

O USO DE SENSORES INERCIAIS (Xsens) NO PROJETO DE PRODUTO APLICADO A FERRAMENTA AGRICOLA

Julia Marina Cunha UFSC Florianópolis, SC, Brasil juliamarinac@gmail.com	Giselle S. A. D. Merino, Dra. UDESC UFSC Florianópolis, SC, Brasil gisellemerino@gmail.com	Eugenio A. D. Merino, Dr. UFSC Florianópolis, SC, Brasil eugenio.merino@ufsc.br	Lucas José Garcia UFSC Florianópolis, SC, Brasil lucasjose@gmail.com	Letícia Takayama UFSC Florianópolis, SC, Brasil takayamaleticia@gmail.com
---	--	--	---	--

RESUMO

O trabalho agrícola de pequenas propriedades, em especial da agricultura familiar se caracteriza com um elevado esforço físico, mecanização das tarefas mínima ou inexistente devido aos elevados custos, limitando-se à poucos trabalhadores que exercem funções pesadas e repetitivas manualmente, podendo gerar problemas de saúde e consequentemente de produtividade, que ocorrem pela limitada oferta de ferramentas de auxílio ao trabalho. Desta forma, esta pesquisa visa identificar os fatores de risco nas atividades de cultivo da mandioca e embasar o desenvolvimento de ferramenta manual para extração de raízes de mandioca por meio de análises ergonômicas da tarefa. A pesquisa se desenvolve a partir de levantamento bibliográfico e avaliação da situação real, associada ao rastreamento de movimentos em 3D baseados na tecnologia MEMS de sensores inerciais em miniatura (Xsens), permitindo identificar os pontos críticos, do ponto de vista biomecânico, e consequentemente definir as diretrizes para a ferramenta. O projeto do extrator manual de raízes de mandioca foi desenvolvido a partir das diretrizes resultantes da análise ergonômica e considerando os princípios do design universal adequados à ferramenta, gerando um produto passível de utilização por diferentes usuários, independente de suas habilidades ou

capacidades. A ferramenta visa otimizar o trabalho do agricultor durante a colheita da mandioca, evitando ou reduzindo danos à saúde. Os resultados desta pesquisa validam o potencial de aplicação da ergonomia e do design na agricultura, especialmente melhorando a qualidade de vida e rendimento dos agricultores familiares.

Palavras-chave: Design, ergonomia, agricultura familiar, Xsens.

ABSTRACT

The agricultural work of small farms, especially family farming is characterized by extreme physical effort, minimal or nonexistent mechanization of tasks due to high costs, limited to a few workers performing heavy and repetitive functions manually, that may cause health problems and consequently productivity lost, which occur by the limited supply of aid tools. Thus, this research aims to identify risk factors in cassava farming activities, and to support the development of a hand tool for the extraction of cassava through the application of universal design. The research develops from a literature review and assessment of the real situation, associated with tracking movements in 3D, based on MEMS miniature inertial sensor technology (Xsens), allowing to identify the critical points, from a biomechanics point of view, and consequently set guidelines for the tool. The design of the cassava manual extractor tool was

developed from the resulting guidelines of the ergonomic analysis and guided by the principles of universal design, creating a product to be likely used by different users, regardless of their abilities or capabilities. The tool aims to optimize the farmer's work during the harvest of cassava, preventing or reducing damage to their health. These results validate the potential application of ergonomics and design in agriculture, particularly improving the quality of life and income of farmers.

Keywords: Design, ergonomics, family farming, Xsens.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos principais setores da economia brasileira, o Brasil se destaca no cenário mundial de produção agrícola. Define-se por agricultura, a lavoura ou o cultivo da terra e inclui todos os trabalhos relacionados com o tratamento do solo e a plantação de vegetais. O agronegócio vem sendo valorizado como método de combate à fome, destacando-se neste aspecto a agricultura familiar. Sendo agricultura familiar, uma forma de produção onde predomina a interação entre gestão e trabalho; são os agricultores familiares que dirigem o processo produtivo, dando ênfase na diversificação e utilizando o trabalho familiar, eventualmente complementado pelo trabalho assalariado [1].

A nível mundial, 70% dos alimentos são produzidos por agricultores familiares, e 40% das famílias do mundo dependem da agricultura familiar como forma de vida [2]. A agricultura familiar detém cerca de 30% da produção agrária no mundo, no Brasil responde por 10% do PIB e em Santa Catarina é responsável por mais de 50% dos produtos da cesta básica [3]. Dois terços dos postos de trabalho estão no campo e Santa Catarina ganha destaque no cenário nacional com 90% da produção rural, correspondendo a 180 mil famílias, que são responsáveis por 4 alimentos de cada 10 que chegam à mesa. Entre os cultivos que se destacam, a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) constitui um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento [4]. O cultivo da mandioca por agricultores familiares envolve diversas tarefas

desde o plantio até a colheita da raiz, em sua maioria as tarefas são executadas manualmente devido à inexistência de ferramentas auxiliares e a impossibilidade econômica de mecanização. A mandioca tem considerável importância econômica e social para Santa Catarina, uma vez que são 27.605 estabelecimentos familiares envolvidos com a prática [5].

A agricultura familiar e a ergonomia - disciplina científica que trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema [6] - relacionam-se de modo a melhorar as condições de trabalho do agricultor, sendo a ergonomia responsável pela identificação dos fatores de riscos e oportunidades de melhoria de todos os elementos envolvidos na tarefa.

Destaca-se o limitado acesso da agricultura familiar à pesquisas e projetos que venham auxiliar na saúde e produtividade do setor como principal motivação para a pesquisa. Em estudos no setor agrícola na Califórnia, revela-se que quase 43% dos agravos à saúde referidos pelos trabalhadores são distensões e entorses, localizadas, geralmente, na coluna lombar e ocasionadas em 25% dos casos, por sobrecarga física no trabalho [7]. Estes dados sugerem uma alta incidência de problemas musculoesqueléticos, mas especificamente os Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados ao Trabalho (DORT), nos quais é evidente o estresse biomecânico de repetição causado pelos fatores de risco ergonômicos, uma vez que o trabalho na agricultura envolve todos os fatores associados a esses distúrbios.

A principal contribuição desta pesquisa está na aplicação prática do conhecimento científico junto ao setor da agricultura familiar, especificamente o cultivo de mandioca, tendo verificado como problema central o reflexo negativo na saúde e produtividade dos agricultores familiares que não dispõem de ferramentas adequadas à realização das suas atividades.

Segundo levantamento realizado, outras pesquisas vem diagnosticando os problemas de saúde e identificando oportunidades de melhoria, com o desenvolvimento de ferramentas: Egli et al [8], já haviam realizado estudos ergonômicos quando ao gasto de energia no trabalho com a

enxada comparando os tipos de solo e o tipo de enxada. O serrote foi objeto de estudos para diversos autores, Lehmann [8] observou o despendimento de energia ao serrar a madeira e as variáveis da tarefa.

Entretanto, para os casos propostos nesta pesquisa, os exemplos são limitados. Esta possui como objetivos, identificação dos fatores de risco nas atividades de cultivo da mandioca e o desenvolvimento de ferramenta auxiliar para a colheita de mandioca com base no design universal. A solução proposta, dentro do conceito de design universal, tenta acomodar as variações de habilidades e condições dos usuários, considerando aspectos ergonômicos, podendo reduzir significativamente os problemas de saúde e consequentemente impactar positivamente a produtividade, trazendo ganhos às famílias.

2. METODOLOGIA

Dividem-se os procedimentos em duas fases principais:

Revisão da literatura: subdividida em tópicos, onde são abordados aspectos da relação ergonomia e agricultura, e introduzidas informações quanto ao cultivo da mandioca.

Ergonomia aplicada: que divide-se em colheita da mandioca, análise da extração manual e desenvolvimento da ferramenta.

Quando da revisão da literatura, classifica-se a pesquisa aplicada, sendo esta um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, com o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática [9].

De acordo com os objetivos a pesquisa pode ser caracterizada como exploratória, envolvendo levantamento bibliográfico quanto ao problema em questão. Com base nos procedimentos técnicos, caracteriza-se como pesquisa bibliográfica, desenvolvida quase que exclusivamente com base em fontes bibliográficas, grande parte dos estudos exploratórios podem ser classificados como tal [10]

Foram realizadas pesquisas nas bases de dados Science Direct, PubMed, LILACS, Google Acadêmico e Biblioteca Digital de Teses e Dissertações utilizando as seguintes palavras chave e as correspondentes em inglês: agricultura familiar, lesões ocupacionais, lesões

musculoesqueléticas, cultivo de mandioca, ergonomia no trabalho, ergonomia na agricultura.

Quanto aos métodos, para obtenção das informações específicas com relação à extração manual de mandioca, utilizaram-se as técnicas de observação sistemática - quando há planejamento ou preparação [11] - que neste caso dispõe de instrumentos de coleta. Para possibilitar a avaliação dos riscos musculoesqueléticos, utiliza-se o equipamento de captura de movimentos X-Sens MVN Biomech. Este, possui sensores que são colocados no usuário, a partir de algoritmos de fusão dos sensores gera-se um modelo biomecânico que concentra os dados coletados e permite posterior análise dos movimentos.

Esses procedimentos foram conjugados com análise de fotos e vídeos que auxiliaram no desenvolvimento da ferramenta manual proposta, onde aplicaram-se as informações coletadas durante a fase de pesquisa.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Ergonomia e Agricultura

Guérin et al. [12], atribuem diretamente a atividade profissional ao estado de saúde de um trabalhador, as relações da saúde com o trabalho não são necessariamente acidentes ou doenças originárias das atividades trabalhistas, podendo também influenciar positivamente à saúde do trabalhador.

O trabalho agrícola, juntamente com a mineração e construção civil, classificam-se como trabalhos árduos, devido a pouca mecanização das tarefas e os equipamentos e ferramentas rudimentares ainda utilizados. A aplicação de conhecimentos ergonômicos poderia aperfeiçoar os métodos destes setores [13].

Ainda, segundo Kroemer e Grandjean [8], pode-se caracterizar como trabalho pesado qualquer atividade que exige grande esforço físico, este evidencia-se pela exigência extrema de coração e pulmões. O trabalho pesado é comum na agricultura, entre outras áreas, e sua severidade pode ser avaliada utilizando o consumo de energia e esforço cardíaco impostos pela tarefa.

Segundo estudos da AgSafe [7] no setor agrícola da Califórnia, todos os anos mais de 20.000 trabalhadores agrícolas sofrem lesões

incapacitantes, essas lesões resultam em diminuição da produtividade, custos com despesas médicas além do sofrimento dos trabalhadores. A ergonomia aplicada neste setor, possui potencial para reduzir os agravos à saúde dos trabalhadores rurais, resultando em mudanças significativas na qualidade de vida destes trabalhadores e como consequência, aumentando a produtividade [14]. Os riscos musculoesqueléticos aos que são expostos os trabalhadores agrícolas estão extremos se comparados aos demais setores, são estas as lesões não fatais mais comuns entre aqueles envolvidos em práticas de trabalho intensivo [15]. Segundo o United States Department of Labor [16], destacam-se entre os problemas de saúde dos trabalhadores agrícolas, dores na região escapular, ombros, braços e mãos.

Ressaltando a importância dessa análise para a saúde do trabalhador agrícola, uma vez que o dado mais recente do Ministério da Previdência Social [17], indica que houveram 705,2 mil acidentes de trabalho no Brasil em 2012, destes, 4% ocorreram no setor agropecuário. Dados relacionados diretamente a não aplicação ou má aplicação da ergonomia nas ferramentas manuais e condição de trabalho do agricultor.

A mecanização na agricultura vem se estabelecendo em países em desenvolvimento e apesar dos avanços da tecnologia, na agricultura familiar ainda predominam as atividades realizadas manualmente principalmente devido à questões econômicas. Constantemente o trabalhador adota posturas inadequadas prejudiciais à saúde ao realizar tarefas na lavoura. A dor nas costas é a queixa mais comum da população no Brasil [18].

Com base nos critérios de classificação do Programa Nacional da Agricultura Familiar (Pronaf), estima-se que a agricultura familiar em Santa Catarina represente um universo de 180 mil famílias, ou seja, mais de 90% da população rural [19]. Estas famílias de agricultores, apesar de ocuparem apenas 41% da área dos estabelecimentos agrícolas, são responsáveis por mais de 70% do valor da produção agrícola e pesqueira do estado [20]. Quanto a participação da agricultura familiar em algumas culturas selecionadas, destaca-se a produção de mandioca, que representa 87% do total nacional.

3.2 Cultivo da Mandioca

A mandioca, também conhecida como macaxeira ou aipim, é originária do Brasil, possivelmente do sudoeste da Amazônia [21]. É um dos alimentos de maior consumo no Brasil, considerando o período de 1993 à 2013, o Brasil é o segundo maior produtor de mandioca do mundo, produzindo em média 23 milhões de toneladas por ano [22]. A raiz tem importância mundial, desempenha um papel vital para a segurança alimentar na economia rural dos países da África subsaariana [23].

A mandioca divide-se em maniva e raiz, sendo maniva o caule que fica exposto e raiz a parte comestível que se encontra sob o solo [24].

O cultivo da mandioca se dá em etapas definidas, podendo variar de acordo com a região. Estas são:

Preparação do solo: Por meio de aração e gradagem, manual ou mecanizada. Em pequenas propriedades é geralmente manual.

Semeadura: As manivas (parte do caule da mandioca) são cortadas com facão para obtenção dos toletes que devem ter de 15 a 25 cm.

Colheita: É uma das tarefas mais difíceis de mecanizar, em propriedades familiares é feita, na maioria dos casos, manualmente.

Entre as etapas principais de semeadura e colheita, pode ocorrer ainda fertilização e controle de pragas [25, 26]

4. ERGONOMIA APLICADA

4.1 Colheita da Mandioca

A colheita da mandioca varia em método e tempo de acordo com a técnica de plantação, esta por sua vez depende do tipo de solo; Em solos argilosos, a plantação das estacas é feita em posição horizontal a 10 cm de profundidade, em sulcos, facilitando a colheita comercial. Em solos mais pesados/compactados, a plantação das estacas deve ser feita em sulcos, diminuindo assim o esforço físico na colheita. Já em solos de textura arenosa, é recomendado que se coloquem as estacas em posição vertical enterrando-as 5 cm no solo [25].

A colheita da mandioca é realizada em etapas, a primeira é o corte e seleção de folhagens e o corte da rama deixando apenas 20 a 40 cm junto as raízes para possibilitar a extração. A segunda

etapa compreende a extração (arranque) das raízes, seguida do recolhimento.

O arranque pode ser manual, quando o agricultor segura a rama com as mãos, puxando para retirar a raiz de mandioca do solo, como observado nos três momentos da Figura 1; no Brasil os solos nos quais são cultivados as raízes dificultam a extração, sendo necessária aplicação de força excessiva e posturas extremas, como pode ser observado na Figura 1.

Em alguns países da América Latina é utilizada a seguinte técnica: amarra-se a rama, com cordas ou correntes, a um cabo que funciona como alavanca para extrair a raiz. Com arrancador, geralmente tem-se uma ferramenta com um cabo, onde próxima de uma das extremidades possui um sistema de engate da rama, funcionando como uma alavanca para retirar a raiz do solo [26].



Figura 1: Extração manual de mandioca

4.2 Extração manual de Mandioca

Os trabalhadores agrícolas são expostos à atividades com risco musculoesquelético em grande parte de suas atividades, no entanto algumas tarefas se destacam por requerer

repetitividade, a colheita evidencia-se por ser necessária em variados cultivos [15].

Quando da extração manual (Figura 1), prática mais comum nas propriedades agrícolas familiares, o agricultor executa a tarefa apoiando ambos os pés no chão segurando a rama (maniva) com as mãos (A) e a puxando para cima (B), num movimento que concentra a força nos membros superiores e requer a inclinação do tronco (Figura 1).

Para análise dos riscos musculoesqueléticos, aos quais os trabalhadores são expostos durante a colheita da mandioca, realizou-se uma simulação com o equipamento de captura de movimento *X-sens MVN Biomech*, para possibilitar a visualização dos pontos extremos da postura. A simulação foi realizada considerando os percentis 5, 50 e 95 e os tipos de terreno, plano ou inclinado.

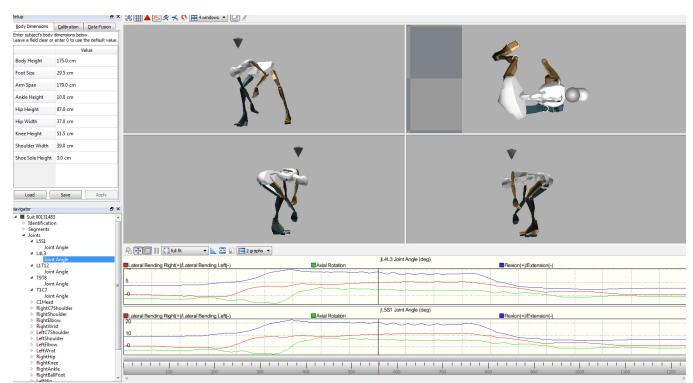


Figura 2: Tela principal do software X-Sens

Durante a realização da tarefa, o agricultor adota posturas extremas em diversos pontos, ocorre a flexão e rotação da coluna lombar, que podem causar fraturas e rompimento das fibras anulares. Identifica-se a flexão e a rotação do tronco em ângulos inadequados, segundo Iida [13], a flexão do tronco permite um ângulo de inclinação de 70°, com rotação do tronco de 35°. Durante a extração das raízes o agricultor permanece na postura em pé que, segundo Grandjean e Kroemer [8] e Iida [13], é altamente fatigante. Além disso, a repetitividade nas ações pode associar-se ao desenvolvimento de tendinites e a síndrome do túnel do carpo na região do punho [27].

Percebe-se que apesar das variações nas angulações posturais dos diversos percentis, os pontos com potencial risco musculoesquelético coincidem.

Observa-se no gráfico gerado pelo software *X-sens MVN Studio*, os movimentos realizados pelo punho (Figura 3), onde pode-se destacar o maior desvio radial do punho direito em "A", e os movimentos irregulares devido a grande força aplicada para retirar a raiz do solo. Segundo Kapandji [28], os movimentos do punho se realizam em torno de dois eixos; sendo flexão o movimento de aproximação da superfície palmar da mão, em direção a parte anterior do braço; abdução define-se como o afastamento da mão do eixo do corpo em direção ao polegar [28].

Estes movimentos podem ser observados na Figura 3, onde para segurar a rama o punho é flexionado, verifica-se em "B" (Figura 3), e sofre abdução (desvio radial) máxima de 15°.

Os ombros também sofrem grandes variações de movimentos, abdução, rotação e flexão (Figura 4). Percebem-se diferentes deslocamentos entre os ombros, assim como a força aplicada é assimétrica em razão da configuração da rama da mandioca. Os movimentos e angulações representados graficamente na Figura 4, podem ser validados observando as imagens em situação real e o modelo biomecânico (Figura 5).

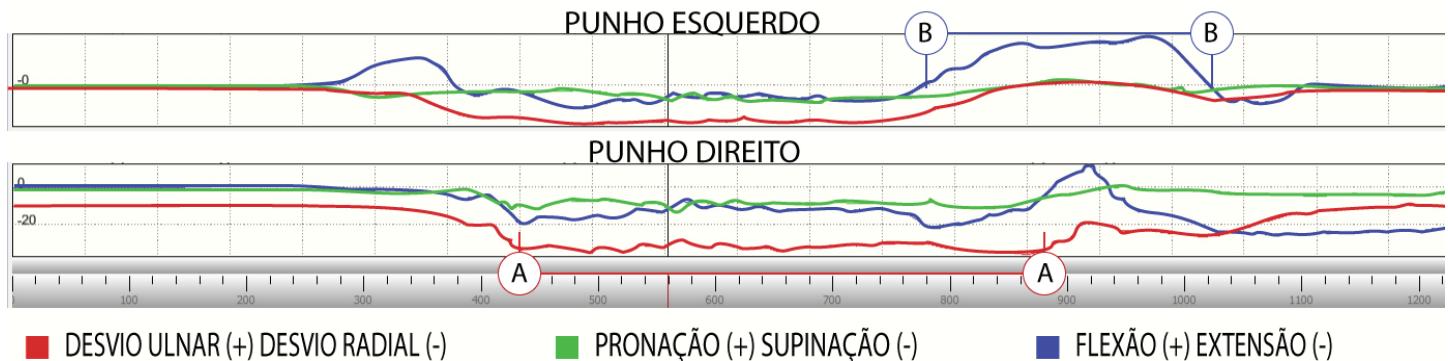


Figura 3: Gráfico dos movimentos dos punhos (gerado pelo software X-sens MVN Studio)

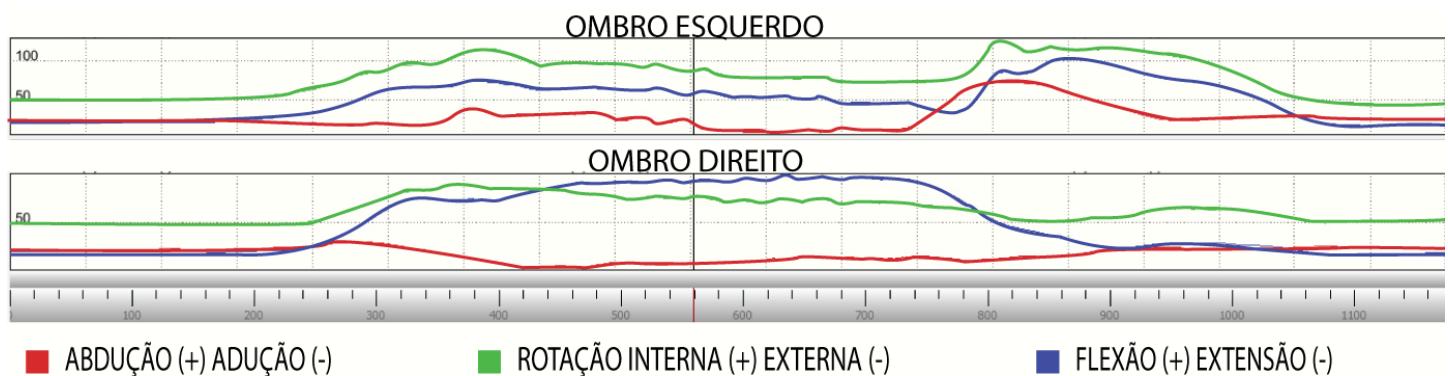


Figura 4: Gráfico dos movimentos dos ombros (gerado pelo software X-sens MVN Studio)

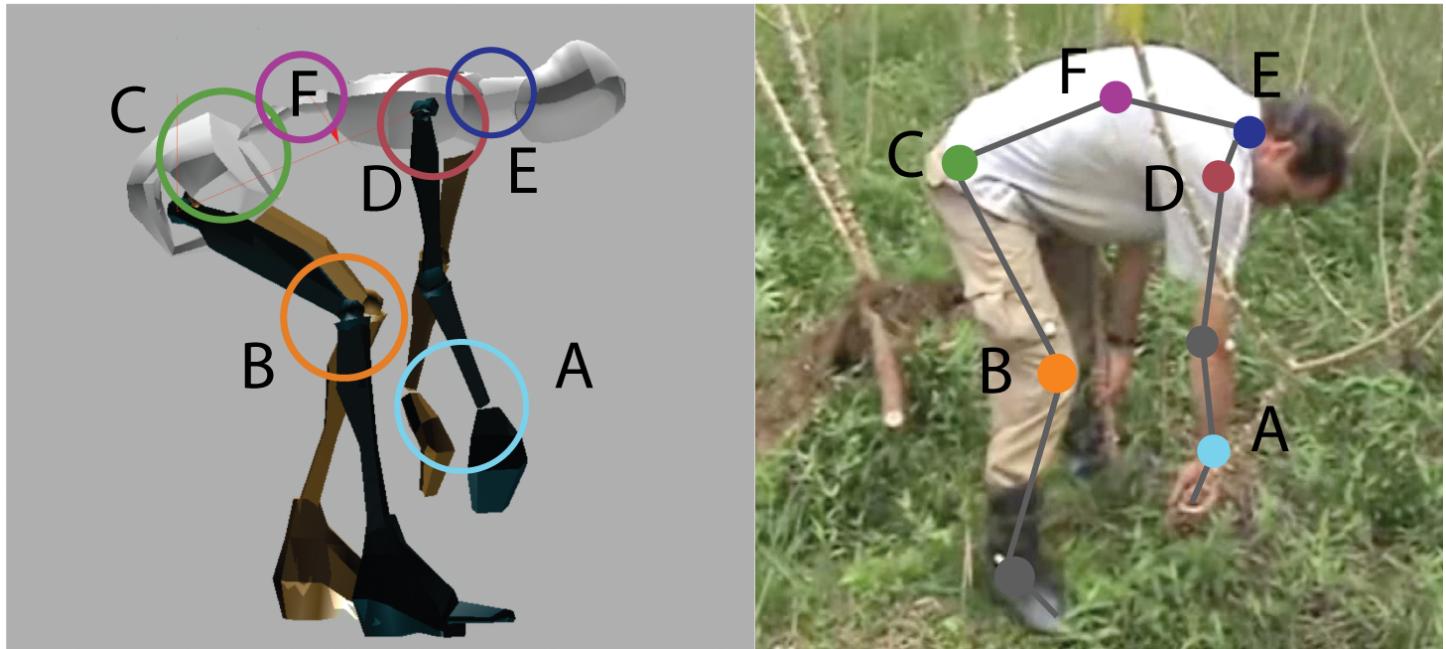


Figura 5- Detalhamento dos pontos posturais da extração manual de mandioca

Observa-se que a posição do punho ilustrada em "A" (Figura 5) é claramente inadequada, o risco é acentuado pela repetitividade da tarefa e a força aplicada. Kapandji [28], elucida que o complexo articular do punho possui dois graus de liberdade, a rotação simultânea em torno dos dois eixos resulta na circundução, a rotação do punho observada em "A" (Figura 5). Movimentos intensos do punho repetitivos, combinados ou não com outros fatores de risco, contribuem para o desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho [29].

Ainda que a postura em pé seja altamente fatigante, a leve flexão dos joelhos observada em "B" (Figura 5) diminui a carga sobre os discos da região lombar devido à curvatura da coluna [8]. No entanto, quando a flexão atinge angulação menor que 90º a força concentrada sobre o joelho pode causar distúrbios na região [13].

A flexão do tronco observada em "C" (Figura 5) é considerada inadequada por diversos autores [30-8-13], quando combinada com o manuseio de cargas o risco de lesão é ainda maior. Ainda segundo Kroemer e Grandjean [8], a lesão da coluna é cumulativa, a dor não é sentida subitamente, torna-se intensa com lesões

constantes, como é o caso dos danos ocupacionais.

A dor nos ombros está entre as queixas mais frequentes entre trabalhadores, sendo que grande parte das atividades envolve o esforço dos músculos da região, observada em "D" (Figura 5) [31]. A força aplicada nos membros superiores durante a extração da mandioca, agrava os fatores de risco expostos. Segundo Kapandji [28], o ombro é a articulação com maior mobilidade do corpo humano. Durante a tarefa o ombro realiza o movimento de flexão com leve adução para alcançar a rama da mandioca. Inevitavelmente, combinado com os outros fatores citados o pescoço também sofre posturas inadequadas, conforme ilustrado em "E" (Figura 5). Segundo Westgaard e Winkel [31], as queixas de dores nos ombros e pescoço estão geralmente associadas. Com a inclinação do tronco, a cabeça fica sem apoio, o que gera uma postura altamente fatigante para os músculos da região do pescoço que têm de suportar a carga [13]. A carga aplicada sobre a coluna lombar é a principal causa de lesões ocupacionais, influencia a qualidade de vida dos trabalhadores, além de envolver questões econômicas e sociais [32].

Durante a extração manual da mandioca a postura adotada afeta extremamente a região lombar, sendo a principal queixa dos trabalhadores e motivo para afastamento temporário da atividade. Segundo Kroemer e Grandjean [8], a carga na coluna vertebral é naturalmente maior nas cinco vértebras lombares. Com a postura adotada, observada em "F" (Figura 5), a pressão nos discos da coluna lombar é ainda mais acentuada devido ao efeito alavanca. Em virtude da força aplicada para retirar a rama do solo, há um considerável aumento da pressão nas cavidades abdominais, devido à contração dos músculos. A pressão intra-abdominal é proporcional à carga aplicada na coluna lombar [8].

O trabalho pode causar distúrbios musculoesqueléticos, agravá-los e até mesmo impedir a reabilitação. Por outro lado, intervenções ergonômicas podem evitar os distúrbios e auxiliar na recuperação dos trabalhadores [33]. Experiências bem sucedidas, comprovam que a ergonomia aplicada à postos de trabalho de diversos setores obtiveram resultados satisfatórios quanto à prevenção de lesões na coluna [34-35-36].

Tratando-se da extração de raiz de mandioca, destaca-se o potencial de aplicação da ergonomia para beneficiar os trabalhadores, prevenindo danos à saúde e aumentando a produtividade do setor. Uma ferramenta ergonômica que auxiliasse na extração da rama, poderia reduzir os riscos musculoesqueléticos da tarefa. Salientando que a ferramenta manual citada refere-se a instrumento que não necessita de instalação, mecanização ou fonte de energia, justificada pela obrigatoriedade de que a ferramenta possua baixo custo, devido as limitações dos agricultores familiares. Assim, a partir dos pontos observados, pontuam-se as diretrizes para uma ferramenta manual que poderia reduzir os impactos da atividade à saúde do usuário.

- Evitar a torção do punho com pega adequada que o mantenha em posição mais próxima da natural;

- Impedir ou diminuir a flexão do tronco, consequentemente evitando carga extrema sobre a coluna lombar;
- Diminuir a flexão do ombro e evitar a adução, mantendo o pescoço em angulação máxima de 15°;
- Reduzir a força necessária para extrair a raiz do solo.

4.3 Desenvolvimento da ferramenta

Após a definição de diretrizes, partiu-se de uma ferramenta existente utilizada pelos agricultores para auxiliar no arranque da raiz (Figura 6).

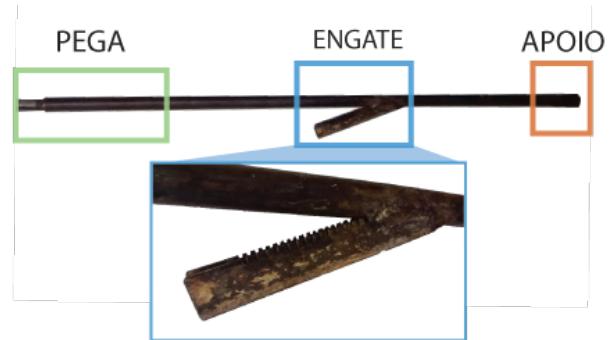


Figura 6- Ferramenta existente utilizada para arranque da mandioca

A ferramenta possui uma peça em forma de "V" serrilhada que segura a rama, funcionando como uma alavanca para retirar a raiz do solo, a força necessária para a extração é reduzida.

Mesmo com a utilização do instrumento, observa-se que postura adotada é inadequada, uma vez que ainda ocorre a flexão extrema da coluna e os movimentos realizados pelos membros superiores podem gerar danos à saúde do usuário (Figura 7). Além disso, a ferramenta possui alguns aspectos que poderiam ser repensados, como o peso, o engate do sistema na rama e a ponta de apoio no solo.



Figura 7- Extração da mandioca com ferramenta manual

Com base na análise ergonômica da tarefa e nos aspectos pontuados, geraram-se requisitos de projeto à serem contemplados no projeto da ferramenta. Os requisitos foram determinados de acordo com os blocos de informação, produto, usuário e contexto.

Produto	Usuário	Contexto
Material da pega embrorrachado	Diminuir o ângulo de inclinação tronco e pescoço	Adaptável aos diferentes terrenos
Estrutura leve	Manter o modo de arranque	Eficaz em diversos tipos de solo.
Portátil/compacto	Diminuir a carga sobre os membros superiores	
Pega geométrica		
Ponta de contato com o solo achatada		
Mecanismo de engate serrilhado		

Tabela 1- Requisitos de projeto

Ao desenvolver a ferramenta levou-se em consideração os princípios do design universal. O design universal é o projeto de produtos, ambientes e serviços que possam ser utilizados por tantas pessoas quanto possível, sem a necessidade de adaptação ou design especializado [37].

Os 7 princípios do design universal foram estabelecidos na década de 90 e guiam o projeto de novos produtos para que os resultados sejam acessíveis aos usuários, independente de suas habilidades e capacidades, são eles: Uso equiparável, uso flexível, uso simples e intuitivo, informação de fácil percepção, tolerante ao erro, baixo esforço físico e dimensão e espaço para aproximação e uso [38]. A ferramenta foi desenvolvida de acordo com alguns dos princípios do design universal; uso equiparável, uso flexível, uso simples e intuitivo, e baixo esforço físico, buscando um produto centrado no ser humano.

Os estudos da ferramenta foram contemplados segmentando a mesma em partes; pega, engate e apoio ou ponto de aterrramento.

Ao projetar a pega devem ser considerados pontos importantes, como a antropometria e as variáveis da tarefa. Atenta-se à aspectos como comprimento e diâmetro da pega [39], que neste caso deve ser correspondente ao manejo grosseiro, com aplicação de força [13]. Além disso, o punho deve manter-se em posição mais próxima possível da natural e a empunhadura deve possuir toque confortável [40].

O engate deve sustentar a rama para possibilitar o arranque, além disso, prioriza-se a facilidade de uso, portanto o engate deve ter a forma simplificada, direcionando e prendendo a rama. Mantém-se o princípio de funcionamento da ferramenta de alavancas, sendo que a força necessária para o arranque é reduzida.

As alavancas são compostas por 3 elementos principais, ponto fixo, força resistente e força potente [41]; que na ferramenta correspondem respectivamente a: apoio, engate e força aplicada pelo usuário.

Sendo assim, o arrancador de mandioca classifica-se como uma alavanca inter-resistente, quando o ponto fixo é o apoio (ponta de

aterramento) e o engate preso à rama atua como força resistente [41].

A partir da análise do arranque da raiz de mandioca com a ferramenta, observa-se que a tarefa é dividida em dois grandes momentos, o primeiro de engate da ferramenta na rama, e o segundo de aplicação de força para arranque da mandioca. Destacando-se os movimentos realizados pelos membros superiores em ambos os momentos (Figura 8).



Figura 8- Momentos do arranque da mandioca com a ferramenta manual.

Com o objetivo de manter a posição do usuário mais perto da ereta ao utilizar a ferramenta, altera-se a curvatura da mesma para aproxima-la do utilizador (Figura 9). Assim, mantém-se a vantagem mecânica da alavanca.

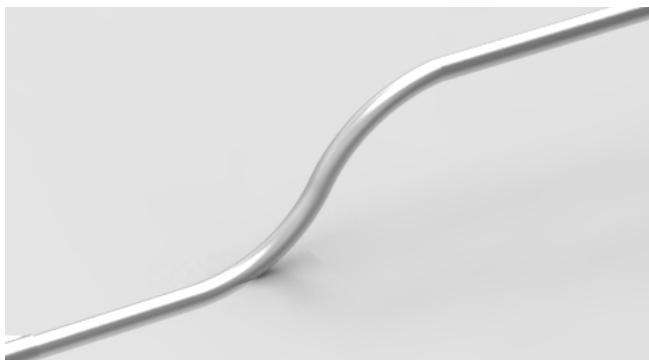


Figura 9- Curvatura do extrator manual de raízes de mandioca proposto.

Quanto ao segmento engate entendeu-se que uma forma orgânica seria mais adequada, direcionando a rama para dentro do serrilhado e

impedindo o escape ao realizar o arranque. O serrilhado é eficaz para cravar o arrancador na rama, quando direcionados para a parte interna evitam que a rama escorregue (Figura 10).

Observando que os usuários costumam utilizar a ferramenta com o engate do lado dominante, este é projetado móvel, possuindo um eixo que possibilita a inversão de acordo com as habilidades do usuário, permitindo o uso flexível, conforme o princípio do design universal [38].

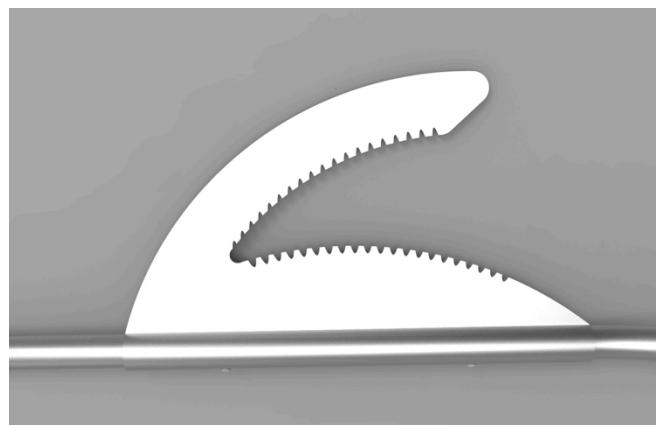


Figura 10- Engate do extrator manual de raízes de mandioca proposto.

O apoio ou ponta de enterramento, é o contato com o solo, ponto fixo da alavanca.

Devido ao formato inicial, em algumas situações ocorria o enterramento da ponta, o que prejudica o processo de extração da mandioca. Assim, para que o mesmo não ocorra, aumentou-se a área de contato da ponta com o solo, uma vez que a pressão é inversamente proporcional à área. Evitando assim o enterramento da ponta (Figura 11).



Figura 11- Ponta de enterramento do extrator manual de raízes de mandioca proposto

Sendo a pega o ponto de interação na interface homem-máquina, é de extrema importância considerá-la em diversos aspectos. A mesma foi projetada considerando as variáveis da interação. Ergonomicamente recomenda-se que o diâmetro da empunhadura esteja na faixa de 22 a 32 mm aproximadamente [40, 42], considerando também que os usuários da ferramenta são predominantemente homens, que possuem medidas antropométricas, geralmente, maiores [13]. Além disso, destaca-se a importância da adaptabilidade.

As pegas foram projetadas atentando aos dois momentos da tarefa, o engate na rama e a posterior aplicação de força (Figura 12).



Figura 12- Pegas do extrator manual de raízes de mandioca proposto.

Durante o momento de engate representado em "A" (Figura 13), atenta-se quanto ao objetivo de manter a posição de uso mais próxima da

ereta, as pegas são elevadas para evitar a flexão extrema da coluna.

No segundo momento, ilustrado em "B" (Figura 13), ocorre a elevação dos membros superiores, onde utiliza-se as duas mãos para aplicar a força em movimento ascendente. Assim, as pegas são fixas na parte extrema inferior da ferramenta.

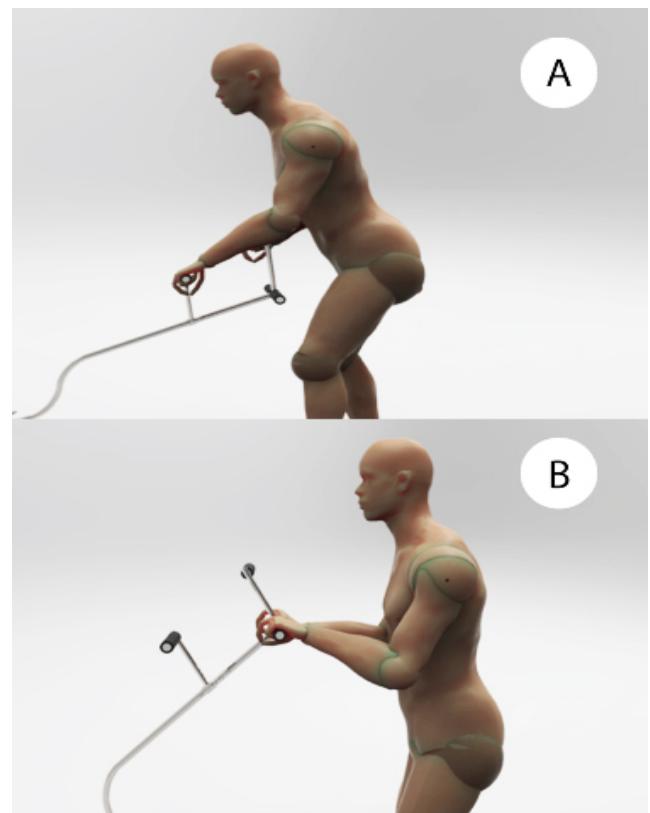


Figura 13- Momentos da extração de raízes de mandioca com a ferramenta proposta

Ao longo do primeiro, observa-se a propensão do usuário de segurar em ambos os lados, procurando equilibrar o instrumento, posicionando preferencialmente a mão dominante defronte (Figura 14).

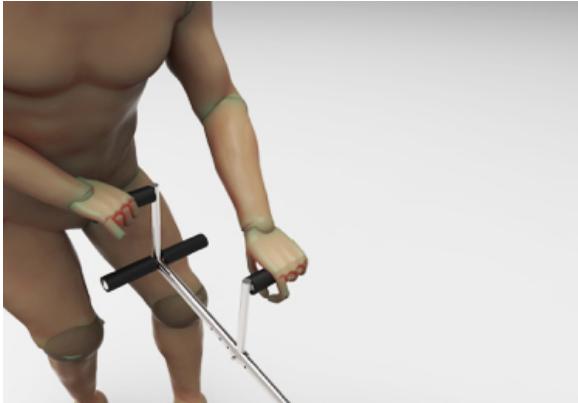


Figura 14- Posição adotada durante o primeiro momento da extração

A pega dianteira possui regulagem para adaptação de acordo com o comprimento do antebraço do utilizador. As pegadas elevadas são passíveis de inversão de acordo com o lado dominante do usuário, destro ou canhoto.

Evidenciando o uso equiparável por pessoas com diferentes capacidades, de acordo com o design universal [38].

A ferramenta como um todo possui características que visam oferecer maior conforto ao usuário na realização da tarefa, procurando simplificar ao máximo sua utilização e tornando o produto adaptável ao utilizador, suas habilidades, capacidades e dimensões antropométricas.

6. CONCLUSÕES

A análise postural da extração manual de mandioca, evidenciou a gravidade dos riscos aos que são expostos os trabalhadores e a necessidade de aprofundar pesquisas voltadas para a agricultura familiar. Percebe-se a importância do setor para a economia nacional e mundial e o potencial evidente de melhoria por meio da ergonomia, que devidamente aplicada pode auxiliar no desenvolvimento ou melhoria de ferramentas e soluções que venham a prevenir danos à saúde do agricultor. Evidencia-se também a importância de utilização de tecnologias como o rastreamento de movimentos 3D, utilizado nesta pesquisa, que permitem identificar com maior clareza os fatores de risco, além de gerar dados mais precisos para análise.

A oportunidade de desenvolver pesquisas aplicadas nesta área, evidencia-se pela escassez das mesmas. A ergonomia aplicada no projeto de ferramentas manuais contribui para o desenvolvimento de produtos funcionais e intuitivos que podem vir a facilitar as atividades agrícolas, gerando benefícios para o trabalhador.

Podem-se destacar as características da ferramenta que resultam da aplicação dos princípios do design universal no projeto do extrator manual de raízes de mandioca, evidenciadas principalmente na pega ambidestra adaptável. O desenvolvimento do projeto com foco no ser humano, permite observar as variáveis da relação produto-usuário e oferecer conforto durante a interação, independente dos fatores pessoais do usuário.

De acordo com os objetivos da pesquisa, o resultado possui baixo custo, sendo uma ferramenta totalmente manual, sem mecanismos ou componentes que utilizem energia externa para o funcionamento. Podendo aumentar significativamente a produtividade, uma vez que não necessita de instalação prévia, sendo totalmente portátil, além de diminuir os riscos à saúde do trabalhador.

O levantamento realizado e a análise da atividade de cultivo da mandioca podem nortear o futuro desenvolvimento de novas pesquisas que viriam a contribuir nos diversos segmentos da agricultura familiar, diminuindo os riscos à saúde do trabalhador e aumentando a produtividade. Salientando a importância de que as soluções propostas sejam de baixo custo, sendo uma das principais características da agricultura familiar a carência de recursos. Como desdobramentos da pesquisa poderia ser pontuado: continuidade de pesquisas na área e validação da eficácia do extrator manual de mandioca proposto. Definindo-se então as próximas etapas:

- Prototipagem do extrator manual de raízes de mandioca proposto;
- Teste da ferramenta em situação real, considerando diversos usuários e ambientes;
- Analisar os aspectos biomecânicos da tarefa com a utilização da ferramenta;

- Avaliação da variação de produtividade no arranque manual e com utilização do extrator manual de raízes de mandioca.

7. REFERÊNCIAS

- [1] MDS: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, 2009. Disponível em: <<http://www.mds.gov.br>> Acesso em 28 fev. 2014.
- [2] RURAL FORUM. "The Family Farming World Conference" Disponível em: <<http://www.ruralforum.net/ffwconference/default.asp?id=en>>. Acesso em: 09 dez. 2013.
- [3] IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Censo Agropecuário 2006". Rio de Janeiro: 2006.
- [4] EMBRAPA. "Mandioca". Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>>. Acesso em: 07 jun. 2014.
- [5] FRANÇA, C. G; GROSSI, M. E; MARQUES, V. P. M. A. "O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil." Brasília: MDA, 2009.
- [6] IEA- International Ergonomics Association. "Definição Internacional de Ergonomia." San Diego, USA: 2000
- [7] AGSAFE. "Occupational Injuries in California Agriculture: 1981-1990". AgSafe, University of California Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA. 3 pp.
- [8] KROEMER, K. H. E; GRANDJEAN, E. (Etienne). *Manual de ergonomia : adaptando o trabalho ao homem.* (5) Porto Alegre: Bookman, 2005. 327 pp.
- [9] SILVA, E. L; MENEZES, E. M. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.* (4) Florianópolis: UFSC, 2005. 138 pp.
- [10] GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa.* (4) São Paulo: Atlas, 2002. 175 pp.
- [11] MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica.* (5) São Paulo : Atlas 2003. 320 pp.
- [12] GUÉRIN, F; KERQUELEN, A; LAVILLE, A; DANIELLOU, F; DURAFFOURQ, J. *Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia.* São Paulo, Edgard Blucher, 2001. 200 pp.
- [13] IIDA, I. *Ergonomia: Projeto e produção.* 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 630 pp.
- [14] JAFRY, T; O'NEILL, D. H. The application of ergonomics in rural development: a review. *Applied Ergonomics*, **31**, p.263-268, 2000.
- [15] FATHALLAH, F. A. "Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture". *Applied Ergonomics*, **41**, p.738-743, fev. 2010.
- [16] United States Department Of Labor. "OSHA Technical Manual (OTM) Section VII: Chapter 1". 1999. Disponível em: <https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_vii/otm_vii_1.html#3>. Acesso em: 03 maio 2014.
- [17] Ministério da Previdência Social, Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social. "Anuário Estatístico da Previdência Social" (21), 2012. 889 pp.
- [18] FLEMING, I. *Diagnóstico Ergonômico Preliminar em Comunidade Agrícola com Produção Diversificada.* 2003. Dissertação (Mestrado) - Curso de Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianopolis, 2003. 139 pp.
- [19] MDA: Ministério do Desenvolvimento Agrário. *Plano Safra da Agricultura Familiar: 2014/2015.* 2014. 31 pp.
- [20] DINIZ, C. F; SCHARMACH, A. L. R. "Estudo sobre a percepção do impacto do sistema cooperativo de agricultura familiar nos municípios de Mafra, Papanduva e Monte Castelo." Ágora: R. Divulg. Cient, **18**, p.5-16, 2011.
- [21] HILLOCKS, R. J; THRESH, J. M; BELLOTTI, A. C. "Cassava Biology, Production and Utilization". Cabi Publishing, 2001. 332 pp.
- [22] FAO. "Production data." Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 07 nov. 14.
- [23] Dziedzoave, N.T., Abass, A.B., Amoa-Awua, W.K.A., Sablah, M. "Quality management manual for production of high quality cassava flour". International Institute of Tropical Agriculture. 69 pp.
- [24] EPAGRI - Órgão oficial de Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária do estado de Santa Catarina. 2012. Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br>>. Acesso em: 23 mai. 2014.
- [25] OSPINA, B; CEBALLOS, H. *La Yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de*

producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2002. 586 pp.

[26] ARISTIZÁBAL, J; SÁNCHEZ, T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación, 2007. 153 pp.

[27] BERNARD, B. P. *Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati: NIOSH, 1997. 590 pp.

[28] KAPANDJI, A. I. Fisiología articular: Esquemas comentados de mecânica humana. (5). Rio de Janeiro: Panamericana, 2000. 307 pp

[29] BARR, A. E.; BARBE, M. F.; CLARK, B. D. "Work-Related Musculoskeletal Disorders of the hand and wrist: epidemiology, pathophysiology, and sensorimotor changes". *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, **34**, (10), p. 610-627, 2004.

[30] WADDELL, G; BURTON, A. K. "Occupational health guidelines for the management of low back pain at work: evidence review." *Occupational Medicine*, Oxford, **51**, (2), p. 124-135, fev. 2001.

[31] WINDEL, J; WESTGAARD, R. "Occupational and individual risk factors for shoulder-neck complaints: Part II - The scientific basis (literature review) for the guide." *International Journal Of Industrial Ergonomics*, (10), p.85-104, 1992.

[32] MARRAS, W. "Occupational low back disorders causation and control". *Ergonomics*, Londres, **43**, (7), p. 880-902, jul. 2000.

[33] HALPERN, M. "Prevention of low back pain: basic ergonomics in the workplace and the clinic." *Bailliere's Clinical Rheumatology*, **6**, (3), p.705-730, out. 1992.

[34] LOISEL, P. et al. "Implementation of a participatory ergonomics program in the rehabilitation of workers suffering from subacute back pain." *Applied Ergonomics*, (32), p.53-60, 2001.

[35] HESS, J. A. et al. "A participatory ergonomics intervention to reduce risk factors for

low-back disorders in concrete laborers". *Applied Ergonomics*, (35), p.427-441, 2004.

[36] CHOOBINEH, A. et al. "The impact of ergonomics intervention on psychosocial factors and musculoskeletal symptoms among office workers." *International Journal Of Industrial Ergonomics*, (41), p.671-676, set. 2011

[37] CUD - CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN. Universal Design. Disponível em: <<http://www.ncsu.edu/project/design-projects/udi/center-for-universal-design>>. Acesso em: 01 de Abril de 2015.

[38] CARLETTTO, A. C; CAMBIAGHI, S. *Desenho Universal: Um conceito para todos*. Instituto Mara Gabrilli. São Paulo, 2007. 38 pp.

[39] MITAL, A; KILBOM, A. "Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities: Part I - Guidelines for the practitioner." *International Journal Of Industrial Ergonomics*, (10), p.1-5, 1992.

[40] TILLEY, Alvin R. *As medidas do homem e da mulher*. São Paulo: Henry Dreyfuss Associates, 2005. 104 pp.

[41] SILVA, D. C. M. (Org.). "Alavancas." 2011. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/fisica/alavancas.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

[42] GRANT, K. A; HABES, D. J; STEWARD, Libby L. "An analysis of handle designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter." *International Journal Of Industrial Ergonomics*, (10), p.199-206, jun. 1992.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Órgão oficial de Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária do estado de Santa Catarina (EPAGRI) e ao Núcleo de Gestão de Design da Universidade Federal de Santa Catarina (NGD/LDU-UFSC), que viabilizaram a pesquisa presente neste trabalho.