximação com aspectos morfológicos e estéticos do corpo humano simplificações consideráveis estão embutidas num manequim. As principais simplificações, segundo Braatz (2009), envolvem:

- a) Modelos humanos digitais tridimensionais são construídos a partir uma estrutura hierarquizada de segmentos rígidos que não representam na integridade o esqueleto humano;
- b) Modelos humanos digitais tridimensionais têm seus segmentos articulados em pontos fixos e não reproduzem a complexidade das juntas humanas; e
- c) Modelos humanos tridimensionais são construídos a partir de dados antropométricos bidimensionais e sua morfologia não reproduz a morfologia humana.

Considerando as formas construtivas dos *softwares* de simulação e os aspectos presentes na fisiologia e biomecânica humana verifica-se a simplificação e redução produzida na construção dos DHMs, como mostra a Figura 3.

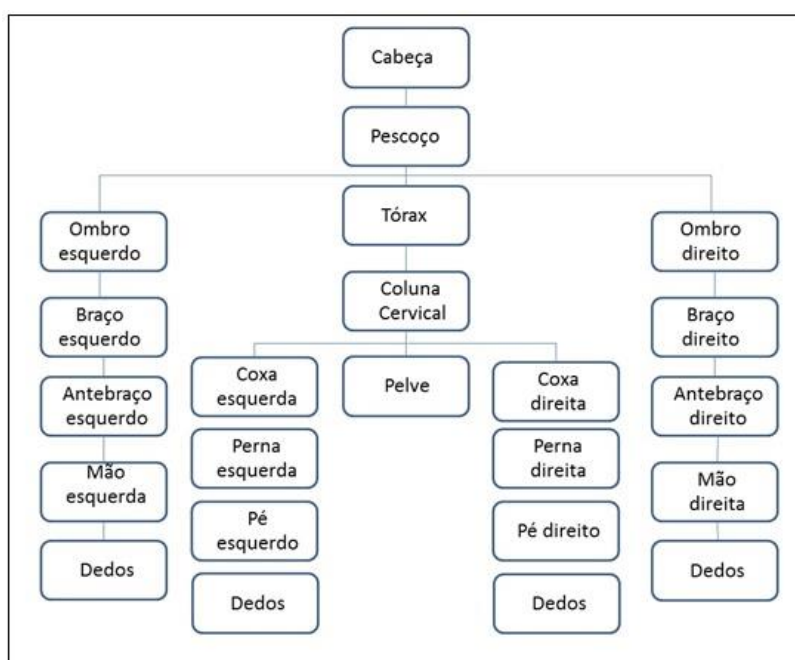


Figura 3. Construção de DHMs (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 61).

O esqueleto humano além de dar sustentação ao corpo protege os órgãos internos e fornece pontos de apoio para a fixação dos músculos. Ele é formado de peças

ósseas (208 ossos no indivíduo adulto) e cartilaginosas, que formam um sistema de alavancas movimentadas pelos músculos. Em contrapartida os esqueletos dos manequins digitais são construídos a partir de segmentos rígidos em uma estrutura hierarquizada como apresenta a Figura 3. O número de segmentos e de articulações varia de *software* para *software* (Braatz, 2009).

As juntas, onde ocorrem as junções entre dois ou mais ossos, e as articulações, que permitem a realização de movimentos, dão resistência e mobilidade ao esqueleto. As articulações também permitem o amortecimento de choques das extremidades ósseas, facilitam a conexão de estruturas ósseas e participam da formação do esqueleto e do crescimento ósseo (Másculo, 2011; Kendall et al., 2005).

Manequins humanos digitais são desprovidos de juntas como as existentes no corpo humano. A Figura 4 ilustra a simplificação utilizada na construção dos mesmos.

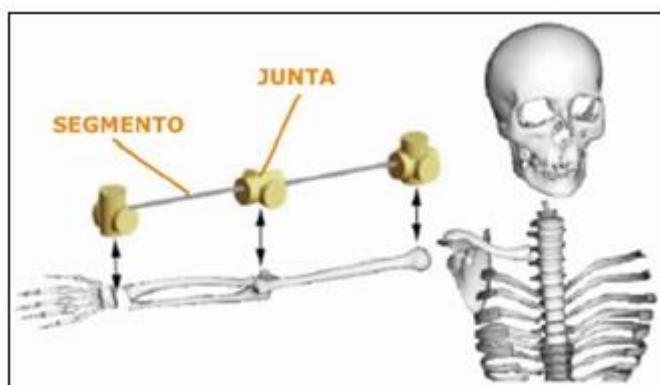


Figura 4. Ilustração da construção dos manequins em *softwares* (Fonte: Adaptado de Braatz, 2009, pág. 62).

Articulações que fornecem pouco ou nenhum movimento são aqueles que mantêm os dois lados do corpo em conjunto. A articulação sacro-ilíaca e a sínfise púbica são consideradas pouco móveis e são mantidas juntas por fortes membranas fibrocartilaginosas (Kendall et al., 2005). A maioria das articulações são móveis e unidas por membranas sinoviais. O joelho e cotovelo, por exemplo, são articulações essencialmente dobradiças, já o ombro é móvel em todas as direções e tem menos estabilidade (Kendall et al., 2005). A Figura 5 mostra as articulações do joelho, cotovelo e ombro.

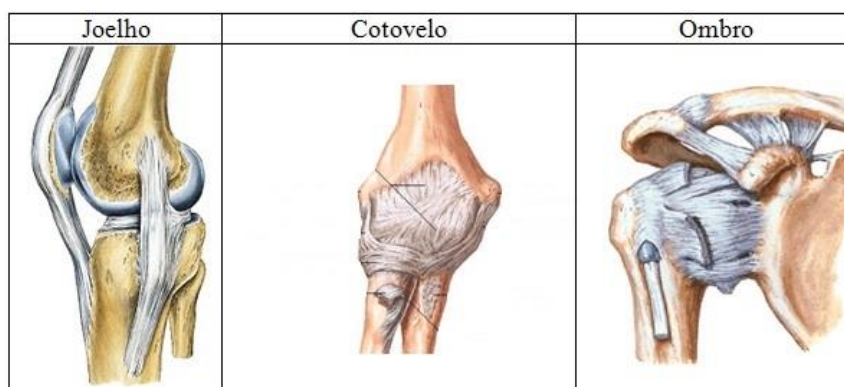


Figura 5. Articulações de joelho, cotovelo e ombro (Fonte: Netter, 2000 e Putz e Pabast, 2000).

O movimento articular não deve apresentar atrito, para evitar o desgaste ósseo. Os ossos de uma articulação ficam fixos por meio de ligamentos, que são cordões resistentes constituídos por tecido conjuntivo fibroso. Por sua vez, os ossos se unem aos músculos por meio de tendões, que não se contraem e são muito sensíveis a movimentos acima de certos limites (Másculo, 2011; Kendall et al., 2005).

Os ossos e as articulações que compõem nosso esqueleto formam um sistema de alavancas. Em cada movimento, há pelo menos dois músculos trabalhando, um contraindo e outro relaxando. Quando movimentos exagerados e repetitivos ocorrem, atritos são gerados entre tendões, ligamentos e ossos, podendo ocasionar inflamações e lesões (Másculo, 2011).

Adicionado ao sistema esquelético o sistema muscular resulta no sistema musculoesquelético. O ser humano tem a capacidade de realizar uma variedade de posturas e movimentos que são controlados pelas articulações do corpo, gerando e respondendo a forças produzidas (Levangie e Norkin, 2005). A característica mais importante da musculatura é sua capacidade de contrair-se até a metade do seu comprimento normal durante o repouso. Os músculos apresentam diversas fibras musculares e cada uma delas apresenta proteínas, como a actina e miosina, que são responsáveis pela contração (Kroemer e Grandjean, 2005).

A energia mecânica gerada na contração muscular provém das reservas químicas de energia do músculo. O trabalho muscular baseia-se na transformação de energia química em energia mecânica. A energia desprendida nas reações químicas é transferida para as moléculas de proteína dos filamentos de actina e miosina, assim elas mudam de posição e provocam a contração muscular. Em uma atividade dinâmica, o trabalho muscular pode ser expresso como o produto da força desenvolvida e do encurtamento dos músculos, ou seja, uma sequência rítmica de contração e relaxamento

da musculatura (Bonfatti, 2011; Kroemer e Grandjean, 2005). Já em uma atividade estática, o músculo não altera seu comprimento e se mantém em um estado de alta tensão, produzindo força durante todo período da contração, o que pode levar à fadiga, e até mesmo, levar à dor (Kroemer e Grandjean, 2005). O músculo não alonga seu comprimento, pois a força da contração é aplicada para a manutenção da postura (Bonfatti, 2011).

Considerando os aspectos básicos da antropometria, da fisiologia e da biomecânica é importante ressaltar o grau de redução incorporada aos modelos humanos digitais. Não há até o momento um humano digital que aproxime-se das características musculoesqueléticas e biomecânicas do ser humano. Tampouco são explícitos os métodos utilizados na construção da morfologia dos manequins.

2.2.3 Protocolos de análise de fatores humanos

Ainda que os manequins constituam simplificações significativas de um humano, diversas ferramentas de fatores humanos estão presentes nos *softwares*. O Quadro 2 mostra as ferramentas presentes nos *softwares* Delmia e Jack e quais delas são comuns a eles.

Quadro 2. Ferramentas presentes nos *softwares* Delmia e Jack.

<i>Ferramentas</i>	<i>Delmia</i>	<i>Jack</i>
RULA	X	X
NIOSH	X	X
<i>Snook and Ciriello/Manual Handling Limits</i>	X	X
<i>Biomechanics Single Action</i>	X	-
<i>Lower Back Analysis Tool</i>	-	X
<i>Static Strength Prediction</i>	-	X
<i>Metabolic Energy Expenditure</i>	-	X
<i>Fatigue Recovery</i>	-	X
Owas	-	X
<i>ForceSolver</i>	-	X
<i>Predetermined Time</i>	-	X

Fonte: elaboração própria.

Considerando o Quadro 2 pode ser constatado que a intersecção dos pacotes Siemens e Dassault é resumida em ferramentas de análise biomecânica, especificamente os protocolos RULA, NIOSH e Snook e Ciriello. Tais protocolos são

amplamente utilizados e referenciados na bibliografia de fatores humanos. Souza (2011) observou que na ergonomia prática, há diversos instrumentos utilizados como recurso para caracterizar os riscos decorrentes da relação homem-trabalho. Muitos deles foram desenvolvidos para determinar e quantificar o risco de exposição, especialmente por sobrecarga biomecânica em membros superiores (MMSS). Na constituição da revisão deste trabalho percebeu-se que de 16 instrumentos pesquisados, a NIOSH, o Snook and Ciriello e o RULA estão entre os 4 primeiros mais citados.

Para além das limitações construtivas dos DHM no campo musculoesquelético é necessário considerar a base sobre a qual se assentam os protocolos de análise biomecânica e suas formas de aplicação.

2.2.3.1 Protocolo RULA

O RULA, “*Rapid Upper Limb Assessment*” (Anexo I) foi desenvolvido no *Institute for Occupational Ergonomics*, Universidade de Nottingham, na Inglaterra, para investigações biomecânicas, em ergonomia, dos locais de trabalho relacionados com relatos de desconfortos em membros superiores. Parte do desenvolvimento ocorreu na indústria de confecção de roupas, em que a avaliação foi feita em operadores que realizavam as seguintes tarefas: 1) de corte em pé, em um bloco de corte; 2) de usinagem, usando uma de uma variedade de máquinas de costura; 3) de recorte; 4) de inspeção; e 5) de embalagem. Também foi desenvolvido a partir da análise de posturas adotadas, forças requeridas e ações musculares de operadores, e da análise de operadores de que realizavam atividades de manufatura, onde haviam riscos para o desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas em membros superiores (McAtamney e Corlett, 1993).

O método usa diagramas das posturas corporais e três tabelas de pontuação que geram a evolução da exposição aos fatores de risco. A avaliação começa pela observação do operador durante vários ciclos de trabalho, a fim de selecionar as tarefas e posturas para a avaliação. A seleção pode ser feita da postura realizada em maior quantidade durante ciclo de trabalho ou onde cargas mais elevadas ocorrem. Como RULA pode ser conduzido de forma rápida, pode ser feita uma avaliação de cada postura no ciclo de trabalho. Apenas um lado (direito ou esquerdo) é avaliado em um tempo. Esta ferramenta não requer nenhum equipamento especial para fornecer uma

rápida avaliação das posturas dos membros superiores, tronco e pescoço, junto com a função muscular e as cargas externas vividas pelo corpo (McAtamney e Corlett, 1993).

Segundo a ferramenta, o escore 1 indica a postura mais neutra (“melhor postura”), como por exemplo, os braços na laterais do corpo, os cotovelos em cerca de 90 graus de flexão, com os punhos em posição neutra, os antebraços entre pronação e supinação, pescoço com 10 graus de flexão, sentado, tronco e pernas bem apoiados. A pontuação 4 indica a “pior postura”, como por exemplo, flexão de ombro acima de 90 graus ou flexão entre 45 e 90 graus com abdução de ombros. As pontuações individuais combinadas para ombro, cotovelo e punho resultam na pontuação A e as pontuações de pescoço, tronco e pernas resultam na pontuação B, denominadas assim no protocolo. O trabalho muscular e a força exercida em cada posição foram atribuídas pontuações 1 e 0, respectivamente, porque são posturas estáticas e sem carga; essas pontuações foram adicionados à pontuação A e B para obter pontuações C e D, respectivamente (McAtamney e Corlett, 1993).

Cada combinação de notas C e D (números de 1-7), reflete a carga musculoesquelética associada a postura do trabalhador. Considerando que escores de 1 ou 2 indicam que a postura de trabalho é aceitável, a ação é sugerida para pontuações mais altas: os escores de 3 e 4 sugerem que uma investigação mais aprofundada e alterações, se necessárias, sejam realizadas; os escores 5 e 6 sugerem que haja investigações e mudanças rápidas no local; e o escore 7 sugere que investigações e mudanças imediatas sejam realizadas (McAtamney e Corlett, 1993). A Figura 6, retirada do artigo de McAtamney e Corlett (1993), mostra como são realizadas estas pontuações.

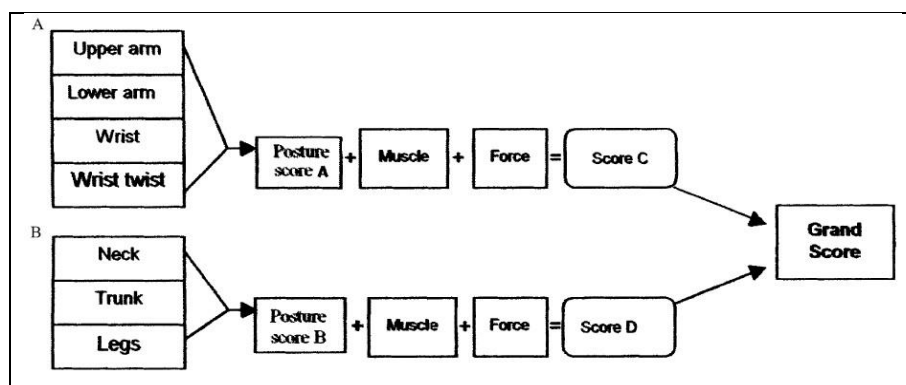


Figura 6. Pontuação do método RULA (Fonte: McAtamney e Corlett, 1993, pág. 94).

O protocolo avalia número de movimentos, trabalho estático dos músculos, força, posturas de trabalho determinadas por equipamentos ou mobiliário e tempo de trabalho sem intervalo. E, segundo os autores, o RULA foi desenvolvido para promover um método de análise rápida de uma população que realizasse trabalhos com suposta sobrecarga de membros superiores, para identificar o esforço muscular relacionado às posturas de trabalho, estáticas e dinâmicas, que poderiam contribuir para uma fadiga muscular, e por fim, para oferecer resultados que poderiam ser incorporados em uma avaliação ergonômica de maior cobertura epidemiológica, física, mental, de fatores ambientais e organizacionais, e, particularmente, para auxiliar no cumprimento dos requisitos de avaliação das Diretrizes do Reino Unido sobre a prevenção de distúrbios em membros superiores relacionados com o trabalho (McAtamney e Corlett, 1993).

2.2.3.1.a Caracterização da aplicação do RULA no *software* Delmia

Para iniciar a simulação é preciso inserir o manequim no Delmia, para isso é preciso abrir o Delmia e clicar em “*Start*”, depois clicar em “*Ergonomics Design & Analysis*”, selecionar o módulo “*Human Builder*”, selecionar o gênero e a antropometria desejada e o manequim é inserido.

Após inserir o manequim, é preciso modular sua postura de acordo com a atividade que será analisada e escolher um lado do manequim para realizar a aplicação do RULA, como é exigido pela ferramenta. Depois de modulada a postura clica-se em “*Start*” novamente, clica-se em “*Ergonomics Design & Analyses*” e é preciso selecionar o módulo de análise chamado de “*Human Activity Analysis*”.

Neste módulo, a barra de ferramentas chamada de “*Ergonomic Tools*” deve ser selecionada (o primeiro ícone dela, chamado de “*RULA Analysis*”). Com o botão do RULA selecionado, é preciso selecionar o manequim (neste caso chamado de “*Manikin1*”) a ser analisado na árvore do *software*, pois pode ocorrer de ter mais de um manequim na simulação.

Após selecionar o manequim irá abrir uma janela do RULA, onde serão escritos os padrões iniciais da análise. Primeiramente, seleciona-se o lado que será analisado (lado direito ou esquerdo do manequim), depois define-se a postura, que será estática (“*Static*”), intermitente (“*Intermittent*”) ou repetitiva (“*Repeated*”). Caso a postura seja repetitiva, é preciso colocar qual a sua frequência: menos de 4 vezes por

minuto (“< 4 Times/min.”) ou mais de 4 vezes por minuto (“> 4 Times/min.”). Depois de selecionar a frequência da atividade, é preciso selecionar a posição dos braços, se estão suportados e a pessoa está inclinada (“Arm supported/Person leaning”); se os braços estão trabalhando na linha média do corpo (“Arms are working across midline”); e se a pessoa está equilibrada (“Check balance”). É válido lembrar que os três itens podem ser selecionados, assim como nenhum deles pode ser selecionado, tudo depende a atividade realizada. Em seguida é preciso colocar o peso da ferramenta, objeto ou dispositivo que manequim esteja segurando, caso ele esteja. O peso é colocado em quilogramas. Se o manequim não estiver carregando nenhum objeto, deixar a carga como 0 kg. O preenchimento desta janela é mostrado na Figura 7.



Figura 7. Colocação dos parâmetros da atividade (Fonte: *software Delmia*).





Após colocar os parâmetros, o *software* já faz a análise e mostra o resultado final, chamado de “*Final Score*” e indicam qual é o procedimento que precisa ser tomado, como por exemplo, e preciso realizar uma investigação futura (“*Investigate Further*”). O *software* apresenta o padrão de numeração e de investigações igual ao da ferramenta real, apresentando também as cores referentes às pontuações (verde para 1 e 2, amarelo para 3 e 4, e vermelho para 5, 6 e 7). Clicando no botão  é possível ver a análise detalhada realizada pelo *software*, segundo os parâmetros que foram colocados (Figura 8). É válido lembrar que não é preciso que o manequim seja modelado (ele pode ser apenas inserido) ou cenário para que esta análise seja realizada, no caso do RULA, apenas a colocação dos parâmetros já suficiente para que o *software* calcule a pontuação final. O que é bem diferente a aplicação em ambiente real.



Figura 8. Análise detalhada - aplicação RULA (Fonte: *software* Delmia).

2.2.3.1.b Caracterização do RULA no *software* Jack

Para aplicar o RULA no Jack é preciso inserir um manequim e ajustar sua postura conforme a atividade a ser analisada. Para inserir o manequim é preciso abrir o *software* e clicar em “*Human*”, em seguida em “*Create*” e em “*Default Male*” (manequim maculino) ou “*Default Female*” (manequim feminino. Ou então, clicar nos ícones  e , para inserir um manequim feminino ou um manequim masculino, respectivamente.

Após inserir o manequim, é preciso customizá-lo, então clica-se em “*Create*”, “*Custom...*” e irá aparecer uma janela chamada de “*Build Human...*”. Nesta janela clica-se no ícone  e clica-se no manequim, para selecioná-lo (o manequim ficará da cor amarela), como mostra a Figura 9.

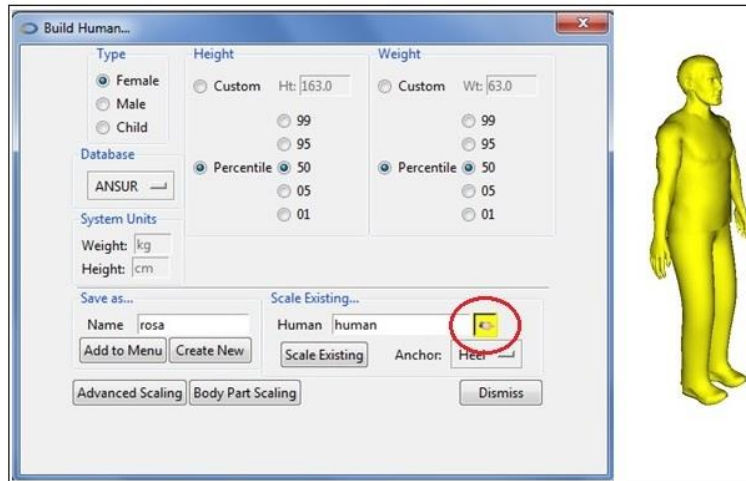


Figura 9. Selecionando o manequim (Fonte: *software Jack*).

Aparecerá uma nova janela chamada de “*Anthropometric Scaling*”, nesta janela é preciso selecionar a altura (em cm) e o peso (em kg) ou então selecionar um manequim segundo um percentil, que dará altura e peso personalizados (Figura 10). Fazendo isto clica-se em “*Apply*” e o manequim está customizado.

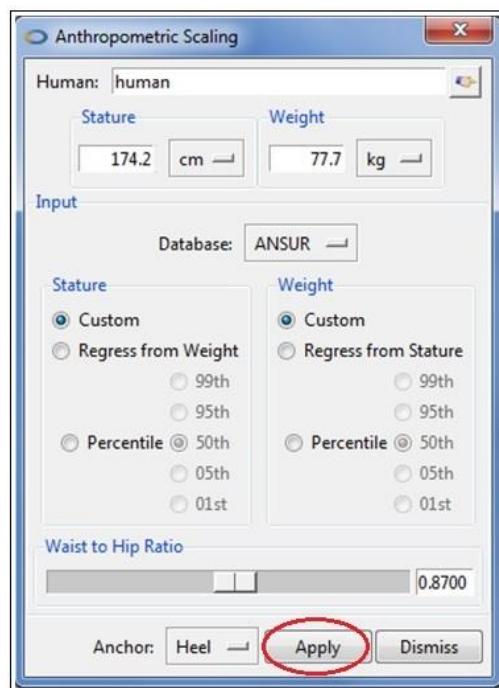


Figura 10. Janela de customização do manequim (Fonte: *software Jack*).

Após inserir e customizar o manequim, passa-se para a análise do RULA. Então é preciso clicar em “*Analysis*”, selecionar “*Task Analysis Toolkit*” e selecionar o “*Rapid Upper Limb Assessment*”. Selecionando o ícone do RULA irá aparecer uma

janela onde serão colocados os parâmetros da atividade, relacionados ao Grupo A e ao Grupo B da ferramenta (Figura 11). Após colocar esses parâmetros, clica-se em “Usage” e o cálculo é feito pelo *software* e aparece na aba chamada e “Analysis Summary” (Figura 11).

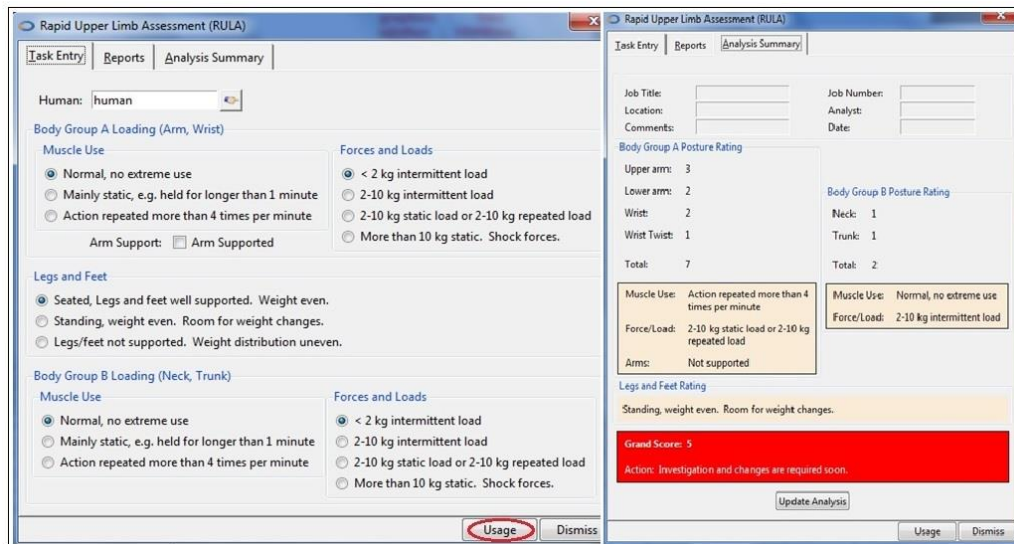


Figura 11. Inserção de parâmetros e pontuação final do RULA no *software* Jack (Fonte: *software* Jack).

2.2.3.1.c Comparação entre as aplicações do RULA

Na aplicação do RULA no Delmia e no Jack alguns itens são inseridos na ferramenta e outros itens são considerados pela modelagem do manequim, também há uma diferença na colocação dos *inputs*. No Delmia alguns dados são considerados no que está escrito e não é mostrada a pontuação deles, diferente da ferramenta. Por exemplo, na ferramenta em ambiente real, quando os braços estão apoiados, ou estão na linha média do corpo, pontos são acrescentados ou tirados, já no Delmia, esta ícone é apenas selecionado e o cálculo é feito pelo *software*. No Jack não é o analista quem dá a pontuação do uso da musculatura e da postura das pernas, o analista seleciona uma das opções oferecidas pela ferramenta e ela faz o cálculo. Na aplicação em ambiente real, todos os itens são inseridos pelo pesquisador baseado nas suas observações e análises.

2.2.3.2 Protocolo NIOSH

A NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health – Lift equation*) é uma equação que foi criada pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* em 1981 nos Estados Unidos, e foi revisada em 1991, para que novos fatores fossem incluídos na equação. Outra revisão ocorreu em 1994 pelo Comitê do NIOSH, completando a descrição do método e suas limitações (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).

Esta ferramenta surgiu a partir de uma demanda do Conselho de Segurança Nacional dos Estados Unidos, que segundo pesquisas, observaram que entre as doenças ocupacionais, as relacionadas com as lombares eram as mais comuns e mais custosas (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994). A extensão do problema foi resumida em um relatório focando lesões lombares pelo DOL (BLS) – *Department of Labor's Bureau of Labor Statistics* – no Boletim 2144, publicado em 1982, nos Estados Unidos (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).

Esta equação foi elaborada levando-se em conta três critérios: biomecânico, que limita o estresse na região lombo-sacral; o critério fisiológico, que limita o estresse metabólico e a fadiga associada a tarefas de caráter repetitivo; e o critério psicofísico, que limita a carga baseando-se na percepção que o trabalhador tem da sua própria capacidade. É aplicável a todo tipo de tarefa, exceto àquelas em que a frequência de levantamento é elevada (mais de seis levantamentos por minuto). Esta equação calcula o limite de peso recomendado (LPR) para o manuseio manual de cargas, com a intenção de evitar problemas na região lombar, principalmente (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).

A equação baseia-se num modelo multiplicativo que fornece um coeficiente de correção para cada uma das seis variáveis de tarefas. Os pesos são expressos como coeficientes e são utilizados para diminuir a constante de carga, que representa o peso da carga máxima recomendada para ser levantada em condições ideais. O limite de peso recomendado (LPR) é o produto da equação, e é definido como o peso das cargas que quase todos os trabalhadores saudáveis podem erguer ao longo de um período de até 8 horas por dia, sem risco aumentado de desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas. Trabalhadores saudáveis significam trabalhadores livres de condições adversas de saúde que poderiam aumentar o risco de lesões musculoesqueléticas (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).

O LPR foi definido por condições específicas de tarefas, como o peso da carga que todos os trabalhadores saudáveis pudessem carregar ao longo de um período de tempo sem que lesões musculoesqueléticas fossem causadas. E é obtido através da seguinte equação:

$$\text{LPR} = C_c \times F_H \times F_V \times F_D \times F_A \times F_F \times F_P$$
$$\text{LPR} = 23(25/H)[1-(0.003|V-75|)][0.82+(4.5/D)][1-(0.0032A)] F_F \times F_P$$

Onde:

LPR - Limite de peso recomendado,

C_c - Carga constante, igual a 23 kg,

F_H - Fator horizontal, igual a 25/H,

F_V - Fator vertical, igual a (0.003|V-75|),

F_D - Fator de deslocamento vertical, igual a [0.82+(4.5/D)],

F_A - Fator de assimetria, igual a [1-(0.0032A)],

F_F - Fator de frequência,

F_P - Fator de pega.

A Carga Constante (C_c) é o peso máximo recomendado para um levantamento em posição sagital (sem torções do dorso nem posturas assimétricas), levantando a carga a menos de 25cm. O valor da constante foi fixado em 23 kg para ambos os gêneros. O estabelecimento do valor desta constante levou em conta critérios biomecânicos e fisiológicos.

O Fator Horizontal (F_H) é baseado na distância horizontal entre a projeção sobre o solo do ponto médio entre as pegadas da carga e a projeção do ponto médio entre os tornozelos. A força de compressão no disco aumenta proporcionalmente à distância entre a carga e a coluna. O estresse por compressão que aparece na zona lombar está diretamente relacionado a distância horizontal (H em cm). Caso H não possa ser medido, pode-se obter um valor aproximado mediante a equação:

$$H = 20 + w/2 \text{ se } V > 25 \text{ cm}$$

$$H = 25 + w/2 \text{ se } V < 25 \text{ cm}$$

Onde w é a extensão da carga no plano sagital e V a altura das mãos em relação ao solo. O fator de distância horizontal (F_H) determina-se como se segue:

$$FH = 25/H.$$

São mais penalizados os levantamentos nos quais o centro de gravidade da carga está separado do corpo. Se a carga é levantada junto ao corpo ou a menos de 25 cm do mesmo, o fator toma o valor 1. Considera-se que $H > 63$ cm dará lugar a um levantamento com perda de equilíbrio, pelo que se fixará $FH = 0$ (o limite de peso recomendado será igual a zero).

O Fator Vertical (FV) é o valor absoluto de carregamento de um peso ótimo a partir de 75 cm de altura. Este fator valerá 1 quando a carga estiver situada a 75cm do solo e diminuirá à medida que nos distanciemos desse valor. Determina-se:

$$FV = (1 - 0,003 [V - 75])$$

Onde V é a distância vertical entre o ponto de pega e o solo. Se $V > 175$ cm, tomaremos $VM = 0$.

O Fator de Deslocamento Vertical (FD) se refere à diferença entre a altura inicial e a altura final da carga. O comitê estabeleceu em 15% a diminuição na carga quando o deslocamento se der desde o solo até além da altura dos ombros. Determina-se então:

$$FD = (0,82 + 4,5/D)$$

$$D = V1 - V2$$

Onde V1 é a altura da carga em relação ao solo na origem do movimento e V2 a altura ao final do mesmo. Quando $D < 25$ cm, manteremos $DM = 1$, valor que irá diminuindo à medida que aumenta a distância de deslocamento cujo valor máximo aceitável se considera 175 cm.

O Fator de Assimetria (FA) refere-se ao carregamento que começa ou termina fora da linha média do plano sagital. Segundo Waters, Putz-Anderson e Garg (1994) um carregamento simétrico pode ser medido, mas um assimétrico não, contudo o limite de peso recomendado é significativamente menor que o limite usado no carregamento simétrico. O comitê estabeleceu em 30% a diminuição para levantamentos que impliquem flexões de tronco a 90° . Se o ângulo de torção for superior a 135° , toma-se $FA = 0$. Onde:

$$FA = 1 - (0,0032 \times A)$$

O Fator Frequência (FF) é definido pelo número de levantamentos por minuto (frequência), pelo tempo de duração da tarefa de levantamento (duração) e pela altura do levantamento a partir do chão. A frequência de carregamento (F) refere-se ao número de carregamentos por minuto. O número médio de levantamentos por minuto deve ser calculado em um período de 15 minutos. Nos trabalhos em que a frequência de levantamento varia de uma tarefa a outra, ou de uma sessão a outra, cada caso deve ser estudado independentemente. Os valores de FF estão determinados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores referentes ao Fator Frequência.

FREQUÊNCIA Elevações/min	DURAÇÃO DO TRABALHO					
	• 1 hora		>1- 2 horas		>2 - 8 horas	
	V<75	V• 75	V<75	V• 75	V<75	V• 75
• 0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Os valores de V estão em cm. Para frequências inferiores a 5 minutos, utilizar F = 0,2 elevação por minuto.

Fonte: Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994, pág. 26.

Uma tarefa é considerada de curta duração quando se trata de um hora ou menos de trabalho (seguida de um tempo de recuperação de 1,2 vezes o tempo de trabalho). É considerada de duração moderada quando é de uma a duas horas (seguida de um tempo de recuperação de 0,3 vezes o tempo de trabalho). E é considerada de longa duração quando apresenta mais de duas horas.

O Fator de Pega (FP) refere-se a facilidade da pega do objeto e a altura vertical em que a manipulação de carga ocorre. Segundo Waters, Putz-Anderson e Garg (1994), uma boa pega reduz as forças de compressão máxima exigida e aumenta o peso aceitável de elevação, já uma pega “ruim” exigirá maior força de pega e diminuirá o

peso aceitável para elevação. Os autores dizem que a efetividade da pega não é algo estático, mas varia de acordo com a distância do objeto do chão, assim uma boa pega pode-se tornar uma pega ruim durante um carregamento simples. O Quadro 3 define três categorias de pega. Se houver alguma dúvida na classificação de uma pega, a classificação mais estressante deve ser selecionada.

Quadro 3. Classificação do Fator de Pega.

BOA	REGULAR	MÁ
1. Recipientes de desenho ótimo nos quais as alças ou apoios perfurados no recipiente tenham sido desenhados otimizando a pega (ver definições 1, 2 e 3).	1. Recipientes de desenho ótimo com alças ou apoios perfurados no recipiente de desenho subótimo (ver definições 1, 2, 3 e 4).	1. Recipientes de desenho subótimo, objetos irregulares ou peças soltas que sejam volumosas, difíceis de sustentar ou com bordas afiladas (ver definição 5).
2. Objetos irregulares ou peças soltas quando se podem empunhar confortavelmente; isto é, quando a mão pode envolver facilmente o objeto (ver definição 6).	2. Recipientes de desenho ótimo sem alças nem apoios perfurados no recipiente, objetos irregulares ou peças soltas nos quais a pega permite uma flexão de 90° na palma da mão (ver definição 4).	2. Recipientes deformáveis.

Fonte: Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994, pág. 29.

Definições:

- I. Alça de desenho ótimo: é aquela de longitude maior que 11,5 cm, de diâmetro entre 2 e 4 cm, com um espaço de 5 cm para colocar a mão, de forma cilíndrica e de superfície suave, porém não-escorregadia.
- II. Apoio perfurado de desenho ótimo: é aquele de longitude maior que 11,5 cm, largura maior que 4 cm, espaço superior a 5 cm, com uma espessura maior que 0,6 cm na zona de pega e de superfície não-rugosa.
- III. Recipiente de desenho ótimo: é aquele cuja longitude frontal não supera os 40 cm. Sua altura não é superior a 30 cm e é macio e não escorregadio ao tato.
- IV. A pega da carga deve ser tal que a palma da mão fique flexionada em 90°, no caso de uma caixa deve ser possível colocar os dedos na base da mesma.
- V. Recipiente de desenho subótimo: é aquele cujas dimensões não se ajustam às descritas no ponto 3, ou sua superfície é rugosa ou escorregadia, seu centro de gravidade é assimétrico, possui bordas afiladas, seu manejo implica o uso de luvas ou seu conteúdo é instável.

VI. Peça solta de fácil pega: é aquela que permite ser comodamente abarcada com a mão sem provocar desvios do punho e sem precisar de uma força de pega excessiva.

Baseando-se na classificação de pega e na altura vertical do carregamento, o CM é determinado de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Valores do Fator de Pega.

TIPO DE PEGA	FATOR DE PEGA (CM)	
	V < 75	V • 75
Boa	1.00	1.00
Regular	0.95	1.00
Má	0.90	0.90

Fonte: Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994, pág. 31.

Waters, Putz-Anderson e Garg (1994) também definem o Índice de Levantamento (IL), este índice refere-se a uma estimativa de uma carga de estresse associada com o trabalho de levantamento manual. Assim:

$$\text{Índice de levantamento (IL)} = \text{Peso da Carga Levantada (L)} / \text{Carga Recomendada (LPR)}$$

Onde L é o peso do objeto carregado (em kg).

Se $IL < 1$, a condição de trabalho é segura e há chance mínima de lesão. Se $1 \leq IL \leq 2$, a condição de trabalho é classificada como insegura e o risco de lesão é classificado como médio. Se $IL > 2$, a condição de trabalho é classificada como insegura e o risco de lesão é classificado como alto.

2.2.3.2.a Caracterização da aplicação da NIOSH no Delmia

Para realizar a aplicação da NIOSH no Delmia, é preciso que um manequim seja inserido e as posturas iniciais e finais sejam modeladas no *software*. Clica-se no módulo da NIOSH chamado de “*Lift-Lower Analysis*”. Este módulo realiza a análise de levantamento/abaixamento. O *software* não realiza análise de carregamento da NIOSH.

Após selecionar a ferramenta no Delmia aparecerá uma janela em que se deve colocar os parâmetros da atividade. Primeiramente, coloca-se a postura inicial

(“*Initial*”) ou final (“*Final*”). Em seguida é preciso selecionar qual NIOSH irá ser usada na análise (1989 ou 1991), neste caso é usada a de 1991, devido ao cálculo. Na sequência coloca-se de quanto em quanto tempo é realizado um levantamento/abaixamento em segundos (“*1 lift every*”), a duração da atividade (“*Duration*”), a condição da pega se é boa, regular ou ruim (“*Good*”, “*Regular*”, “*Poor*”) e o peso do objeto a ser levantado/abaixado (“*Object weight*”), como mostra a Figura 12.

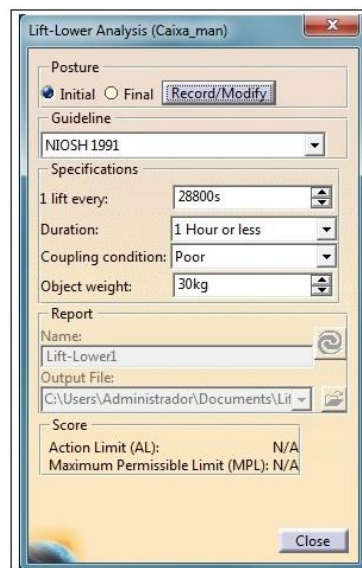


Figura 12. Colocação dos parâmetros iniciais da atividade (Fonte: *software* Delmia).

Após colocar os parâmetros da postura inicial é preciso apertar o botão “*Record/Modify*” para que os parâmetros da postura final sejam colocados, os parâmetros são os mesmos e única diferença é que deve-se selecionar a postura como “*Final*”. Neste momento o manequim deve ser modulado para que fique de acordo com a postura final da atividade. E a ferramenta já calcula os parâmetros de levantamento/abaixamento para as posturas inicial e final, calcula o Limite de Peso Recomendado (RWL) e o Índice de Levantamento (IL), como mostra a Figura 13.

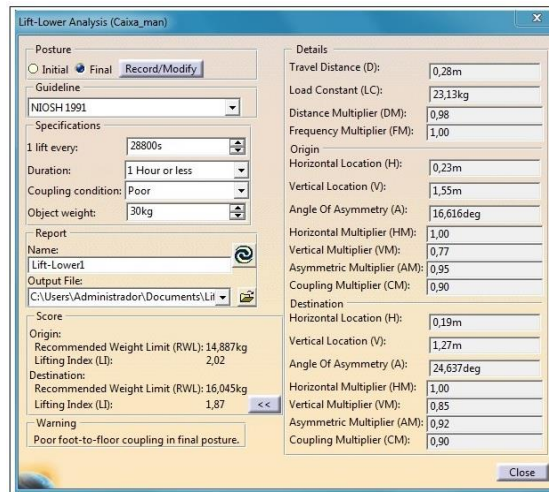


Figura 13. Resultados da aplicação da NIOSH no Delmia (Fonte: *software* Delmia).

2.2.3.2.b Caracterização da aplicação da NIOSH no Jack

Para aplicar a NIOSH no Jack, não é preciso que o manequim seja inserido, contudo neste projeto, as análises foram realizadas com as posturas dos manequins modeladas de acordo com as atividades reais. Após ajustadas as posturas, é preciso clicar em “*Analysis*”, em seguida em “*Task Analysis Toolbar*” e em “*NIOSH*”. Na sequência é preciso selecionar o manequim a ser analisado, clicando nele. É preciso clicar no botão “*Use Posture*”, dentro da caixa de “*Lift Origin*”. Assim, as medidas do manequim passam automaticamente para a janela de análise do *software*. Posteriormente a postura final do manequim deve ser modelada, então clica-se no botão “*Use Posture*” dentro da caixa de “*lift Destination*” e os parâmetros devem ser inseridos: número da tarefa realizada (em “*Task*”), o peso médio do objeto e o peso máximo do objeto, como mostrado na Figura 14.

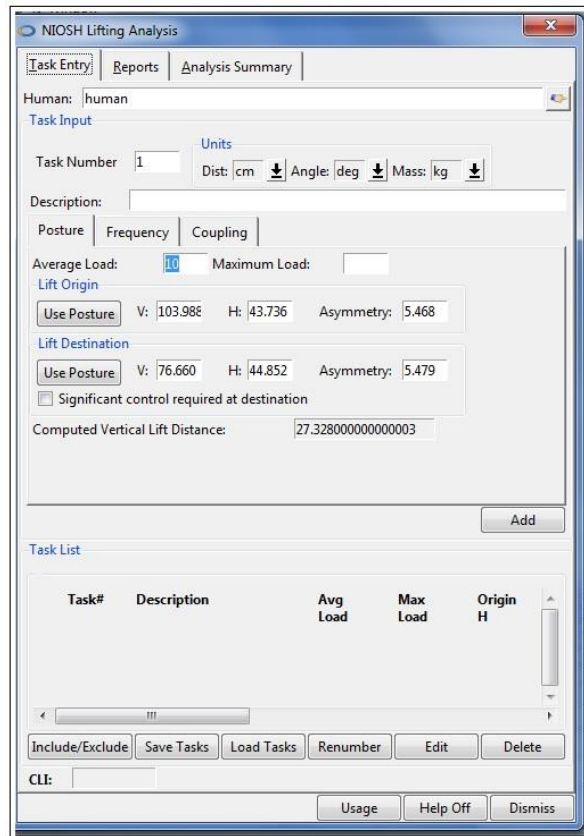


Figura 14. Parâmetros inseridos na ferramenta NIOSH - *software* Jack (Fonte: *software* Jack).

Em seguida, os parâmetros da aba “*Frequency*” são inseridos: elevações por a cada 15 minutos (foi preciso fazer um cálculo, pois no ambiente real estava em horas), tempo de elevações em horas e o tempo de recuperação em horas. Após inserir os parâmetros, clica-se em “*Add*” e dados aparecerão em relação à análise, então clica-se em “*Include/Exclude*”, a análise é feita e aparece na aba “*Analysis Summary*” e o resultado aparece automaticamente.

2.2.3.2.c Comparação entre as aplicações da NIOSH

Em relação a NIOSH no Delmia, o *software* faz a aplicação na posição inicial e depois na posição final da atividade, dois LPRs e dois ILs são calculados. Há muitas diferenças entre a aplicação no *software* e no ambiente real. No Delmia alguns *inputs* são inseridos pelo pesquisador: frequência, duração da atividade, classificação da pega e o peso do objeto manuseado. Os outros itens da ferramenta são calculados a partir da modelagem do manequim. A frequência da atividade é colocada no *software* como uma vez em uma determinada quantidade em segundos. Na tabela em ambiente

real, as elevações são colocadas como elevações por minuto. Como as atividades acontecem em horas, foi preciso fazer os cálculos para converter. Houve dificuldade em relação à modelagem, pois o Delmia não considera o ângulo de assimetria, como é considerado em ambiente real, por mais que o manequim seja rotacionado como na atividade real, a ferramenta só considera o ângulo de assimetria quando a base do manequim é mantida fixa e seu corpo rotacionado. O *software* também apresenta algumas limitações em relação a movimentos, como a flexão de coluna que não passa de 100 graus. O que difere do corpo humano, que é capaz de realizar uma variedade de posturas e movimentos que são controlados pelas articulações (Levangie e Norkin, 2005).

Em relação ao *software* Jack, a frequência é calculada a cada 15 minutos. A postura do manequim é limitada pelo *software*, não é possível passar de uma certa amplitude, principalmente para MMSS e coluna. O *software* exige que seja inserido o tempo de realização do manuseio em horas e o tempo de recuperação, também em horas, para que a ferramenta possa ser calculada. A pega deve ser classificada como ótima ou pobre apenas, também pelo tipo do objeto que é manuseado (como recipiente ou como objeto solto) e pela postura que está a mão e os dedos do manequim. Além disso, a pega pode ser classificada como alça, recorte ou se os dedos estiverem a 90 graus. Conforme altera uma classificação, outras classificações são alteradas.

No Jack é obrigatório colocar o peso máximo e o peso médio que será carregado. Como as atividades selecionadas apresentavam pesos fixos de objetos, foi colocado o mesmo valor para os dois. Outro ponto observado foi que não é preciso modelar a postura no Jack, os parâmetros podem ser inseridos pelo pesquisador diretamente no *software*. O qual exige parâmetros de distância horizontal e distância vertical tanto para a postura inicial, quanto para a postura final.

2.2.3.3 Protocolo Snook e Ciriello

O *Snook and Ciriello*, ou *Manual Handling Limits* (Limites de Manuseio Manual), como é chamado no *software* Jack, foi baseado em 20 anos de pesquisas realizadas no *Mutual Liberty Research Center* por Snook e Ciriello (1991).

Esta ferramenta avalia e desenvolve tarefas de movimentação manual, envolvendo carregamento, levantamento, abaixamento, empurrar, puxar, com o objetivo

de reduzir riscos de dores lombares. A ferramenta permite que seja determinado o peso ou força máxima aceitáveis, que uma determinada percentagem de homens e mulheres seria capaz de manipular ao executar elevação, abaixamento, ou empurrar e puxar objetos. Também identifica o percentual de homens e mulheres capaz de lidar com um determinado peso ou força ao realizar uma tarefa específica (Snook e Ciriello, 1991).

A ferramenta se baseia em tabelas que levam em consideração o gênero de população, a distância do manuseio, a altura do manuseio, o percentil da população e a frequência, em segundos, minutos ou horas (Snook e Ciriello, 1991).

A Tabela de Carregamento (Anexo II) mostra os pesos máximos aceitáveis (em kg) para carregamentos realizados por homens e mulheres, segundo as condições de distância, altura, frequência apontadas na tabela. A partir destas condições impostas pela atividade, chega-se no peso máximo aceitável. Há Tabelas de Empurrar para homens (Anexo III) e mulheres (Anexo IV). A lógica para chegar nesse peso é a mesma para todas as tabelas e ambos os gêneros. De acordo com a atividade, sua frequência, como ela acontece, chega-se nos resultados pelas tabelas. As Tabelas de Puxar referem-se aos pesos máximos aceitáveis, segundo Snook e Ciriello (1991), para a atividade de puxar para homens (Anexo V) e mulheres (Anexo VI).

2.2.3.3.a Caracterização da aplicação do Snook e Ciriello no Delmia

Para aplicar o Snook e Ciriello é preciso inserir o manequim e em seguida é preciso selecionar a função “*New Manikin*” e defini-lo como “*Father Product*”, clicando em “*Product1*”.

Depois de inserido o manequim, aplica-se a ferramenta Snook e Ciriello clicando em “*Start*”, “*Ergonomics Design & Analysis*” e “*Human Activity Analysis*”. Em seguida, modela-se a postura do manequim de acordo com a atividade desejada, clicando na barra de ferramentas em “*Manikin Posture*”. Na barra de ferramentas chamada de Ergonomic Tools escolhe-se qual análise do Snook e Ciriello será realizada: “*Lift-Lower Analysis*”, “*Push-Pull Analysis*” e “*Carry Analysis*”. Com o botão da barra “*Ergonomic Tools*” selecionado, o manequim a ser analisado deve ser selecionado. Em seguida, define-se os parâmetros da análise: o ano da ferramenta (“*Snook e Ciriello 1991*”), a frequência da atividade (“*1 push every*”), a distancia percorrida na atividade (“*Distance of push*”/ “*Distance of pull*”) e a porcentagem da população que se deseja atender, neste caso foi definido o padrão de 50% para as duas atividades.

Automaticamente a ferramenta calcula a força inicial para empurrar e puxar (“*Maximum acceptable inicial force*”) e calcula a força de sustentação para empurrar e puxar (“*Maximum acceptable Sustained force*”). A Figura 15 mostra os parâmetros e os resultados.

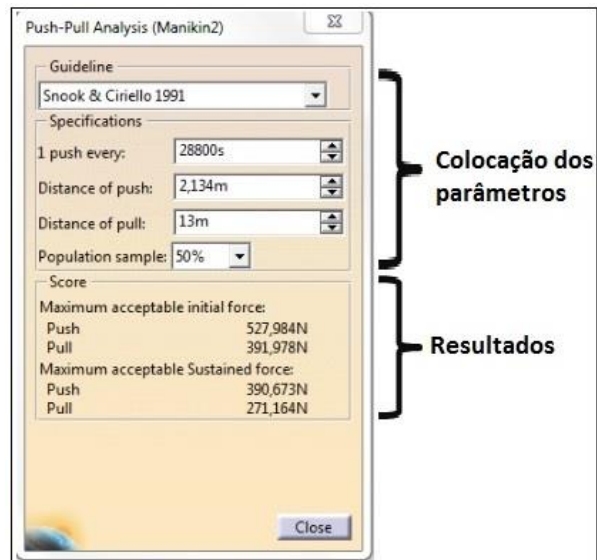


Figura 15. Colocação dos parâmetros e resultados - Snook e Ciriello no Delmia (Fonte: Delmia).

2.2.3.3.b Caracterização da aplicação do Snook e Ciriello no Jack

Para aplicar o Snook e Ciriello no Jack é preciso inserir um manequim e ajustar sua postura conforme a atividade a ser analisada, da mesma maneira como na aplicação do RULA. Em seguida é preciso modelar a postura do manequim e clicar em “*Analyses*”, “*Task Analysis Toolbit*” e “*Manual Handling Limits*”. Aparecerá uma janela para que os parâmetros sejam colocados: gênero, tipo de atividade (empurrar/puxar), unidades de medidas (metros), frequência da atividade, distância percorrida, altura das mãos e a porcentagem da população. Em seguida clica-se em “*Usage*” e os resultados aparecem (Figura 16).

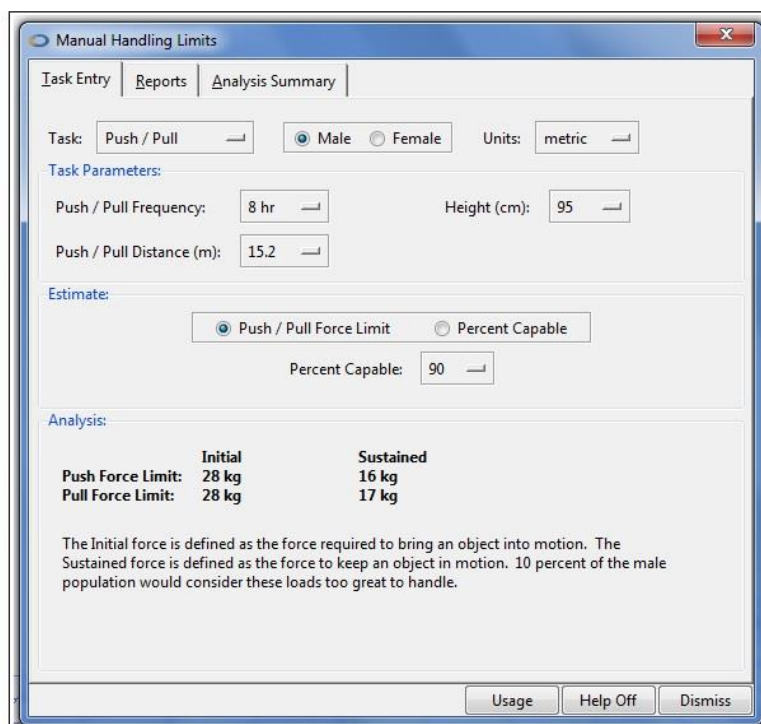


Figura 16. Aplicação do Snook e Ciriello no *software* Jack (Fonte: *software* Jack).

2.2.3.3.c Comparação entre as aplicações do Snook e Ciriello

Todas as informações do Snook e Ciriello foram inseridas manualmente nos *softwares*: gênero da população, frequência da atividade, distância percorrida, altura das mãos, porcentagem da população. Há uma diferença nos inputs desta ferramenta no Delmia: os dados são colocados no valor exato da distância percorrida e o software aproxima esta distância, com os valores fixos das tabelas. No Jack os valores iguais aos da tabelas já estão presentes, só é preciso selecioná-los. A modelagem do manequim não interfere nos resultados da ferramenta. Em ambiente real, todos esses dados são olhados pelo pesquisador e procurados na tabela. Então, pela lógica, todos os resultados deveriam ser iguais. Os resultados foram próximos, contudo houve algumas discrepâncias.

2.2.3.4 Considerações acerca dos protocolos de análise

Com exceção do Snook e Ciriello no *software* Jack, há diferenças nas inserções de dados para todas as outras ferramentas em ambos os *softwares*. O Snook e Ciriello foi a ferramenta com os *inputs* mais próximos do ambiente real. O Quadro 4

mostra as comparações entre os *inputs* do RULA inseridos em ambiente real, ambiente Delmia e ambiente Jack.

Quadro 4. Comparação dos *inputs* do RULA (ambiente real e ambiente dos *softwares*).

Parâmetros	Ambiente real	Delmia	Jack
Passo 1	Pontuar a postura do ombro, acrescentando +1 se o ombro estiver levantado, +1 se o braço estiver abduzido, e -1 se o braço estiver apoiado ou a pessoa for magra.	Modelar o manequim.	Customizar e modelar o manequim.
Passo 2	Pontuar a postura do cotovelo, acrescentando +1 se o braço estiver trabalhando na linha média do corpo e +1 se o braço estiver afastado do corpo.	Selecionar o lado a ser analisado (direito ou esquerdo).	Classificar a musculatura para a parte A, de acordo com o que está escrito na ferramenta do <i>software</i> , não é dada uma pontuação.
Passo 3	Pontuar a postura de punho, acrescentando 1 caso o punho esteja dobrado na linha média do corpo.	Colocar se a postura é estática, intermitente ou repetitiva. Caso seja repetitiva, colocar a frequência (<4 vezes por min ou >4 vezes por min).	Classificar a força e a carga para a parte A, sem dar pontuação.
Passo 4	Pontuar a rotação de punho.	Colocar o peso da carga, caso esteja carregando.	Classificar se o braço está suportado.
Passo 5	Achar os valores dos passos 1, 2, 3 e 4 na Tabela A.	Colocar se o braço está elevado e se está abduzido.	Classificar postura de pernas de acordo com os itens específicos da ferramenta.
Passo 6	Pontuar musculatura.	Colocar se há rotação de antebraço.	Classificar a musculatura para a parte B.
Passo 7	Pontuar força e carga.	Colocar se há ou não desvio de punho.	Classificar a força e a carga para a parte B.
Passo 8	Achar o valor na Tabela C.	Colocar se o punho está rotacionado.	-
Passo 9	Pontuar a postura de pescoço, acrescentando 1 se o pescoço estiver rotado e 1 se estiver inclinado.	-	-
Passo 10	Pontuar a postura de tronco, acrescentando 1 se o tronco estiver	-	-

	rotado e 1 se estiver inclinado.		
Passo 11	Pontuar pernas: +1 caso o peso do corpo esteja distribuído nas duas pernas, +2 caso não esteja.	-	-
Passo 12	Achar o valores dos passos 9, 10 e 11 na Tabela A.	-	-
Passo 13	Pontuar musculatura.	-	-
Passo 14	Pontuar força e carga.	-	-
Passo 15	Achar o valor na Tabela C.	-	-

Fonte: elaboração própria.

Segundo dados do Quadro 4, é possível observar que os *inputs* da ferramenta em ambiente real são diferentes dos *inputs* do Delmia e dos *inputs* do Jack. Os passos da ferramenta original não são seguidos pelos *softwares*, os quais apresentam maneiras diferentes que inserir os dados. Além disso, os *softwares* consideram as posturas dos manequins como dados da ferramenta RULA. No Delmia ainda é possível que alguns itens sejam alterados pelo analista, como a elevação de ombro, abdução de ombro, rotação de antebraço, desvio de punho, rotação de punho, rotação e inclinação de pescoço e rotação e inclinação de pescoço. Já no Jack, nenhum destes dados de postura podem ser inseridos pelo analista. Toda a pontuação, com exceção da pontuação da musculatura, da carga e força e das pernas, é calculada automaticamente pelo *software*. Também no Jack, a classificação de perna é feita pelo analista apenas na parte A da ferramenta, na parte B não há esta opção.

Para a NIOSH também foi possível observar diferenças nos *inputs*, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5. *Inputs* da NIOSH.

Seqüência do cálculo	Ferramenta original	Ferramenta Delmia	Ferramenta Jack
1	Colocar a constante de carga (= 23kg).	Colocar se a postura é inicial ou final.	Classificar postura, colocando a carga mínima e a carga máxima do levantamento. Inserir V, H e A na origem do levantamento e no seu fim ou deixar pela postura do manequim.

2	Calcular o FH.	Colocar o tipo de cálculo que será realizado (no caso o de 1991).	Classificar a frequência, colocando quantas elevações são realizadas a cada 15 minutos. O tempo, em horas, que estas elevações ocorrem e o tempo de recuperação em horas.
3	Calcular o FV.	Inserir a frequência, em segundos, de cada elevação.	Classifica-se a pega, classificando se o objeto é um container ou se é leve. Em seguida classifica-se o tamanho do container. Por fim classifica-se a postura das mãos pegando o objeto.
4	Calcular FD.	Inserir a duração da atividade.	Cálculo automático.
5	Calcular FA.	Classificar a condição da pega.	-
6	Classificar frequência.	Colocar o peso do objeto.	-
7	Classificar a pega.	Fazer a mesma classificação para a postura final.	-
8	Calcular o LPR.	Cálculo automático.	-
9	Calcular o IL.	-	-

Fonte: elaboração própria.

Os *inputs* dos *softwares* são diferentes entre eles e diferentes da NIOSH original. No Delmia, há uma grande diferença com a ferramenta original, que é inserir dados para a postura final e para a postura inicial. Já no Jack, há duas grandes diferenças: calcular elevações a cada 15 minutos e inserir o tempo de recuperação, que é calculado em horas. Na ferramenta original a frequência é calculada em elevações por minuto e a duração do trabalho varia de uma a oito horas.

O Quadro 6 apresenta as diferenças dos *inputs* para a ferramenta Snook e Ciriello.

Quadro 6. *Inputs* do Snook e Ciriello.

Parâmetros	Ferramenta original	Ferramenta Delmia	Ferramenta Jack
1	Achar a distância (m) na tabela.	Colocar a frequência (s).	Selecionar a frequência (s, min, hr).
2	Achar a altura (cm).	Colocar a distância (m).	Selecionar a distância (m).
3	Achar a porcentagem (%).	Colocar a porcentagem da população (%).	Selecionar a altura (cm).
4	E achar a frequência de puxar/empurrar (s, min, hr) na tabela.	-	Selecionar a porcentagem da população (%).

Fonte: elaboração própria.

Para o Snook e Ciriello, é possível observar que no Jack os *inputs* são iguais aos das Tabelas originais. Já o Delmia calcula a altura das mãos pela postura do manequim. E os parâmetros são inseridos e não selecionados, então há a opção de o analista colocar o valor exato da atividade e este valor é aproximado pelo *software*.

2.3 Limites e validação da Simulação Humana

Os estudos ergonômicos de simulação humana são dificultados pelas limitações do modelo humano digital (DHM) e ainda existem algumas lacunas, entre o movimento humano e a tecnologia biomecânica, que devem ser superadas (Santos et al., 2007).

Ferramentas de simulação humana são complexas e usá-las requer uma boa experiência em diferentes campos. É necessário conhecer a ergonomia, mas também ter habilidades com os *softwares* e ter um conhecimento detalhado das várias características do produto que está sendo projetado/avaliado (Lockett et al., 2005). Além disso, vários pesquisadores e usuários finais afirmam que uma utilização eficiente das ferramentas humanas digitais não pode ser alcançada até que um processo adequado e organizado da estrutura seja desenvolvido em torno do uso das ferramentas (Lämkuil, Hanson e Örtengren, 2009).

Um estudo de Lämkuil, Hanson e Örtengren (2009) analisou as simulações de ergonomia em tarefas reais de montagem e comparou as diferenças dos resultados em ambiente real e ambiente digital, assim como foi realizado na presente pesquisa. O estudo ocorreu em uma empresa automobilística e foram selecionadas 126

atividades diferentes para serem simuladas. Para isso os pesquisadores entenderam as tarefas, os postos e o trabalho, em seguida houve uma pré-simulação dos postos e a antropometria dos manequins foi definida, a ferramenta da análise utilizada foi a *eM-Workplace* (com o RAMSIS, da Siemens), as atividades foram simuladas e pontuadas pelos pesquisadores. As atividades foram classificadas como vermelhas, amarelas e verdes, segundo os autores, das 126 atividades, 57 são vermelhas, 46 são amarelas e 23 são verdes. A partir disso, os autores descreveram os resultados, classificando as atividades. Não houveram ferramentas a serem comparadas, como no presente estudo, apenas uma ferramenta foi utilizada e aplicada em diversas atividades reais. Os autores observaram que as ferramentas preveem corretamente as questões de ergonomia para posturas em pé, sem restrições.

As aplicações computacionais dedicadas ao estudo ergonômico são numerosas e têm evoluído a partir de programas numéricos básicos que são baseados em realidade virtual. Durante a década de 1990 muitos pesquisadores desenvolveram modelos virtuais para trabalhar com sistemas de CAD. Alguns exemplos desses programas (como o *software* Jack) foram analisados para ajudar o usuário a selecionar o programa certo de acordo com o projeto da estação de trabalho. Hoje em dia, as aplicações ergonômicas mais expansivas incluem um módulo de CAD para construir um ambiente de trabalho virtual e permitir a integração de software CAD como o AutoCAD ou ProEngineer. Todas estas aplicações podem agora ser executadas em um computador baseado em Windows (Santos et al., 2007).

Um estudo de Santos et al. (2007) foi desenvolvido com a aplicação do “*eM-Workplace*” (criado pela Tecnomatix). A escolha de usar esta ferramenta foi baseada no fato de que a Universidade de Navarra tem uma licença de pesquisa para este pacote, que vem sendo aplicado em processos produtivos onde há repetitividade. O *software* de simulação é baseado em estudos tradicionais de tempos e métodos, contudo os autores citam que há limitações no *software*. Os programas mais completos para permitir os seguintes estudos são: o sistema MTM, a análise do OWAS e a análise de levantamento da NIOSH (Santos et al., 2007). O estudo foi realizado em uma empresa de manufatura, onde são produzidos lotes, com diversas variedades de peças. E há uma máquina no posto que trabalha continuamente e é operada por uma pessoa. O cenário foi simulado no CAD, juntamente com o *software eM-Workplace* e seus manequins. Nove atividades foram selecionadas e cronometradas, e as análises foram feitas de acordo com as ferramentas.

Três análises ergonômicas diferentes foram realizadas: OWAS, o *Burandt–Schultetus Hand-Arm Forced Analysis* e a análise de levantamento da NIOSH. Este é um fato de diferencia o estudo de Santos et al. (2007) do presente estudo, outro fato é que Santos et al. (2007) não compararam as aplicabilidades das ferramentas em nesta dissertação. A análise ergonômica do estudo foi feita a partir da aplicação do OWAS e da NIOSH e os resultados obtidos no estudo foram os resultados das duas ferramentas. As ferramentas foram aplicadas apenas no ambiente digital e o resultado delas foi o resultado do estudo.

Considerando o conjunto de questões tratadas no tópico de Simulação Humana, limitações estão presentes nos modelos humanos digitais, assim como há diferenças nas inserções dos dados das ferramentas. Quando falamos em modelos humanos digitais, muitas pessoas se referem a modelos humanos antropométricos e biomecânicos. Estes modelos focam as dimensões, movimentos e força dos manequins no projeto de novos produtos, plataformas militares e/ou equipamentos militares, contudo estes modelos não são suficientes para uma modelagem mais abrangente do comportamento humano e suas variabilidades. Este é um dos limites da simulação humana apontado por Alexander, Conradi e Neuhöfer (2012). Segundo estes autores, a simulação de um comportamento realista é difícil de ser realizada, muitas vezes é necessária a captura de movimento de atores reais. Os métodos de geração de modelos humanos existentes são limitados em termos de representatividade e eficiência, muitas vezes os resultados da simulação podem não refletir adequadamente a variabilidade da população alvo (Jung, Kwon e You, 2009).

Modelos humanos digitais são manequins antropométricos tridimensionais compostos de um modelo interior do esqueleto humano e um modelo exterior da forma do corpo humano (Fritzsche, 2010). Há pesquisas para melhorar a cinemática inversa e hoje ainda há um esforço para preparar simulações de processos dinâmicos, mas o manuseio dos *softwares* é complicado e demorado (Fritzsche, 2010).

A avaliação da interação física entre o homem e a máquina deve considerar a diversidade antropométrica, ou seja, a variação dimensional das medidas do corpo humano entre os usuários-alvo. Segundo Bertilsson, Hogberg e Hanson (2013) isto é fundamental quando se utiliza a Modelagem Digital Humana (DHM) nas análises ergonômicas.

A análise biomecânica de um ser humano em situação de trabalho, ou interagindo com um produto humano pode ser facilitada pelo uso da DHM. A

relevância dos dados coletados depende da precisão com que o modelo representa o sujeito observado a partir de um ponto de vista biomecânico (Verriest, 2012).

Lämkkull, Hanson e Örtengren (2007) descobriram que meras mudanças na aparência manequim podem influenciar nas classificações de risco em ergonomia, especialmente quando trata-se de observadores menos experientes. Por isso, os autores recomendam integrar métodos mais objetivos em *softwares* de simulação humana para garantir avaliações de risco ergonômicos de maneira correta e reduzir as diferenças dos avaliadores.

Um problema com ferramentas de modelagem humana digital é que elas não fornecem os métodos adequados para uma avaliação global do risco ergonomia (Fritzsche, 2010). Por exemplo, apenas há a possibilidade de análise de cenas estáticas usando métodos que incidem separadamente sobre fatores de risco individuais, como o RULA, que é usado para avaliar posturas corporais, e a NIOSH, que se concentra em manuseio de materiais (Fritzsche, 2010). E segundo, Fritzsche (2010) não há quase estudos que examinem a validade destas avaliações dos *softwares* e a maioria dos que existem utilizam as ferramentas de análise ergonômica sem questionar se uma avaliação real teria levado aos mesmos resultados. Sundin e Örtengren (2006) apontam este problema e atentam os usuários de DHM ao usar métodos como o RULA, pois não é sabido ao fundo suas limitações. Além disso, pode haver uma considerável variabilidade entre diferentes observadores ao avaliar os resultados da simulação com os métodos de papel e lápis (Fritzsche, 2010).

Portanto, este estudo propõe avaliar e validar três ferramentas comuns a dois *softwares* de simulação humana, os procedimentos utilizados para isto estão descritos na metodologia.

2.4 Considerações acerca da revisão teórica

Este capítulo apresentou conceitos associados à ergonomia e simulação humana e conceitos ligados às ferramentas/protocolos que analisam cargas físicas. Segundo Daniellou (2007), para analisar uma atividade futura, o ergonomista precisa utilizar meios diferentes dos que são usados na análise da atividade real. Um dos meios de análise da atividade futura é o uso da simulação e da aplicação de ferramentas de

análise ao longo dela. Mas como mostrado no presente capítulo há diferenças entre os *softwares*, os *inputs* das ferramentas e a forma de estruturação dos manequins.

Existem ferramentas que podem auxiliar na análise da atividade futura e três delas são estudadas nesta pesquisa. A parte teórica dos *softwares* e das ferramentas foi descrita no presente estudo e os resultados de suas aplicações serão apresentados nos capítulos seguintes. Foi possível observar que as ferramentas apresentam diferenças em suas aplicações, comparando as originais com as ferramentas presentes nos *softwares*, também há diferenças na forma de construção dos manequins, principalmente quando comparados com a estrutura humana. Deve ser considerado que há diferenças das ferramentas entre os dois *softwares*. Assim, retoma-se a questão central da pesquisa: “*Ao serem aplicadas em ambiente real e em ambiente digital, os resultados das ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello serão iguais? Haverá diferenças entre os softwares?*”. A metodologia utilizada para responder esta questão está apresentada no Capítulo 3.

3 METODOLOGIA

Para introduzir a parte prática deste estudo e apresentar a metodologia desta pesquisa, este capítulo conta como a pesquisa surgiu, como foi realizada a coleta e o tratamento dos dados. Define também o contexto das aplicações realizadas ao longo do projeto, o qual partiu de uma parceria realizada entre o PSPLab (Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projeto de Situações Produtivas do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos) e uma indústria que fabrica aeronaves.

A partir desta parceria foi criado um projeto de ergonomia, chamado Ergoar, que decorreu ao longo de anos e apresentou diversas etapas: levantamento do absenteísmo nos setores, pesquisa das atividades realizadas nos setores produtivos, apontamento das atividades mais críticas (pelos operadores que realizavam as atividades, juntamente com a supervisão), análise ergonômica das atividades consideradas críticas e realização de projetos de melhorias.

A partir da demanda do projeto Ergoar, surgiu a necessidade de uma ferramenta que auxiliasse os engenheiros a realizar projetos que incluíssem a análise ergonômica da atividade futura de trabalho. Criou-se então uma ferramenta, PROVER (Protocolo de Verificação de Ergonomia), a qual apresenta parâmetros de verificações ergonômicas: acesso, alcance, visão e as limitações posturais ao longo de operações. Além disso, o PROVER prescreve a aplicação de três ferramentas de análise de carga física - RULA, NIOSH e Snook e Ciriello - em ambiente real e no ambiente digital utilizando o Delmia.

O *software* utilizado pelos engenheiros, na indústria aeronáutica estudada é o Delmia. A partir deste *software*, os engenheiros observam como será o trabalho futuro, simulando atividades futuras e a interação dos manequins no ambiente digital.

3.1 Desenvolvimento da pesquisa

Dentro do projeto Ergoar havia a etapa da análise da atividade, esta ocorre de acordo com as demandas das áreas e se baseia nos dados do Busca-Ativa, etapa do projeto em que os operadores dos setores apontaram quais eram as atividades mais críticas de serem realizadas. A partir deste apontamento, foi elaborada uma lista com as atividades mais críticas para serem analisadas, grande parte destas atividades foi

observada pelos analistas. Contudo não foram todas as atividades que puderam ser escolhidas com base nas suas criticidades, pois as ferramentas apresentam especificidades e algumas delas não se encaixaram nas atividades mais críticas.

Para a aplicação da NIOSH foram selecionadas algumas atividades fora do Busca-Ativa devido às especificações da ferramenta, então estas atividades não passaram por uma análise ergonômica, não estão dentro do projeto Ergoar e sua criticidade até então era desconhecida. Isto ocorreu porque a NIOSH é uma ferramenta muito específica e exige algumas condições para que possa ser aplicada. Então atividades reais mais específicas foram selecionadas.

Também é preciso ressaltar que não necessariamente as atividades que foram consideradas críticas pelos os operadores apresentaram riscos na hora da análise ergonômica e da aplicação das ferramentas.

3.1.1 Tipo de pesquisa e racionalidade

Por gerar conhecimentos para aplicação prática, esta pesquisa se caracteriza como *aplicada*. Devido ao fato de partir de uma questão particular observada, o esquema interpretativo da pesquisa é *indutivo* (Martins, 2010b). Em relação à abordagem do problema, ela é *qualitativa*, devido à interpretação dos resultados, que serão observados, decodificados e traduzidos, o ambiente em que a pesquisa ocorre é o ambiente de trabalho dos indivíduos (Martins, 2010a).

O método de pesquisa refere-se a um *estudo experimental*, pois é o estudo da relação causal entre a aplicação das ferramentas no ambiente real de trabalho e a aplicação das mesmas três ferramentas no ambiente digital dos *softwares*, onde as condições dos sistemas são controladas pelo pesquisador (Nakano, 2010). A técnica da pesquisa se baseou na *observação* dos resultados a partir da aplicação das ferramentas. A técnica de análise de dados foi a *observação* e a *comparação* destes resultados.

3.1.2 Procedimento para a coleta de dados

Ao longo do presente estudo foram pesquisadas as ferramentas de análise de carga física presentes em *softwares* de simulação humana. Dois *softwares* presentes no PSPLab foram pesquisados e suas ferramentas de análise de carga física foram

estudadas. Os *softwares* são Delmia/Human Builder e Jack. A partir do estudo dos *softwares* pode-se observar que três ferramentas de análise de cargas físicas de trabalho eram comuns a eles. Desta forma surgiu a questão central da pesquisa: “*Ao serem aplicadas em ambiente real e em ambiente digital, os resultados das ferramentas RULA, NIOSH e Snook e Ciriello serão iguais? Haverá diferenças entre os softwares?*”. Então estas três ferramentas (RULA, NIOSH e Snook e Ciriello) foram selecionadas para a realização do estudo e para que possíveis comparações dos resultados de suas aplicações pudessem ocorrer.

As ferramentas foram aplicadas em atividades reais de trabalho na indústria de fabricação de aeronaves ao longo do projeto Ergoar. Foram selecionadas dez atividades para cada ferramenta, para que várias modelagens fossem realizadas e dez aplicações diferentes, de cada ferramenta, fossem realizadas. Devido a especificação e facilidade da aplicação do Snook e Ciriello, as dez atividades foram e aplicadas em três porcentagens diferentes de população: 50, 75 e 90%. As atividades foram selecionadas de acordo com o que cada ferramenta visa analisar. O RULA foca sua análise na prevenção de riscos de desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas em membros superiores (McAtamney e Corlett, 1993) e a NIOSH (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994) e o Snook e Ciriello (Snook e Ciriello, 1991) foram desenvolvidos com o intuito de prevenir riscos de lesões na coluna lombar.

3.1.3 Procedimento para tratamento de dados

Como balizador das aplicações e modelagens realizadas nos *softwares* os procedimentos prescritos para aplicação das ferramentas consideradas serão realizados pelo pesquisador. O mesmo pesquisador estudou as ferramentas e treinou suas aplicações, para que os resultados não divergissem na aplicação em ambiente real. Então todas as aplicações em ambiente real e ambiente digital foram realizadas por um único pesquisador, para tentar limitar as divergências nas aplicações.

Assim, uma mesma situação foi analisada em três contextos: observação da atividade e aplicação das ferramentas pelo pesquisador em ambiente real (P), simulação e aplicação das ferramentas no *software* Delmia (D) e simulação e aplicação das ferramentas no *software* Jack (J), exemplificados pela Figura 17.




Atividade real (P)	Modelagem Delmia (D)	Modelagem Jack (J)
		

Figura 17. Exemplo da sequência das aplicações (Fonte: elaboração própria).

Das três aplicações, cinco possibilidades de resultados poderão ser obtidas: P=D, P=J e D=J; P=D, P#J e D#J; P#D, P=J e D#J; P#D, P#J e D=J; e P#D, P#J e D#J. Para as possibilidades de resultados das comparações apenas uma (P#D, P#J e D#J) não possibilitará resultados conclusivos.

Para realizar uma simulação com manequins digitais, é preciso que estes sejam inseridos no cenário dos *softwares* e ambos os *softwares* exigem que um percentil e uma população seja escolhida para que o manequim possa ser inserido. Então, para realizar as simulações um padrão de percentil foi escolhido pelo pesquisador. O percentil padrão foi 50, escolhido aleatoriamente, contudo as três ferramentas selecionadas não levam em consideração os percentis na aplicação em ambiente real, mas os *softwares* exigem que este ponto seja considerado na simulação.

Depois de realizadas as análises os resultados foram colocados em tabelas demonstrativas e foram comparados.

3.1.4 Considerações sobre os limites e dificuldades

Houveram dificuldades quanto a familiarização com os *softwares* e as ferramentas, foi preciso estudá-las e analisá-las nos *softwares* para entender seu funcionamento e as diferenças em seus *inputs*. Outra dificuldade encontrada foi a de encontrar atividades que se enquadrassem nas exigências da NIOSH, que é uma ferramenta de análise para posturas muito específicas.

3.2 Considerações acerca da metodologia

Este capítulo apresentou o trabalho de campo realizado e teve como elemento principal a aplicação das ferramentas de análise de cargas físicas nos *softwares* de simulação humana, comparadas entre si e com as aplicações em ambiente real. Destas resultou uma compreensão sobre as interações dos *softwares* e das ferramentas de análise.

Aplicar ferramentas de análise é um fato contextualizado, que deve seguir um método e bases teóricas. Os resultados das análises devem fornecer conhecimentos e fornecer dados para auxiliar na análise ergonômica. O próximo capítulo mostra as tabelas com os resultados e sua comparação.

4 APLICAÇÕES E RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa e mostra a resposta da questão central da pesquisa. É neste capítulo que estão apresentadas as validações das ferramentas. Primeiramente são mostradas as aplicações para o RULA, em seguida para a NIOSH e por fim para o Snook e Ciriello. As atividades em que as ferramentas foram aplicadas são explicadas neste capítulo.

As aplicações dos três protocolos ocorreram em ambientes reais e ambientes digitais (Delmia e Jack). Foram selecionadas atividades reais de trabalho de uma empresa que fabrica aeronaves. As atividades foram escolhidas a partir de visitas do pesquisador em diversos setores da indústria aeronáutica, os setores foram visitados de acordo com o andamento do projeto Ergoar. A partir das análises realizadas nos setores, que as atividades foram selecionadas e modeladas nos dois *softwares*.






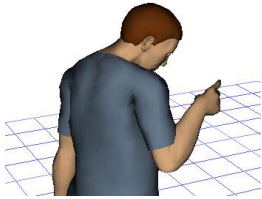


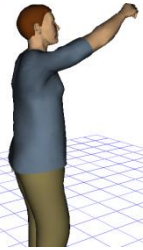









Cada atividade foi selecionada de acordo com o que cada ferramenta visa analisar. Ou seja, como o RULA foca sua análise em membros superiores (MMSS) principalmente, atividades que priorizavam o trabalho de MMSS foram selecionadas para a aplicação desta ferramenta. Para a aplicação da equação da NIOSH foram selecionadas atividades que focavam levantamento e abaixamento de carga. E para a aplicação das tabelas de Snook e Ciriello foram selecionadas atividades de puxar e empurrar.

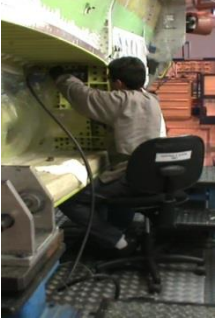

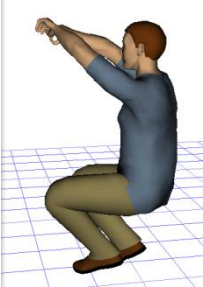
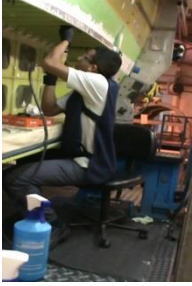








Como a indústria de fabricação de aeronaves apresenta processos produtivos muito diversificados, cada setor analisado tem suas especificidades. Os operadores realizam diferentes atividades ao longo do turno de trabalho em todos os setores selecionados e o ritmo de trabalho varia de acordo com a produção.

4.1 Aplicações e resultados para o RULA

Para a aplicação do RULA foram selecionadas dez atividades em que os operadores trabalhavam predominantemente com os MMSS, realizando movimentos e/ou aplicação de força com os braços (Quadro 7). Como própria exigência do RULA, apenas um ciclo específico do trabalho de cada atividade foi selecionado.

Quadro 7. Atividades selecionadas para a aplicação do RULA.

Nº	Atividade real	Modelagem Delmia	Modelagem Jack
1			
2			
3			
4			
5			
6			

7			
8			
9			
10			

Fonte: elaboração própria.

A primeira atividade (Quadro 7) selecionada para a aplicação do RULA foi uma atividade chamada de cravação. Nesta atividade o operador crava 63 rebites em uma peça. A atividade ocorre duas vezes por dia e o número de furos pode variar conforme a peça (variações de 63, 74 e 87 furos, dependendo da peça a ser cravada). Lembrando que no RULA, somente a postura de um membro é considerada, nesta atividade foi considerada a postura do membro superior direito. O operador fica em uma postura em pé, segurando uma ferramenta (chamada de martelete), que pesa aproximadamente 2kg e gera vibração no corpo do operador.

A segunda atividade foi selecionada devido ao uso dos MMSS no trabalho, o membro avaliado foi o membro superior direito. A atividade é chamada de furação, ocorre de uma a duas vezes ao dia e a peça é furada 16 vezes. Nesta atividade o operador fica em uma postura em pé e segura uma ferramenta (furadeira) que pesa aproximadamente 1 kg.

Na terceira atividade, o operador aperta parafusos de conectores, ele realiza a atividade em pé e com os braços elevados, a atividade ocorre 80 vezes em 4 horas. Apenas o braço direito foi considerado na análise.

A quarta atividade mostra um operador prensando um cabo com um alicate, que pesa 2,7 kg. Ele realiza esta atividade 3 vezes em oito horas de trabalho. O operador fica em pé, segurando o alicate sem apoiar os braços. O lado direito foi considerado na análise.

Na quinta atividade, o operador passa a lixa na fuselagem. Para realizar a atividade, ele fica na ponta dos pés, com os braços pra cima e olhando pra cima, durante uma hora e meia. O braço direito foi considerado na análise.

Na sexta atividade o operador realiza uma furação da fuselagem. Quarenta furos são realizados, com uma furadeira que pesa 5 kg. O operador realiza a atividade em pé e com as pernas abertas. O braço direito foi considerado na análise.

A sétima atividade mostra o operador realizando uma atividade de furação sentado, com uma máquina que pesa 5kg. Quarenta furos são realizados com os braços elevados. O braço direito foi considerado na análise.

Na oitava atividade o operador crava pinos sentado em uma cadeira, com os braços elevados. A carga da ferramenta não foi considerada, pois o lado considerado foi o esquerdo e 90 pinos são cravados na sequência. A ferramenta gera vibração.

A nona atividade também foi a cravação sentado, contudo o lado considerado foi o lado direito, em que o operador segura a ferramenta. A ferramenta pesa 5 kg. O operador fica sentado, com os braços elevados e sem apoio.

E a décima atividade é chamada de furação as inferiores. A atividade é realizada em pé, com as pernas abertas e os braços elevados, segurando uma ferramenta que pesa 1 kg. São feitos 22 furos.

A Tabela 3 mostra as pontuações para as três diferentes situações (P, D e J) nas dez atividades selecionadas para aplicar o RULA.

Tabela 3. Pontuações finais das aplicações do RULA nas três situações estudadas.

Nº da atividade	P	D	J
1	7	6	5
2	6	5	6
3	7	4	7
4	6	6	6
5	7	7	7
6	7	7	7
7	7	7	6
8	7	7	7
9	7	7	7
10	5	5	6

Fonte: elaboração própria.

Baseando-se nas informações da Tabela 3, a Tabela 4 mostra o número de atividades para as cinco situações.

Tabela 4. Resultados das aplicações do RULA.

Situação	Número de atividades
P=D, P=J e D=J	5
P=D, P#J e D#J	2
P#D, P=J e D#J	2
P#D, P#J e D=J	0
P#D, P#J e D#J	1
Total	10

Fonte: elaboração própria.

Segundo dados da Tabela 4, cinco atividades apresentaram o mesmo resultado nas três aplicações do RULA. Em duas situações a aplicação do pesquisador foi igual à aplicação no *software* Delmia e ambos diferentes do Jack. Em duas situações o resultado da aplicação do pesquisador foi diferente do resultado da aplicação no Delmia, mas foi igual ao Jack. E em uma situação, os resultados das três aplicações foram diferentes.

Das dez atividades em que o RULA foi aplicado, metade delas apresentaram os mesmos resultados. E a mesma quantidade de atividades foi igual para o Delmia e para o Jack. O que quer dizer que ambos os *softwares* estão próximos à aplicação em ambiente real.

Na caracterização da aplicação do RULA no Delmia foram apresentados quais dados devem ser inseridos pelo pesquisador no *software*, como por exemplo, o peso da ferramenta, o lado que a análise foi feita, se a postura é repetitiva. Já dados sobre a postura do manequim, como flexão de ombros, cotovelos, punhos, desvios, são todos obtidos diretamente da simulação. Na caracterização da aplicação do RULA no Jack (item 2.7.2.1) foram apresentados quais os dados que devem ser inseridos pelo pesquisador no *software*, como o uso da musculatura, posturas de pernas e a carga e força, para as duas partes da ferramenta (A e B). Da mesma maneira que o Delmia, o Jack usa a postura da modelagem como referência para aplicar o RULA.

Em apenas uma atividade o resultado do Delmia foi discrepante dos outros resultados, no restante, todas as atividades obtiveram resultados bem aproximados, variando um ponto de diferença. Como o RULA considera as pontuações 5 e 6 iguais (a mesma medida deve ser tomada para estas pontuações), os resultados ficam ainda mais próximos entre eles. A discrepância surge apenas quando algumas aplicações (para a mesma atividade) obtiveram pontuações 5/6 e 7. Afinal, pontuações acima de 7 pedem investigações e mudanças imediatas na atividade, diferentemente de pontuações 5 e 6, que indica que haja investigações e mudanças rápidas no local (McAtamney e Corlett, 1993).

4.2 Aplicações e resultados para a NIOSH

Antes de aplicar a NIOSH nos *softwares* Delmia e Jack foi preciso entender o funcionamento dos *softwares*, pois eles apresentam diferenças e limitações quando comparados com a realidade. Além disso, a maneira de análise é diferente em relação aos próprios *softwares*.

Para a realização das análises não é preciso que o objeto seja modelado, pois seu peso e o tipo de pega são inseridos pelo pesquisador diretamente no *software*.

Para a aplicação da NIOSH foram selecionadas atividades que focassem manuseio de materiais, especificamente, levantamento de cargas. Devido as especificidades da ferramentas, estas foram as atividades mais difíceis de serem encontradas em ambiente real. O Quadro 8 mostra as atividades.

Quadro 8. Atividades selecionadas para a aplicação da NIOSH.

Nº	Atividade real		Modelagem Delmia		Modelagem Jack	
1						
2						
3						
4						
5						
6						



Fonte: elaboração própria.

Na primeira atividade o operador manuseia uma peça metálica de uma bancada até uma máquina, ocorre abaixamento da peça. A atividade é realizada em pé e o operador não anda. A peça pesa 0,5 kg e a atividade ocorre 8 vezes em 8 horas. Na segunda atividade o operador faz o levantamento de uma caixa que pesa 5 kg. Atividade acontece 20 vezes em 8 horas. Na terceira atividade o operador realiza abaixamento de uma peça metálica de 1 kg, de uma bancada para uma máquina. A atividade ocorre 8 vezes em 8 horas. Na quarta atividade o operador eleva uma peça metálica de 2 kg de uma bancada até uma máquina. A atividade ocorre aproximadamente 15 vezes em 8 horas. Na quinta atividade o operador realiza um levantamento de uma caixa que pesa 4 kg, a atividade acontece 20 vezes em 8 horas. Na sexta atividade o operador levanta

uma caixa de 6 kg, tirando-a de uma prateleira e colocando-a em um carrinho. A atividade acontece 20 vezes em 8 horas. Na sétima atividade o operador realiza um abaixamento de uma caixa de 15 kg, a atividade ocorre aproximadamente 3 vezes em 8 horas. A caixa é retirada de uma prateleira e colocada em um carrinho de transporte. Na oitava atividade o operador retira uma caixa de uma bancada para colocar em outra, a caixa pesa 8 kg e o levantamento ocorre 1 vez em oito horas. Na nona atividade, uma placa de ferro é elevada um andar da prateleira para outro andar. A placa pesa 5 kg e o levantamento ocorre 10 vezes em 8 horas. E na décima atividade ocorre um abaixamento de uma peça metálica de uma bancada para uma máquina. A peça pesa 3 kg e a atividade acontece 15 vezes em 8 horas.

A Tabela 5 mostra as pontuações finais para as aplicações da ferramenta NIOSH, nas três diferentes situações.

Tabela 5. Pontuações finais das aplicações da NIOSH nas três situações estudadas.

Número da atividade	P		D		J	
	LPR	IL	LPR	IL	LPR	IL
1	5,84	0,09	8,6	0,1	9,65	0,05
2	2,22	2,25	14,2	0,4	8,72	0,57
3	8,35	0,12	20,9	0,1	18,55	0,05
4	4,48	0,45	14	0,1	10,29	0,1
5	7,71	0,52	10,8	0,4	13,41	0,3
6	20,49	0,08	11,6	0,5	17,16	0,35
7	20,14	0,74	20,1	0,7	16,06	0,93
8	9,67	0,83	17,7	0,5	19	0,42
9	3,35	0,15	12,2	0,5	18,4	0,27
10	7,64	0,39	14,6	0,2	14,04	0,21

Fonte: elaboração própria.









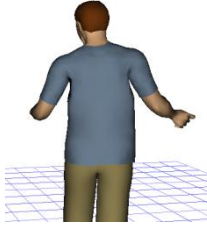
Segundo dados apresentados na Tabela 5, pode-se observar que apenas na atividade 10, os resultados dos dois *softwares* ficaram próximos. Apesar de a maioria dos índices estarem abaixo de 1, o que significa que a atividade é leve, segundo a NIOSH (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994), há muita discrepância entre eles. E em uma atividade (atividade 2) houve diferenças na classificação da atividade, pois acima de 2 significa que o risco da atividade é alto, e abaixo de 1 significa que o risco da atividade é leve (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).



















4.3 Aplicações e resultados para o Snook e Ciriello

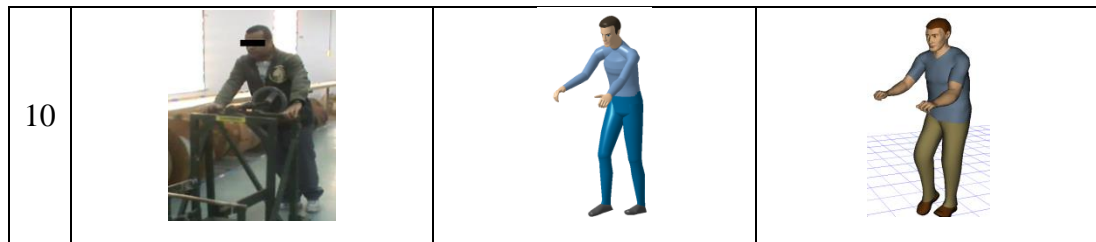
Para aplicar as tabelas do Snook e Ciriello, foram selecionadas atividades de puxar e empurrar. As tabelas foram aplicadas em ambiente real e no ambiente digital dos *softwares*. Em ambiente real, o Snook e Ciriello apresenta as tabelas com os pesos em quilogramas, contudo no *software* Delmia o peso é dado em newtons, então é preciso converter (para converter é preciso dividir o valor dos newtons por 9,8, chegando assim no resultado em quilos). Já no Jack o peso é dado em quilogramas.

A ferramenta foi aplicada abrangendo, 90, 75 e 50% da população, as porcentagens de 10 e 25 não foram aplicadas, pois elas não estão presentes no Delmia. Assim, totaliza-se 30 atividades, pois são 3 porcentagens para 10 atividades diferentes. O Quadro 9 apresenta as atividades selecionadas.

Quadro 9. Atividades selecionadas para a aplicação do Snook e Ciriello.

Nº	Atividade real	Modelagem Delmia	Modelagem Jack
1			
2			
3			

4			
5			
6			
7			
8			
9			



Fonte: elaboração própria.

Na primeira atividade, o operador puxa um carrinho, chamado trylogic, com as duas mãos. A altura das mãos do operador está aproximadamente 90 cm do chão. A atividade ocorre uma vez em 8 horas de trabalho e o operador caminha por 13 metros. Na segunda atividade o operador empurra um gabarito, as suas mãos ficam a 150 cm do chão, a distância percorrida pelo operador é de 2 metros e a atividade ocorre uma vez em 8 horas de trabalho.

Na terceira atividade o operador empurra um carrinho com um segmento de aeronave em cima. A altura de suas mãos do chão é de 120 cm aproximadamente, o operador caminha por 30 metros e a atividade ocorre uma vez a cada 8 horas. Na quarta atividade o operador puxa um carrinho por 100 metros, suas mãos ficam a 120 cm do chão e a atividade ocorre a cada duas horas.

Na quinta atividade o operador puxa um carrinho por 15 metros de distância, a altura de suas mãos do chão é 90 cm e a atividade é realizada 1 vez a cada 30 minutos. Na sexta atividade o operador puxa um carrinho por 30 metros, a atividade ocorre uma vez a cada 30 minutos e a suas mãos estão a 100 cm do chão. Na sétima atividade o operador empurra um carrinho em um trilho. Ele caminha por 7 metros com o carrinho, uma vez a cada 30 minutos, suas mãos ficam a 150 cm do chão. Na oitava atividade o operador empurra um carrinho com caixas por cinco metros, uma vez a cada 30 minutos. Suas mãos ficam a 110 cm do chão.

Na nona atividade o operador empurra um carrinho até uma estufa, caminhando por 100 metros, a atividade ocorre uma vez a cada 8 horas e as mãos ficam a 90 cm do chão. Na última atividade o operador empurra um carrinho para o corte, ele caminha por 10 metros, a atividade acontece uma vez a cada 8 horas e suas mãos ficam a 1000 cm do chão.

Apesar de as análises partirem de atividades consideradas críticas, a criticidade das atividades não é o foco da pesquisa, pois a aplicação das ferramentas foi realizada para verificar sua validação e variabilidade, não analisar o risco das atividades.

A Tabela 6 apresenta as pontuações finais para três situações de aplicações (pesquisador e *softwares*) para as porcentagens 90, 75 e 50%.

Tabela 6. Pontuações finais das aplicações do Snook e Ciriello nas três situações estudadas.

90%							
Nº	Tipo	P		D		J	
		FI	FS	FI	FS	FI	FS
1	Puxar	28	17	27,5	17	28	17
2	Empurrar	34	23	32	22	31	22
3	Empurrar	24	16	26	16	24	16
4	Puxar	11	7	17	10	11	7
5	Puxar	23	14	23,5	14	23	14
6	Puxar	21	14	21	14	21	14
7	Empurrar	22	16	24	15	22	16
8	Empurrar	22	16	25,5	17,5	25	15
9	Empurrar	20	11	20	11	20	11
10	Empurrar	28	16	29	17,5	30	18
75%							
Nº	Tipo	P		D		J	
		FI	FS	FI	FS	FI	FS
1	Puxar	33	22	33	22	33	22
2	Empurrar	41	30	42	30	41	30
3	Empurrar	31	21	34	21	31	21
4	Puxar	14	10	20	13	14	10
5	Puxar	28	18	28	18	28	18
6	Puxar	26	18	26	18	26	18
7	Empurrar	28	21	30	20	28	21
8	Empurrar	32	21	32	23	32	21
9	Empurrar	26	15	25,5	15	26	15
10	Empurrar	39	25	37	24	39	25
50%							
Nº	Tipo	P		D		J	
		FI	FS	FI	FS	FI	FS
1	Puxar	40	27	39	27	40	27
2	Empurrar	51	38	52	39	51	38
3	Empurrar	38	28	42,5	27	38	28
4	Puxar	16	12	24	16	16	12
5	Puxar	33	23	33	23	33	23
6	Puxar	31	22	31	22	31	22
7	Empurrar	35	27	38	27	35	27
8	Empurrar	40	27	41	31	40	27
9	Empurrar	32	19	31	19	32	19
10	Empurrar	48	32	46	30,5	48	32

Fonte: elaboração própria.

Foram considerados iguais os resultados em que os valores de FI (de P, D e J) e FS (de P, D e J) são iguais para as três aplicações. A Tabela 7 mostra o número de atividades para as três diferentes situações.

Tabela 7. Resultados das aplicações do Snook e Ciriello.

Situação	Número de atividades
P=D, P=J e D=J	7
P=D, P#J e D#J	0
P#D, P=J e D#J	19
P#D, P#J e D=J	0
P#D, P#J e D#J	4
Total	30

Fonte: elaboração própria.

Foi possível observar que em sete ocasiões, os resultados das três aplicações foram iguais. Em dezenove ocasiões a aplicação do pesquisador foi igual à aplicação no *software* Jack e em quatro ocasiões os resultados não bateram em nenhuma situação. Não houve situações em que a aplicação do pesquisador foi igual à aplicação no *software* Delmia e ambas diferentes do Jack.

As aplicações do Jack, em relação ao Delmia, foram mais próximas às aplicações em ambiente real. Das trinta aplicações, dezenove delas foram iguais no ambiente do Jack e no ambiente real, e diferentes do ambiente Delmia. O que indica que, para a ferramenta Snook e Ciriello, o *software* Jack está mais próximo ao ambiente real do que o *software* Delmia.

4.4 Discussão

Por meio de ferramentas que auxiliam na análise ergonômica, com o intuito de validar estas ferramentas. Neste caso a análise foi feita a partir dos dados das atividades reais. Destoando dos três objetivos propostos por Béguin e Weill-Fassina (2002), o estudo foi inédito e teve o propósito de validar três ferramentas específicas que auxiliam a análise ergonômica.

Das três ferramentas aplicadas neste projeto, pode-se observar que uma delas, a NIOSH, não se aproximou do real. Já para as ferramentas RULA e Snook e

Ciriello, as pontuações dos *softwares* foram próximas às pontuações em ambiente real. Acredita-se que isto pode ocorrer porque há limitações nos *softwares* que fazem com que as simulações se distanciem da realidade, principalmente, em relação à estrutura dos manequins, que apresentam características diferentes do corpo humano, como mostrado no estudo de Tonin (2011) e Braatz (2009). Isto evidencia que quanto mais próxima a simulação estiver da atividade real (a postura do humano digital estiver próxima à postura do ser humano), mais próximas serão as pontuações das ferramentas em ambiente real e digital. Este fato também foi apontado no estudo de Lämkkull, Hanson e Örtengren (2009) que dizem que um melhor resultado da simulação é obtido quando a informação da atividade é passada detalhadamente e corretamente aos responsáveis pela simulação. Os responsáveis devem ser informados sobre qualquer produto e mudanças de processo para dar-lhes a possibilidade de realizar simulações atuais e futuras com base em fatos reais (Lämkkull, Hanson e Örtengren, 2009).

Um fator que pode levar à discrepância dos resultados é o fato de as ferramentas considerarem as posturas dos manequins como base da análise. Em ambiente real, o analista observa a atividade e a pontua de acordo com as exigências de cada ferramenta, levando em consideração as limitações posturais de um ser humano. Em ambiente digital, o analista insere alguns dados nas ferramentas, mas outros dados são considerados por meio da modelagem do manequim, como por exemplo, a altura de seus membros superiores. É sabido que a NIOSH é uma ferramenta muito detalhista, que precisa das medidas exatas do posto de trabalho (Waters, Putz-Anderson e Garg, 1994).

Para posições de trabalho mais complexas, as ferramentas devem ser utilizadas com cuidado para evitar uma postura de trabalho pouco provável seja resultado de uma simulação de ergonomia. Os resultados da simulação podem gerar sugestões de medidas a fim de realizar as tarefas de trabalho com boas condições de ergonomia. (Lämkkull, Hanson e Örtengren, 2009). O responsável pela simulação também deve ter experiência com as ferramentas e com os *softwares* (Lockett et al., 2005).

Além das limitações dos humanos digitais e suas posturas que devem estar o mais próximas do real, também foi possível observar limitações das ferramentas de análise presentes nos *softwares*. Há grandes diferenças nas inserções dos dados das ferramentas dos *softwares* em relação às ferramentas originais.

A simulação humana é ideal para a análise da atividade futura, como foi citado por Daniellou (2007) e Béguin e Weill-Fassin (2002), ela exige que o analista/projetista tenha certa experiência e familiaridade com os *softwares* para que o processo seja rápido, caso contrário, a simulação torna-se algo trabalhoso e demorado.

A simulação de um posto de trabalho permite que uma análise de todo o processo seja feita de forma contínua, segundo Jayaram et al. (2006), esta é uma contribuição essencial de uma simulação. Se associada a esta simulação houver a aplicação de ferramentas que auxiliam na análise de posturas, a contribuição fica ainda maior. E como se pôde observar nos resultados deste estudo, as aplicações em ambiente digital se aproximam das aplicações das mesmas ferramentas em ambiente real. Quanto mais próxima a simulação estiver do real, maior é a proximidade dos resultados.

Além disso, o uso de simulação não só melhora os processos atuais, mas também permite a experimentação de novos processos antes de serem implementados. Usando as ferramentas convencionais incluídas no software, é possível ter uma representação virtual da estação de trabalho futuro. Este é um dos aspectos, que faz com que a simulação se destaque (Santos et al., 2007). Neste caso, o ergonomista pode usar os mesmos métodos da análise do trabalho real para analisar uma atividade futura, as quais podem ser aplicadas em ambiente real de trabalho, como podem ser aplicadas em uma simulação de uma atividade real ou em uma simulação de uma atividade futura.

Um benefício de se usar as ferramentas na análise de uma atividade futura é o de prever o possível risco ergonômico da atividade. Aplicando-se, por exemplo, o Snook e Ciriello em uma simulação, é possível prever se um determinado peso de uma carga irá gerar possíveis riscos de lesões musculoesqueléticas nos trabalhadores que irão realizar àquela atividade que está prevista no projeto. Da mesma maneira de que se o RULA for aplicado em uma atividade que é realizada predominantemente com os MMSS, será possível perceber o risco de lesão daquela atividade.

O analista/projetista precisa ficar atento às limitações dos manequins para que seus movimentos não fujam da realidade, pois os *softwares* não consideram que o movimento articular pode gerar atrito e que movimentos acima de certos limites podem causar prejuízos aos tendões, pois estes são sensíveis, como dito por Másculo (2011) e Kendall et al., (2005). O analista/projetista de uma atividade também deve considerar que os manequins não sentem dores e desconfortos, e por mais que as ferramentas de

análise presente nos *softwares* sejam fidedignas, a simulação precisa estar próxima ao que irá acontecer na realidade.

4.5 Considerações sobre as aplicações

Nas aplicações desenvolvidas utilizou-se as ferramentas originais e as ferramentas presentes nos *softwares*. A seleção das atividades se baseou no foco de cada ferramenta, como a NIOSH é uma ferramenta que tem muitas limitações, foi mais difícil encontrar atividades que se enquadrassem na sua análise.

Com relação às análises das ferramentas nos *softwares* conclui-se que o uso delas deve ocorrer de forma cautelosa e criteriosa, alguns pontos devem ser considerados: 1) o analista deve possuir uma boa compreensão sobre as ferramentas originais e digitais; 2) o analista deve possuir boa compreensão e similaridade com os *softwares*; 3) a análise deve ser acompanhada por uma pessoa que conheça bem o processo produtivo. As análises dos *softwares* apresentam um método diferente das análises das ferramentas originais, há também diferenças de um *software* para outro.

Como mostrado neste capítulo, as ferramentas RULA e Snook e Ciriello ficaram próximas da aplicação em ambiente real. Já os resultados da NIOSH foram destoantes da ferramenta original. Assim, respondendo à questão central desta pesquisa, pode-se observar que ao serem aplicadas em ambiente real e ambiente digital, as ferramentas RULA e Snook e Ciriello obtiveram resultados próximos, contudo a NIOSH apresentou resultados distintos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como o objetivo validar três ferramentas presentes em dois diferentes *softwares* de simulação humana, caracterizar a aplicação destas ferramentas em ambos os *softwares* e analisar o desempenho de cada *software* na aplicação destas ferramentas. Para realizar a caracterização das ferramentas foi preciso estudá-las e realizar seu passo-a-passo nos *softwares*, além disso, testes pilotos foram realizados para auxiliar no entendimento das ferramentas no Delmia e no Jack.

Para responder à questão central da pesquisa, foi preciso realizar as aplicações das ferramentas e analisá-las detalhadamente, a partir disso foi possível observar que, segundo os resultados apresentados neste estudo, as ferramentas RULA e Snook e Ciriello estão mais próximas às aplicações em ambiente real. Portanto estas duas ferramentas podem ser usadas nos *softwares* para auxiliar na análise de riscos de atividades. Já em relação à NIOSH, os resultados foram discrepantes tanto em relação à ferramenta real, quanto em relação aos dois *softwares*, então, a princípio a ferramenta não é válida para auxiliar uma análise ergonômica nestes *softwares*.

5.1 Comparações com outros estudos

Não foram achadas pesquisas que mostrassem a validação e comparação de ferramentas que auxiliam na análise ergonômica e suas aplicações em *softwares*. Contudo há estudos em que atividades reais são simuladas em *softwares* e aplicações de ferramentas são utilizadas também nos *softwares*.

Santos et al., (2007) realizaram simulações de nove atividades reais e utilizaram três ferramentas de análises diferentes nestas atividades, uma delas é a análise de levantamento da NIOSH, que também foi utilizada no presente estudo, contudo o foco de Santos et al., (2007) era o de analisar o potencial das ferramentas em atividades não repetitivas, onde não há um ciclo definido. Os autores chegaram a conclusão que as ferramentas podem ser úteis para auxiliar a simulação, contudo ressaltam que as ferramentas apresentam limitações e precisam ser entendidas e estudadas. Neste estudo, a aplicação da NIOSH é algo que precisa ser mais bem estudado, pois os resultados não se aproximaram das aplicações da ferramenta original.

Lämkkull, Hanson e Örtengren (2009) também realizaram simulações de atividades reais e aplicaram ferramentas de análise ergonômica. O foco do estudo era de

examinar se simulações poderiam estar condizentes com o real e se melhorias ergonômicas podiam ser implementadas em ambiente real, a partir dos resultados das simulações. Os autores concluíram que as ferramentas podem ser utilizadas para realizar análises de posturas, mas para posturas de trabalho mais complexas, as ferramentas devem ser utilizadas com cuidado para evitar uma postura de trabalho pouco provável seja resultado de uma simulação de ergonomia (Lämkkull, Hanson e Örtengren, 2009). Este é um ponto que também pode ser concluído a partir do presente estudo, já que o RULA, a NIOSH e o Snook e Ciriello consideram as posturas dos manequins como dados de suas análises. Então quanto mais perto do real estiver a postura do humano digital, mais próximo será o resultado.

5.2 Contribuições das ferramentas que avaliam cargas físicas presentes em *softwares* de simulação humana

A aplicação das ferramentas de análise de cargas físicas mostra para o analista, ou para o projetista, resultados que auxiliam na análise ergonômica e mostram se as atividades futuras apresentam riscos para quem irá realiza-las. As ferramentas são rápidas de serem aplicadas em ambiente digital, os dados são colocados nos *softwares* que a partir da modelagem realizada já fazem o cálculo e mostram o resultado.

A pesquisa possibilitou o conhecimento, em ambiente digital, do grau de validade e variabilidade nas respostas destas três ferramentas que são utilizadas em pesquisas de em ergonomia, como mostrado no estudo de Souza (2011).

A partir dos resultados, pôde-se concluir que as ferramentas RULA e Snook e Ciriello podem contribuir para a simulação de cenários futuros e projetos de espaços de trabalho. Assim, podem auxiliar indústrias e fábricas na construção de postos de trabalhos com melhorias ergonômicas, evitando prejuízos a saúde dos operadores e afastamentos por doenças relacionados ao trabalho. Reduzindo assim custos para as próprias indústrias e fábricas e para o país.

Outra contribuição da pesquisa é para o setor de montagem de aeronaves, que por usar o *software* Delmia, apresenta a possibilidade de utilizar as ferramentas RULA e Snook e Ciriello na simulação de atividades futuras e de novos setores produtivos.

O estudo também contribuiu para o meio acadêmico, porque apesar de as ferramentas serem utilizadas em diversos estudos, não foi encontrado nenhum estudo que fale sobre sua validade em ambiente digital.

5.3 Limitações e dificuldades encontradas ao longo da pesquisa

Em relação a coleta de dados, é preciso ressaltar o fato de as atividades não apresentarem uma repetitividade cíclica, então, muitas vezes era difícil de elas acontecerem. Houve dificuldades para achar atividades que se enquadrassem nas exigências da NIOSH, pois são levantamentos mais específicos e apresentam restrições para que a ferramenta pudesse ser aplicada.

Além da dificuldade em aprender e interpretar a maneira de análise das ferramentas dos *softwares*, também é preciso destacar as dificuldades presentes na modelagem das posturas dos manequins, é preciso que os responsáveis pela modelagem sejam experientes e estejam familiarizados com os *softwares*, como foi citado por Lämkuull, Hanson e Örtengren (2009).

Uma das limitações observadas na aplicação do RULA é o fato de ele não mostrar as pontuações de musculatura e carga/força para a Parte B da ferramenta no Delmia, assim não há como saber se ele realiza o cálculo levando em consideração estas pontuações. No Jack, alguns itens não são pontuados e sim descritos, mas o *software* considera as pontuações. Já a NIOSH apresenta limitações em relação aos *inputs* inseridos na aplicação da ferramenta.

Em relação a aplicação da ferramenta Snook e Ciriello, levando em consideração apenas o *software* Delmia, as porcentagens de 10% e 25% não são possíveis de serem aplicadas, pois não estão apresentadas na ferramenta. A altura dos braços é calculada a partir da modelagem, não pode ser inserida manualmente, o que faz com que a modelagem precise estar mais próxima ao real para que os resultados fiquem mais próximos também.

Além das limitações específicas de cada ferramenta, é preciso que as limitações dos *softwares* sejam ressaltadas. A grande limitação encontrada em ambos os *softwares* está relacionada a amplitude de movimentos dos manequins, que se distanciam muito do ser humano, principalmente nos movimentos de flexão de coluna (a flexão do manequim não passa de 100°). Os movimentos de ombros, costas, punhos e mãos também são restritos.

5.4 Pesquisas posteriores

Para uma melhor conclusão sobre a NIOSH, mais estudos são necessários para que a validade da ferramenta em ambiente digital seja comprovada. Além disso, as ferramentas não dão resultados precisos, dão resultados aproximados, por isso apenas o uso delas não é suficiente para indicar a criticidade de uma situação. O ergonomista deve usá-las como um método de complementação de sua análise.

6 REFERÊNCIAS

ALEXANDER T.; CONRADI J.; NEUHÖFER J. Applications and Limitations of Today's Digital Human Models. 2012.

BÉGUIN P.; WEILL-FASSINA A. Da simulação das situações de trabalho à situação de simulação. In: DUARTE F. Ergonomia e Projeto na indústria de processo contínuo. Editora Lucerna, 2002.

BENEDETTO R.; FANTI M. An integrated tool to support engineers for WMSDs risk assessment during the assembly line balancing. *Work*, IOS Press, 41, 0460-2329, 2012.

BERTILSSON E.; HÖGBERG D.; HANSON L. Using experimental design to define boundary manikins. *Work*, IOS Press, 41, 4598-4605, 2012.

BONFATTI R. J. Fisiologia do trabalho. In: MÁSCULO F. S.; VIDAL, M. C (org). Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente. Elsevier, 132-165, 2011.

BRAATZ D. Análise da aplicação de ferramenta computacional de modelagem e simulação humana no projeto de situações produtivas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP/DEP Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2009.

BRAATZ D.; MENEGON N. L.; FONTES A. R. M.; TONIN L. A. Simulação humana digital na concepção de postos de trabalho: estudo comparativo de casos. *Gestão da Produção*, 19, 1, 79-92, 2012.

BUCCIARELLI, L. Designing engineers. Massachusetts: MIT press, 1996. 230p.

CASTAÑON J. A. B.; SARAIVA T. S.; ARAUJO T.T. The question of the ergonomic use of virtual models. *Work*, IOS Press, 41, 5434-5435, 2012.

COLOMBINI, D. Il método ocr per l`analisi e la prevenzione del rischio da movimenti ripetuti. Milão: FrancoAngeli, 2005.

DANIELLOU F. A ergonomia na condução de projetos de concepção de sistemas de trabalho. In: FALZON P. *Ergonomia*, 303-316, 2007.

DASSAULT SYSTÈMES. Catia V5R18 fact sheet. Disponível em: <<http://www.3ds.com>>. Acesso em: 26/mar/2014.

FRITZSCHE L. Ergonomics Risk Assessment with Digital Human Models in Car Assembly: Simulation versus Real Life. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 20:4, 287–299, 2010.

FRITZSCHE L.; LEIDHOLDT W.; BAUER S.; JÄCKEL T.; MORENO A. Interactive production planning and ergonomic assessment with Digital Human Models – Introducing the Editor for Manual Work Activities (ema). *Work*, IOS Press, 41, 4428-4432, 2012.

GUÉRIN F.; LAVILLE A.; DANIELLOU F.; DURAFFOURG J.; KERGUELEN A. *Compreender o Trabalho para Transformá-lo – A Prática da Ergonomia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

HANSON L.; HÖGBERG D.; SÖDERHOLM M. Digital test assembly of truck parts with the IMMA-tool - an illustrative case. *Work*, IOS Press, 41, 2248-2252, 2012.

Human Activity Analysis. DELMIA Documentation. Disponível em: <http://www.cadfamily.com/online-help/delmia/online/DELMIAfr_D2/haaugDELMIAfrs.htm>. Acesso em: 8 mai. 2012.

JAYARAM U.; JAYARAM S.; SHAIKH I.; KIM Y.; PALMER C. Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations. *Computers in Industry*, 57, 283–296, 2006.

JUNG K.; KWON O.; YOU H. Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 744–748, 2009.

KARKAMAR S.; PAL M. S.; MAJUMDAR D.; MAJUMDAR D. Application of digital human modeling and simulation for vision analysis of pilots in a jet aircraft: a case study. *Work*, IOS Press, 41, 3412-3418, 2012.

KENDALL F. P.; MCCREARY E. K.; PROVANCE P. G.; RODGERS M. M.; ROMANI W. A. *Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*. Lippincott Williams & Wilkins, 4-12, 2005.

KROEMER K. H. E.; GRANDJEAN E. *Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. Porto Alegre: Bookman, 2005. 327p.

LÄMKULL D.; HANSON L.; ÖRTENGREN R. The influence of virtual human model appearance on visual ergonomics posture evaluation. *Applied Ergonomics*, 38:6, 713–722, 2007.

LEVANGIE P. K.; NORKIN C. C. *Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis*. F. A. Davis Company, 2005.

LOCKETT J.F.; ASSMANN E.; GREEN R.; REED M.P.; RASCHKE U.; VERRIEST J-P. Digital human modelling research and development user needs panel. In: *Proceedings of the Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium*, Iowa City, USA, 14–16, 2005.

MARTINS R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL P. A. C. (org). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Elsevier, 45-61, 2010a.

MARTINS R. A. Princípios da Pesquisa Científica. In: MIGUEL P. A. C. (org). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Elsevier, 5-29, 2010b.

MÁSCULO F S. Biomecânica. In: MÁSCULO F. S.; VIDAL, M. C (org). *Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente*. Elsevier, 167-193, 2011.

MCATAMNEY L.; CORLETT N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2): 91-99, 1993.

MENEGON N. L.; BRAATZ D.; TONIN L. A. Simulação humana aplicada à Ergonomia. In: MÁSCULO F. S.; VIDAL, M. C (org). Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente. Elsevier, 365-393, 2011.

NAKANO D. Métodos de Pesquisa Adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. In: MIGUEL P. A. C. (org). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Elsevier, 63-72, 2010.

NETTER F H. Atlas de Anatomia Humana. Artmed, 2 ed, 2000.

PUTZ R., PABST R. Atlas de Anatomia Humana Sobotta: Volume 2 – Tronco, Vísceras e Extremidade Inferior. Editora Guanabara e Koogan, 2000.

SANTOS J., SARRIEGI J. M., SERRANO N., TORRES J. M. Using ergonomic software in non-repetitive manufacturing processes: A case study. *Internacional Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 267-275, 2007.

SIEMENS PLM SOFTWARE INC. *Jack: Task Analysis Toolkit (TAT) - Training Manual*. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc, p.60, 2010.

SNOOK, S. H.; CIRIELLO, V. M.; The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 34:9, 1197-1213, 1991.

SOUZA, V. C. Uso de instrumentos de avaliação de riscos ergonômicos: teoria e prática. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP/DEP Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2011.

SUNDIN, A.; ÖRTENGREN, R. Digital Human Modeling for CAE Applications. In: SALVENDY G. Handbook of Human Factors and Ergonomics. John e Wiley & Sons, 1053 -1078, 2006.

TONIN, L. A. Ferramentas computacionais de simulação humana e de captura de movimentos aplicadas em projetos de ergonomia, um estudo de caso do uso integrado destes sistemas. 82 p. *Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia de Produção*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

VERRIEST J. Automatic anthropometric personalization of a digital human model from a set of subject's photographs. *Work*, IOS Press, 41, 4061-4068, 2012.

WATERS, T. R.; PUTZ-ANDERSON, V.; GARG A. *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. Cincinnati, Ohio, 1994.

ZÜLCH G. Features and limitations of digital human models - a new German guideline. *Work*, 41, 2253-2259, 2012.

ANEXO I – Protocolo de aplicação do RULA em ambiente real.

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...
 If arm out to side of body: -1

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...
 If wrist is bent from the midline: +1

Step 4: Wrist Twist
 If wrist is twisted mainly in mid-range = 1;
 If wrist at or near end of twisting range = 2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or if action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1
 Muscle Use Score =

Step 7: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (independent): -1;
 If 2 kg to 10 kg (independent): -2;
 If 10 kg to 15 kg (dependent): -3;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
 Force/load Score =

Step 8: Find Row in Table C
 The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C.

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Adjust...
 If neck is twisted: +1; if neck is side-bending: +1
 In extension

Step 10: Locate Trunk Position

Step 10a: Adjust...
 If trunk is twisted: -1; if trunk is side-bending: +1

Step 11: Legs
 If legs & feet supported and balanced: +1;
 If not: -2

Trunk Posture Score

Neck	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	7	8
4	4	5	6	7	8	9
5	5	6	7	8	9	10
6	6	7	8	9	10	11

Table B

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Use values from steps 8, 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B.

Step 13: Add Muscle Use Score
 If posture mainly static or if action 4 times or more: +1
 Muscle Use Score =

Step 14: Add Force/load Score
 If load less than 2 kg (independent): -1;
 If 2 kg to 10 kg (independent): -2;
 If 10 kg to 15 kg (dependent): -3;
 If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
 Force/load Score =

Step 15: Find Column in Table C
 The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C.

SCORES

Table A

Upper Arm	Wrist		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5
4	4	5	6
5	5	6	7
6	6	7	8

Table C

	Final Score						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	2	3	4	5	6	7	8
3	3	4	5	6	7	8	9
4	4	5	6	7	8	9	10
5	5	6	7	8	9	10	11
6	6	7	8	9	10	11	12
7	7	8	9	10	11	12	13
8	8	9	10	11	12	13	14

Final Score =

Subject: _____ Department: _____

Date: / / _____ Scorer: _____

ANEXO II – Tabela carregamento Snook e Ciriello

Distância		menor que 2,1m							4,3m							8,5m						
		carregamento a cada							carregamento a cada							carregamento a cada						
Altura	Percentil	6	12	1	2	5	30	8	6	12	1	2	5	30	8	6	12	1	2	5	30	8
		s	min			hr	s	min			hr	s	min			hr						
Máximo carregamento para homens (Kg)																						
111	90	10	14	17	17	19	21	25	9	11	15	15	17	19	22	10	11	13	13	15	17	20
	75	14	19	23	23	26	29	34	13	16	21	21	23	26	30	13	15	18	18	20	23	27
	50	19	25	30	30	33	38	44	17	20	27	27	30	34	39	17	19	23	24	26	29	35
	25	23	30	37	37	41	46	54	20	25	33	33	37	41	48	21	24	29	29	32	36	43
	10	27	35	43	43	48	54	63	24	29	38	39	43	48	57	24	28	34	34	38	42	50
79	90	13	17	21	21	23	26	31	11	14	18	19	21	23	27	13	15	17	18	20	22	26
	75	18	23	28	29	32	36	42	16	19	25	25	28	32	37	17	20	24	24	27	30	35
	50	23	30	37	37	41	46	54	20	25	32	33	36	41	48	22	26	31	31	35	39	46
	25	28	37	45	46	51	57	67	25	30	40	40	45	50	59	27	32	38	38	42	48	56
	10	33	43	53	53	59	66	78	29	35	47	47	52	59	69	32	38	44	45	50	56	65
Máximo carregamento para mulheres (Kg)																						
105	90	11	12	13	13	13	13	18	9	10	13	13	13	13	18	10	11	12	12	12	12	16
	75	13	14	15	15	16	16	21	11	12	15	15	16	16	21	12	13	14	14	14	14	19
	50	15	16	18	18	18	18	25	12	13	18	18	18	18	24	14	15	16	16	16	16	22
	25	17	18	20	20	21	21	28	14	15	20	20	21	21	28	15	17	18	18	19	19	25
	10	19	20	22	22	23	23	31	16	17	22	22	23	23	31	17	19	20	20	21	21	28
72	90	13	14	16	16	16	16	22	10	11	14	14	14	14	20	12	12	14	14	14	14	19
	75	15	17	18	18	19	19	25	11	13	16	16	17	17	23	14	15	16	16	17	17	23
	50	17	19	21	21	22	22	29	13	15	19	19	20	20	26	16	17	19	19	20	20	26
	25	20	22	24	24	25	25	33	15	17	22	22	22	22	30	18	19	21	22	22	22	30
	10	22	24	27	27	28	28	37	17	19	24	24	25	25	33	20	21	24	24	25	25	33

ANEXO III – Tabela empurrar (homens) Snook e Ciriello

Distância		2,1m							7,6m							15,2m								
Altura	Percentil	Empurrar a cada							Empurrar a cada							Empurrar a cada								
		6	12	1	2	5	30	8	15	22	1	2	5	30	8	25	35	1	2	5	30	8		
		s	min			hr	s	min			hr	s	min			hr								
		Força inicial (kg)																						
144	90	20	22	25	25	26	26	31	14	16	21	21	22	22	26	16	18	19	19	20	21	25		
	75	26	29	32	32	34	34	41	18	20	27	27	28	28	34	21	23	25	25	26	27	32		
	50	32	36	40	40	42	42	51	23	25	33	33	35	35	42	26	29	31	31	33	33	40		
	25	38	43	47	47	50	51	61	27	31	40	40	42	42	51	31	35	37	37	40	40	48		
	10	44	49	55	55	58	58	70	31	35	46	46	48	49	58	36	40	43	43	45	46	55		
95	90	21	24	26	26	28	28	34	16	18	23	23	25	25	30	18	21	22	22	23	24	28		
	75	28	31	34	34	36	36	44	21	23	20	20	32	32	39	24	27	28	28	30	30	36		
	50	34	38	43	43	45	45	54	26	29	38	38	40	40	48	29	33	35	35	37	38	45		
	25	41	46	51	51	54	55	65	31	35	45	45	48	48	58	35	40	42	42	45	45	54		
	10	47	53	59	59	62	63	75	35	40	52	52	55	56	66	40	46	49	49	52	52	62		
64	90	19	22	24	24	25	26	31	13	14	20	20	21	21	26	15	17	19	19	20	20	24		
	75	25	28	31	31	33	33	40	16	19	26	26	27	28	33	19	21	24	24	26	26	31		
	50	31	35	39	39	41	41	50	20	23	32	32	34	35	41	23	27	30	30	32	33	39		
	25	38	42	46	46	49	50	59	25	28	39	39	41	41	50	28	32	36	36	39	39	47		
	10	43	48	53	53	57	57	68	28	32	45	45	47	48	57	32	37	42	42	44	45	54		
		Força sustentável (kg)																						
144	90	10	13	15	16	18	18	22	8	9	13	13	15	16	18	8	9	11	12	13	14	16		
	75	13	17	21	22	24	25	30	10	13	17	18	20	21	25	11	13	15	16	18	18	22		
	50	17	22	27	28	31	32	38	13	16	22	23	26	27	32	14	17	20	20	23	24	28		
	25	21	27	33	34	38	40	47	16	20	28	29	32	33	39	17	20	24	25	28	29	34		
	10	25	31	38	40	45	46	54	19	23	32	33	38	39	46	20	24	28	29	33	34	40		
95	90	10	13	16	17	19	19	23	8	10	13	13	15	15	18	8	10	11	12	13	13	16		
	75	14	18	22	22	25	26	31	11	13	17	18	20	21	25	11	13	15	16	18	18	21		
	50	18	23	28	29	33	34	40	14	17	22	23	26	27	32	14	17	19	20	23	23	28		
	25	22	28	34	35	40	41	49	17	21	27	29	32	33	39	18	21	24	25	28	29	34		
	10	26	33	40	41	46	48	57	20	24	32	33	37	38	45	20	25	28	29	32	33	40		
64	90	10	13	16	16	18	19	23	8	10	12	13	14	15	18	8	10	11	11	12	13	15		
	75	14	18	21	22	25	26	31	11	13	17	17	19	20	24	11	13	14	15	17	17	21		
	50	18	23	28	29	32	33	39	14	17	21	22	25	26	31	14	17	19	19	22	22	27		
	25	22	28	34	35	39	41	48	17	21	26	27	31	32	37	18	21	23	24	27	28	33		
	10	26	32	39	41	46	48	56	20	25	30	32	36	37	44	21	25	27	28	31	32	38		

Distância		30,5m					45,7m					61,0m			
Altura	Percentil	Empurrar a cada					Empurrar a cada					Empurrar a cada			
		1	2	5	30	8	1	2	5	30	8	2	5	30	8
		min			hr	min			hr	min		hr			
		Força inicial													
144	90	15	16	19	19	24	13	14	16	16	20	12	14	14	18
	75	19	21	25	25	31	16	18	21	21	26	16	18	18	23
	50	24	27	31	31	38	20	23	26	26	33	20	22	22	28
	25	28	32	37	37	46	24	27	32	32	39	23	27	27	34
	10	32	37	42	42	53	28	31	36	36	48	27	31	31	39
95	90	17	19	22	22	27	14	16	19	19	23	14	16	16	20
	75	21	24	28	28	35	18	21	24	24	30	18	21	20	26
	50	27	30	35	35	44	23	26	30	30	37	22	26	26	32
	25	32	36	42	42	52	27	31	36	36	45	27	31	31	38
	10	37	41	48	48	60	32	36	41	41	52	31	35	35	44
64	90	14	16	19	19	23	12	14	16	16	20	12	14	14	17
	75	18	21	24	24	30	16	18	21	21	26	15	18	18	22
	50	23	26	30	30	37	20	22	26	26	32	19	22	22	28
	25	28	31	36	36	45	24	27	31	31	39	23	26	26	33
	10	32	36	41	41	52	27	31	36	36	44	26	30	30	38
		Força sustentável													
144	90	8	10	12	13	16	7	8	10	11	13	7	8	9	11
	75	11	13	16	18	21	10	11	13	15	18	9	11	13	15
	50	15	17	20	23	28	12	14	17	19	23	12	14	16	19
	25	18	21	25	29	34	15	18	21	24	28	15	17	20	24
	10	21	25	29	33	39	18	21	24	28	33	17	20	23	28
95	90	8	10	12	13	16	7	8	9	11	13	7	8	9	11
	75	11	13	16	18	21	9	11	13	15	18	9	11	12	15
	50	15	17	20	23	27	12	14	17	19	23	12	14	16	19
	25	18	21	25	28	33	15	18	21	24	28	15	17	20	23
	10	21	25	29	33	39	17	20	24	27	32	17	20	23	27
64	90	8	9	11	13	15	7	8	9	11	13	7	8	9	10
	75	11	13	15	17	20	9	11	12	14	17	9	10	12	14
	50	14	16	19	22	26	12	14	16	18	22	12	14	15	18
	25	17	20	24	27	32	14	17	20	23	27	14	17	19	22
	10	20	24	28	32	37	17	20	23	26	31	16	19	22	11.00

ANEXO IV – Tabela empurrar (mulheres) Snook e Ciriello

Distância		2,1m							7,6m							15,2m						
Altura	Percentil	Empurrar a cada							Empurrar a cada							Empurrar a cada						
		6	12	1	2	5	30	8	15	22	1	2	5	30	8	25	35	1	2	5	30	8
		s	min					hr	s	min					hr	s	min					hr
		Força inicial (Kg)																				
144	90	14	15	17	18	20	21	22	15	16	16	16	18	19	20	12	14	14	14	15	16	17
	75	17	18	21	22	24	25	27	18	19	19	20	22	23	24	15	17	17	17	19	20	21
	50	20	22	25	26	29	30	32	21	23	23	24	26	27	29	18	20	20	20	22	23	25
	25	24	25	29	30	33	35	37	25	26	27	28	31	32	34	20	23	23	24	26	27	29
	10	26	28	33	34	38	39	41	28	30	30	31	34	36	38	23	26	26	26	29	31	32
95	90	14	15	17	18	20	21	22	14	15	16	17	19	19	21	11	13	14	14	16	16	17
	75	17	18	21	22	24	25	27	17	18	20	20	22	23	25	14	16	17	17	19	20	21
	50	20	22	25	26	29	30	32	20	21	23	24	27	28	30	16	19	20	21	23	24	25
	25	24	25	29	30	33	35	37	23	25	27	28	31	33	34	19	22	23	24	27	28	29
	10	26	28	33	34	38	39	41	26	28	31	32	35	37	39	22	24	26	27	30	31	33
64	90	11	12	14	14	16	17	18	11	12	14	14	16	16	17	9	11	12	12	13	14	15
	75	14	15	17	17	19	20	21	14	15	17	17	19	20	21	11	13	14	15	16	17	18
	50	16	17	20	21	23	24	25	16	18	20	21	23	24	25	14	15	17	18	19	20	21
	25	21	23	26	27	30	31	33	22	23	26	27	30	31	33	18	20	22	23	25	26	28
	10	21	23	26	27	30	31	33	22	23	26	27	30	31	33	18	20	22	23	25	26	28
		Força sustentável (Kg)																				
144	90	6	8	10	10	11	12	14	6	7	7	7	8	9	11	5	6	6	6	7	7	9
	75	9	12	14	14	16	17	21	9	10	11	11	12	13	16	7	8	9	9	10	11	13
	50	12	16	19	20	21	23	28	12	14	14	15	16	17	21	10	11	12	12	14	14	18
	25	16	20	24	25	27	29	36	15	17	18	18	20	22	27	12	14	15	16	17	18	22
	10	18	23	28	29	32	34	42	18	20	21	22	24	26	32	14	17	18	18	20	22	27
95	90	6	7	9	9	10	11	13	6	7	8	8	9	9	11	5	6	6	7	7	8	10
	75	8	11	13	13	15	16	19	9	10	11	11	13	13	17	7	8	9	10	11	11	14
	50	11	15	18	18	20	21	26	12	13	15	15	17	18	22	9	11	13	13	14	15	19
	25	14	18	22	23	25	27	33	15	17	19	19	21	23	28	12	14	16	16	18	19	24
	10	17	22	26	27	30	32	39	17	20	22	23	25	27	33	14	17	19	19	21	23	28
64	90	5	6	8	8	9	9	12	6	7	7	7	8	9	11	5	6	6	6	7	7	9
	75	7	9	11	12	13	14	17	8	10	10	11	12	12	15	7	8	9	9	10	10	13
	50	10	13	15	16	17	18	23	11	13	14	14	16	17	21	9	11	12	12	13	14	17
	25	12	16	19	20	22	23	29	14	17	18	18	20	21	26	12	14	15	15	17	18	22
	10	15	19	23	23	26	28	34	17	20	21	21	23	25	31	14	16	17	18	20	21	26

Distância		30,5m					45,7m					61,0m			
Altura	Percentil	Empurrar a cada					Empurrar a cada					Empurrar a cada			
		1	2	5	30	8	1	2	5	30	8	2	5	30	8
		min			hr	min			hr	min		hr			
		Força inicial (Kg)													
144	90	12	13	14	15	17	12	13	14	15	17	12	13	14	15
	75	15	16	17	19	21	15	16	17	19	21	14	15	17	19
	50	18	19	21	22	25	18	19	21	22	25	17	18	20	22
	25	20	22	24	26	29	20	22	24	26	29	20	21	23	26
	10	23	25	27	29	33	23	25	27	29	33	22	24	26	29
95	90	12	14	15	16	18	12	14	15	16	18	12	13	14	16
	75	15	16	18	19	21	15	16	18	19	21	15	16	17	19
	50	18	20	21	23	26	18	20	21	23	26	18	19	20	23
	25	21	23	24	26	30	21	23	24	26	30	20	22	24	27
	10	24	26	28	30	33	24	26	28	30	33	23	25	26	30
64	90	11	12	12	13	15	11	12	12	13	15	10	11	12	13
	75	13	14	15	16	18	13	14	15	16	18	12	13	14	16
	50	15	17	18	19	22	15	17	18	19	22	15	16	17	19
	25	20	22	23	25	28	20	22	23	25	28	19	21	23	25
	10	20	22	23	25	28	20	22	23	25	28	19	21	23	25
		Força sustentável (Kg)													
144	90	5	6	6	6	8	5	5	5	6	8	4	4	4	6
	75	7	8	9	9	12	7	8	8	8	11	6	6	6	9
	50	10	11	12	12	16	9	10	11	11	15	8	8	9	12
	25	13	14	15	15	21	11	13	13	14	19	10	10	11	15
	10	15	17	17	18	25	14	15	16	17	22	12	12	13	17
95	90	5	6	6	7	9	5	6	6	6	8	4	4	5	6
	75	8	9	9	10	13	7	8	8	9	12	6	6	7	9
	50	10	12	12	13	17	10	11	11	12	16	8	9	9	12
	25	13	15	15	16	22	12	14	14	15	20	11	11	12	15
	10	16	18	18	19	26	14	16	17	18	24	13	13	14	18
64	90	5	6	6	6	8	5	5	5	6	7	4	4	4	6
	75	7	8	8	9	12	7	7	8	8	11	6	6	6	8
	50	10	11	11	12	16	9	10	10	11	15	8	8	8	11
	25	12	14	14	15	20	11	13	13	14	19	10	10	11	14
	10	15	16	17	18	24	13	15	16	16	22	12	12	13	17

ANEXO V – Tabela puxar (homens) Snook e Ciriello

Distância		2,1m						7,6m						15,2m									
Altura	Percentil	puxar a cada						puxar a cada						puxar a cada									
		6	12	1	2	5	30	8	15	22	1	2	5	30	8	25	35	1	2	5	30	8	
		s	min			hr	s	min			hr	s	min			hr							
		Força inicial (Kg)																					
144	90	14	16	18	18	19	19	23	11	13	16	16	17	18	21	13	15	15	15	16	17	20	
	75	17	19	22	22	23	24	28	14	15	20	20	21	21	26	16	18	19	19	20	20	24	
	50	20	23	26	26	28	28	33	16	18	24	24	25	26	31	19	21	22	22	24	24	29	
	25	24	27	31	31	32	33	39	19	21	28	28	29	30	36	22	25	26	26	28	28	33	
	10	26	30	34	34	36	37	44	21	24	31	31	33	33	40	24	28	29	29	31	31	38	
95	90	19	22	25	25	27	27	32	15	18	23	23	24	24	29	18	20	21	21	23	23	28	
	75	23	27	31	31	32	33	39	19	21	28	28	29	30	36	22	25	26	26	28	28	33	
	50	28	32	36	36	39	39	47	23	26	33	33	35	35	42	26	29	31	31	33	33	40	
	25	33	37	42	42	45	45	54	26	3	39	39	41	41	49	30	34	36	36	38	39	46	
	10	37	42	48	48	51	51	61	30	33	43	43	46	47	56	33	38	41	41	43	44	52	
64	90	22	25	28	28	30	30	36	18	20	26	26	27	28	33	20	23	24	24	26	26	31	
	75	27	30	34	34	37	37	44	21	24	31	31	33	34	40	24	28	29	29	31	32	38	
	50	32	36	41	41	44	44	53	25	29	37	37	40	40	48	29	33	35	35	37	38	45	
	25	37	42	48	48	51	51	61	30	34	44	44	46	47	56	34	39	41	41	43	44	52	
	10	42	48	54	54	57	58	69	33	38	49	49	52	53	63	38	43	46	46	49	49	59	
		Força de sustentação (Kg)																					
144	90	8	10	12	13	15	15	18	6	8	10	11	12	12	15	7	8	9	9	10	11	13	
	75	10	13	16	17	19	20	23	8	10	13	14	16	16	19	9	10	12	12	14	14	17	
	50	13	16	20	21	23	24	28	10	13	16	17	19	20	23	11	13	14	15	17	17	20	
	25	15	20	24	25	28	29	34	12	15	20	20	23	24	28	13	15	17	18	20	21	24	
	10	17	22	27	28	32	33	39	14	17	22	23	26	27	32	14	17	19	20	23	24	28	
95	90	10	13	16	17	19	20	24	8	10	13	14	16	16	19	9	10	12	12	14	14	17	
	75	13	17	21	22	25	26	30	11	13	17	18	20	21	25	11	14	15	15	18	18	22	
	50	16	21	26	27	31	31	37	13	17	21	22	25	26	31	14	17	19	19	22	23	27	
	25	19	26	31	33	37	38	45	16	20	26	27	30	31	37	17	20	22	23	26	27	32	
	10	22	29	36	37	42	43	51	18	23	29	31	34	36	42	19	23	26	27	30	31	37	
64	90	11	14	17	18	20	21	25	9	11	14	15	17	17	20	9	11	12	13	15	15	18	
	75	14	19	23	23	26	27	32	11	14	19	19	22	22	26	12	14	16	17	19	19	23	
	50	17	23	28	29	32	34	40	14	18	23	24	27	28	33	15	18	20	21	23	24	28	
	25	20	27	33	35	39	40	48	17	21	27	28	32	33	39	18	21	24	25	28	29	34	
	10	23	31	38	40	45	46	54	19	24	31	32	37	38	45	20	24	27	28	32	33	39	

Distância		30,5m					45,7m					61,0m			
Altura	Percentil	puxar a cada					puxar a cada					puxar a cada			
		1	2	5	30	8	1	2	5	30	8	2	5	30	8
		min			hr	min			hr	min		hr			
		Força inicial (Kg)													
144	90	12	13	15	15	19	10	11	13	13	16	10	11	11	14
	75	14	16	19	19	23	12	14	16	16	20	12	14	14	17
	50	17	19	22	22	27	15	16	19	19	24	14	16	16	20
	25	20	22	26	26	32	17	19	22	22	28	16	19	19	24
	10	22	25	29	29	37	20	22	25	25	31	18	21	21	27
95	90	16	18	21	21	26	14	16	18	18	23	13	16	16	19
	75	20	22	26	26	32	17	19	22	22	28	16	19	19	24
	50	24	27	31	31	38	20	23	27	27	33	20	23	23	28
	25	27	31	36	36	45	24	27	31	31	38	23	26	26	33
	10	31	35	40	40	50	27	30	35	35	43	26	30	30	37
64	90	18	21	24	24	30	16	18	21	21	26	15	18	18	22
	75	22	25	29	29	36	19	22	25	25	31	19	21	21	27
	50	27	20	35	35	43	23	26	30	30	37	22	26	26	32
	25	31	35	41	41	50	27	30	35	35	43	26	30	30	37
	10	35	39	46	46	57	30	34	39	39	49	29	34	34	42
		Força de sustentação (Kg)													
144	90	7	8	9	11	13	6	7	8	9	10	6	7	7	9
	75	9	10	12	14	16	7	9	10	11	14	7	8	10	11
	50	11	13	15	17	20	9	11	12	14	17	9	10	12	14
	25	13	15	18	20	24	11	13	15	17	20	11	12	14	17
	10	15	17	20	23	27	12	14	17	19	23	12	14	16	19
95	90	9	10	12	14	17	7	9	10	12	14	7	9	10	12
	75	12	13	16	18	21	10	11	13	15	18	9	11	13	15
	50	14	17	19	22	26	12	14	16	19	22	12	14	16	18
	25	17	20	23	27	32	14	17	19	22	26	14	16	19	22
	10	19	23	27	31	36	16	19	22	25	30	16	19	21	25
64	90	9	11	13	15	18	8	9	11	12	15	8	9	10	12
	75	12	14	17	19	23	10	12	14	16	19	10	12	13	16
	50	15	18	21	24	27	13	15	17	20	23	12	14	16	20
	25	18	21	25	28	33	15	18	21	24	28	15	17	20	25
	10	21	24	28	32	38	17	20	24	27	32	17	20	23	27

ANEXO VI - Tabela puxar (mulheres) Snook e Ciriello

Distância		2,1m						7,6m						15,2m								
Altura	Percentil	puxar a cada						puxar a cada						puxar a cada								
		6	12	1	2	5	30	8	15	22	1	2	5	30	8	25	35	1	2	5	30	8
		s	min			hr	s	min			hr	s	min			hr						
Força inicial (Kg)																						
144	75	16	19	20	21	24	25	26	16	17	19	19	21	22	24	12	14	16	16	18	19	20
	50	19	22	24	25	28	29	31	19	20	22	23	25	26	28	14	16	19	19	21	22	24
	25	21	25	28	29	32	33	35	21	26	25	26	29	30	32	16	19	21	22	25	26	27
	10	24	28	31	32	36	37	39	24	26	28	29	32	34	36	18	21	24	25	27	29	30
95	90	14	16	18	19	21	22	23	14	15	16	17	19	20	21	10	12	14	14	16	17	18
	75	16	19	21	22	25	26	27	17	18	19	20	22	23	25	12	15	17	17	19	20	21
	50	19	23	25	26	29	30	32	19	21	23	24	26	27	29	14	17	19	20	22	23	25
	25	22	26	29	30	33	35	37	22	24	26	27	30	31	33	16	20	22	23	26	27	28
	10	25	29	32	33	37	39	41	25	27	29	30	33	35	37	18	22	25	26	29	30	32
64	90	15	17	19	20	22	23	24	15	16	17	18	20	21	22	11	13	15	15	17	18	19
	75	17	20	22	23	26	27	28	17	19	20	21	23	24	26	13	15	17	18	20	21	22
	50	20	24	26	27	30	32	33	20	22	24	25	28	29	30	15	18	20	21	23	24	26
	25	23	27	30	31	35	36	38	23	25	27	29	32	33	35	17	21	23	24	27	28	30
	10	26	31	34	35	39	40	43	29	28	31	32	35	37	39	19	23	26	27	30	31	33
Força de sustentação (Kg)																						
144	90	6	9	10	10	11	12	15	7	8	9	9	10	11	13	6	7	7	8	8	9	11
	75	8	12	13	14	15	16	20	9	11	12	12	13	14	18	7	9	10	10	11	12	15
	50	10	16	17	18	19	21	25	12	13	15	16	17	18	22	9	11	13	13	14	15	19
	25	13	19	21	21	23	25	31	14	16	18	19	21	22	27	11	14	15	16	17	19	23
	10	15	22	24	25	27	29	36	16	19	21	22	24	26	32	13	16	18	18	20	22	27
95	90	6	9	10	10	11	12	14	7	8	9	9	10	10	13	5	6	7	7	8	9	11
	75	8	12	13	13	15	16	19	9	10	11	12	13	14	17	7	8	10	10	11	12	14
	50	10	15	16	17	19	20	25	11	13	15	15	16	18	22	9	11	12	13	14	15	18
	25	12	18	20	21	23	24	30	14	16	18	18	20	22	27	11	13	15	15	17	18	22
	10	14	21	23	24	26	28	35	16	18	21	21	23	25	31	13	15	17	18	20	21	26
64	90	5	8	9	9	10	11	13	6	7	8	8	9	10	12	5	6	7	7	7	8	10
	75	7	11	12	12	13	14	18	8	9	11	11	12	13	16	7	8	9	9	10	11	13
	50	9	14	15	16	17	18	23	10	12	13	14	15	16	20	8	10	11	12	13	14	17
	25	11	17	18	19	21	22	27	13	15	16	17	19	20	24	10	12	14	14	16	17	21
	10	13	20	21	22	24	26	32	15	17	19	20	22	23	28	12	14	16	16	18	19	24

Distância		30,5m					45,7m					61,0m			
Altura	Percentil	puxar a cada					puxar a cada					puxar a cada			
		1	2	5	30	8	1	2	5	30	8	2	5	30	8
		min			hr	min			hr	min			hr		
		Força inicial (Kg)													
144	75	14	16	17	18	20	14	16	17	18	20	14	15	16	18
	50	17	18	20	21	24	17	18	20	21	24	16	18	19	21
	25	19	21	23	24	27	19	21	23	24	27	19	20	22	25
	10	22	24	25	27	31	22	24	25	27	31	21	23	24	27
95	90	13	14	15	16	18	13	14	15	16	18	12	13	14	16
	75	15	16	18	19	21	15	16	18	19	21	15	16	17	19
	50	18	19	21	22	25	18	19	21	22	25	17	18	20	22
	25	20	22	24	25	29	20	22	24	25	29	20	21	23	26
	10	23	25	26	28	32	23	25	26	28	32	22	24	25	29
64	90	13	14	15	17	19	13	14	15	17	19	13	14	15	17
	75	16	17	18	20	22	16	17	18	20	22	15	16	18	20
	50	18	20	22	23	26	18	20	22	23	26	18	19	21	23
	25	21	23	25	27	30	21	23	25	27	30	21	22	24	27
	10	24	26	28	30	34	24	26	28	30	34	23	25	27	30
		Força de sustentação (Kg)													
144	90	6	7	7	8	10	6	6	7	7	9	5	5	5	7
	75	8	9	10	10	14	8	9	9	9	12	7	7	7	10
	50	11	12	12	13	17	10	11	11	12	16	8	9	9	12
	25	13	15	15	16	21	12	12	14	14	19	10	11	11	15
	10	15	17	17	18	25	14	15	16	17	23	12	12	13	17
95	90	6	7	7	7	10	5	6	6	7	9	5	5	5	7
	75	8	9	9	10	13	7	8	9	9	12	6	7	7	9
	50	10	12	12	13	17	9	11	11	12	15	8	8	9	12
	25	12	14	15	15	21	11	13	13	14	19	10	10	11	15
	10	15	16	17	18	24	13	15	16	16	22	12	12	13	17
64	90	6	6	6	7	9	5	6	6	6	8	4	5	5	6
	75	7	8	9	9	12	7	8	8	8	11	6	6	6	9
	50	9	11	11	12	16	9	10	10	11	14	8	8	8	11
	25	11	13	13	14	19	11	12	12	13	17	9	10	10	13
	10	13	15	16	16	22	12	14	14	15	20	11	11	12	16

