

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROJETO DE CABINE DE UNIDADE MECÂNICA DE
AUXÍLIO À COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR (UNIMAC
CANA) COM BASE NA ERGONOMIA**

EMANUEL ANTONIO BARRETO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROJETO DE CABINE EM UNIDADE MECÂNICA DE
AUXÍLIO À COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR (UNIMAC
CANA) COM BASE NA ERGONOMIA**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável.

EMANUEL ANTONIO BARRETO

Orientador: Prof. Dr. Mauro José Andrade Tereso
Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Funes Abrahão

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

B275p Barreto, Emanuel Antonio
Projeto de cabine de unidade mecânica de auxílio à
colheita da cana-de-açúcar (UNIMAC CANA) com base
na ergonomia / Emanuel Antonio Barreto. --Campinas,
SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Mauro José Andrade Tereso, Roberto
Funes Abrahão.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Colheita. 3. Cana-
de-açúcar. 4. Ergonomia. I. Tereso, Mauro José
Andrade. II. Abrahão, Roberto Funes. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Cab design for a sugar cane harvesting machine based on
ergonomics principles

Palavras-chave em Inglês: Sugar cane - Harvest, Harvest, Sugar cane,
Ergonomics

Área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Franco Giuseppe Dedini, Nilton Luiz Menegon

Data da defesa: 28/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Emanuel Antonio Barreto**, aprovado pela Comissão Julgadora em 28 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



**Prof. Dr. Mauro José Andrade Tereso – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**



**Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon - Membro Titular
UFSCar**



**Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp**

**Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini – Membro Titular
FEM/Unicamp**

AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde e capacidade para realizar este trabalho.

Aos meus Profs. Drs. Mauro José Andrade Tereso e Roberto Funes Abrahão pela orientação, dedicação, amizade e conselhos durante o curso de mestrado.

À equipe de projeto da UNIMAC CANA pelo apoio técnico e pelos dados fornecidos do equipamento.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e funcionários pela ótima estrutura proporcionada durante o curso.

Aos meus pais Antonio e Lislei Barreto pelo incentivo e força em mais essa etapa da minha vida.

À minha noiva Nayara Costa, pelo afeto e carinho em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Franco Dedini, ao colega de mestrado Renato Pezzin e aos meus alunos da Fatec Arthur de Azevedo – Mogi Mirim, pela colaboração para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Centro Paula Souza pelo benefício concedido de afastamento parcial das aulas que leciono, de forma a aumentar o tempo disponível para dedicação ao curso de mestrado.

À todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para esta conquista.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil

PROJETO DE CABINE EM UNIDADE MECÂNICA DE AUXÍLIO À COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR (UNIMAC CANA) COM BASE NA ERGONOMIA

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar parece ser o caminho para solução dos problemas decorrentes dos impactos ambientais das queimadas e do trabalho extremamente fatigante na colheita manual. Por outro lado, a mecanização total da colheita levaria milhares de trabalhadores ao desemprego. Para minimizar os impactos ambientais e manter parte desses empregos, a Agricef e a Unicamp estão desenvolvendo o projeto da unidade mecânica de auxílio à colheita da cana-de-açúcar (UNIMAC CANA), que trata de um conceito alternativo representado por uma mecanização parcial da colheita, que está em fase de prototipagem. Particularmente esta pesquisa teve como objetivo o dimensionamento da cabine deste dispositivo e o posicionamento de seus comandos e painéis, com base nas características antropométricas do operador brasileiro. Utilizou-se a metodologia projetual orientada pela preocupação com aspectos ergonômicos. As alternativas de projeto geradas através de quadros morfológicos culminaram no dimensionamento da cabine da máquina com sua disposição de comandos, painéis e assentos de modo a acomodar o operador de forma segura e confortável. Foram concebidas duas alternativas possíveis de projeto: a cabine em uma posição móvel em relação à máquina e outra numa posição fixa localizada em cima de seu chassi. Através de simulação do campo visual do operador concluiu-se que a cabine na posição móvel seria a opção mais viável nos atributos conforto e dirigibilidade.

PALAVRAS-CHAVE: cabine, colheita, cana-de-açúcar, ergonomia.

ABSTRACT

CAB DESIGN FOR A SUGAR CANE HARVESTING MACHINE BASED ON ERGONOMICS PRINCIPLES

Sugar cane harvesting mechanization seems to be the solution for the problems related to the environment impact of sugar cane burning to facilitate manual harvesting, which also is a extremely hard task. By the other way, full harvest mechanization would lead to a massive unemployment. To minimize environment impact and keep some of the harvesting jobs, Unicamp and Agricef are designing and building a harvesting machine that represents an alternative concept due to it parcial harvesting mechanization. The main objective of this research is the design of the cab for this machine and the positioning of its controls and panels, based on the anthropometric characteristics of the brazilian operators. It was used a design methodology with ergonomic emphasis. The alternatives concepts generated by the morphologic boards allowed the dimensioning of the cab and the positioning of panel and controls in order to safely hold the operator. To concepts were developed: a fixed and a movable cab. Through the simulation of the operator visual field it was concluded that the movable concept would be the most feasible solution for the cab in terms of comfort and drivability.

KEY WORDS: cab design, sugar cane, harvest, ergonomics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - As fases de um projeto (ASIMOW, 1968)	8
FIGURA 2 - Metodologia segundo BLANCHARD e FABRYCKY (1981)	10
FIGURA 3 - Metodologia segundo PAHL e BEITZ (1988) <i>apud</i> DEDINI (2002)	12
FIGURA 4 – Metodologia segundo CLARK E CORLETT, 1984	14
FIGURA 5 - Acesso à cabine de máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998)	33
FIGURA 6 - Dimensões do habitáculo em máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998)	35
FIGURA 7 - Campos Visuais do operador. Fonte: Menezes <i>apud</i> FONTANA, 2005	37
FIGURA 8 - Dispositivos de acionamento em máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998)	39
FIGURA 9 - Localização do SIP no assento de uma máquina agrícola (ROZIN, 2004)	49
FIGURA 10 - Vistas Laterais da UNIMAC CANA	52
FIGURA 11 - Vista superior da UNIMAC CANA	53
FIGURA 12 - Vista de frente da UNIMAC CANA	53
FIGURA 13 - Projeto mecânico da frente de corte e alimentação	54
FIGURA 14 - Projeto mecânico da unidade de limpeza e da carreta armazenadora	54
FIGURA 15 - Protótipo da unidade de limpeza e da carreta armazenadora	55
FIGURA 16 - Deformação lateral do pneu provocada pelo peso do equipamento	56
FIGURA 17 - Condição limite de estabilidade ao tombamento lateral	57
FIGURA 18 - Plano vertical de corte “PC”	58
FIGURA 19 – Posicionamento da cabine longitudinalmente	61
FIGURA 20 – Posicionamento da cabine transversalmente	61
FIGURA 21 – Percentil 5% feminino (menor usuário)	102
FIGURA 22 – Percentil 50% masculino (usuário médio)	103
FIGURA 23 – Percentil 95% masculino (maior usuário)	105
FIGURA 24 – Dimensionamento da cabine da UNIMAC CANA com o painel	106
FIGURA 25– Layout da cabine da UNIMAC CANA	107
FIGURA 26 – Dimens. do assento com regulagens de altura e inclinação do encosto	107
FIGURA 27 – Layout do assento e seu apoio de braço com regulagem	108
FIGURA 28 – Regulagem de profundidade do assento	108
FIGURA 29 – Layout da montagem do assento dentro da cabine	109

FIGURA 30 – Maior usuário inserido na cabine	110
FIGURA 31 – Zona de alcance do maior usuário	111
FIGURA 32 – Usuário médio inserido na cabine	112
FIGURA 33 – Zona de alcance do usuário médio	113
FIGURA 34 – Menor usuário inserido na cabine	114
FIGURA 35 – Zona de alcance do menor usuário	115
FIGURA 36 – Campo visual ambinocular gerado pelo Catia	116
FIGURA 37 – Cabine fixa na máquina em perspectiva	117
FIGURA 38 – Cabine fixa da máquina em suas projeções ortogonais	118
FIGURA 39 – Simulação do campo visual do operador na cabine fixa	119
FIGURA 40 – Posição extrema lateral esquerda da cabine móvel	120
FIGURA 41 – Posição extrema lateral direita da cabine móvel	121
FIGURA 42 – Posição extrema frontal da cabine móvel	121
FIGURA 43 – Movimento da cabine em relação à máquina	122
FIGURA 44 – Posição intermediária da cabine	123
FIGURA 45 – Campo de visão do operador na posição intermediária	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Esquema do Quadro morfológico (DEDINI, 2002)	15
TABELA 2 - Medidas Norma UNE (RUSSO et al., 1998)	33
TABELA 3 - Norma UNE (RUSSO et al., 1998).	35
TABELA 4 - Norma UNE (RUSSO et al., 1998)	40

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Ângulos relacionados ao corpo humano (ROZIN, 2004)	41
QUADRO 2 – Quadro morfológico: Acesso à cabine	71
QUADRO 3 – Quadro morfológico: Campo visual do operador	72
QUADRO 4 – Quadro morfológico: Dimensionamento do espaço de trabalho	73
QUADRO 5 – Quadro morfológico: Controle da máquina	74
QUADRO 6 – Quadro morfológico: Assento do operador	75
QUADRO 7 – Quadro morfológico: Isolamento do operador	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Objetivo	4
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	5
2.1. Projeto de engenharia	5
2.2. Metodologia de projeto	7
2.3. Ergonomia	16
2.3.1. Histórico da ergonomia	18
2.3.2. Ergonomia e projeto	21
2.3.3. Ergonomia em máquinas agrícolas	27
2.3.4. Ergonomia em projeto de cabines de máquinas agrícolas	29
2.3.4.1. Acesso ao posto de operação	31
2.3.4.2. Características dimensionais da cabine	34
2.3.4.3. Campo visual do operador	36
2.3.4.4. Dispositivos de comandos de operação e controle e mostradores	38
2.3.4.5. Características do assento do operador	46
2.3.4.6. Conforto térmico e isolamento de ruídos	50
3. UNIMAC CANA	52
3.1. Caracterização da máquina	52
3.2. Investimento, custo de operação e emprego sustentável	60
3.3. Concepção da cabine de controle	60
4. MATERIAL E MÉTODOS	63
4.1. Metodologia Projetual	63
4.2. Adequação antropométrica e biomecânica	69
4.3. Dimensionamento e simulação	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1. Quadros Morfológicos	71
5.2. Definição de parâmetros a partir do <i>check list</i>	77
5.3. Seleção das alternativas viáveis de projeto	97

5.4. Seleção dos manequins virtuais para simulação	101
5.5. Dimensionamento e <i>layout</i> da cabine e assento	106
5.6. Verificação do espaço de trabalho e das áreas de alcance do operador	109
5.7. Posição da cabine em relação à máquina e os campos visuais do operador	116
5.7.1. Cabine fixa	117
5.7.2. Cabine móvel	120
5.8. Discussões	125
6. CONCLUSÕES	127
7. REFLEXÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A partir de 1970, o aumento da demanda de produtos da agricultura foi um dos responsáveis pelo desenvolvimento do setor industrial brasileiro voltado à área agrícola, com o trabalho mecanizado substituindo progressivamente o serviço braçal.

Das mais diferentes máquinas do setor rural merece destaque o trator agrícola que, devido a sua versatilidade, pode ser utilizado em diversas tarefas no setor da agricultura. Como fonte de potência e tração reduziu consideravelmente o esforço físico necessário para a execução de várias tarefas e a otimização do trabalho no meio rural.

No Brasil, contudo, nem todas as áreas agrícolas foram contempladas com a introdução e intensificação da mecanização. A cultura da cana-de-açúcar é um exemplo de que ainda há muito que se fazer no caminho da mecanização.

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos das exportações brasileiras e ainda constitui uma das opções freqüentes de emprego e renda, especialmente para os trabalhadores envolvidos nas colheitas. Assim sendo, dentro do processo produtivo, as atividades da colheita manual da cana-de-açúcar são consideradas muito importantes devido ao grande número de trabalhadores envolvidos e ao desgaste físico decorrente desta atividade. Ao contrário de outros países como a Austrália, onde se utiliza método de colheita mecanizada, no Brasil a colheita é realizada principalmente de forma manual ou semi-mecanizada devido ao baixo investimento de tecnologia nesta área e às condições de inclinação acentuadas do solo, que dificultam a mecanização nos campos de plantio, utilizando assim expressiva quantidade de mão de obra de baixa qualificação.

Associado à precariedade dos alojamentos, transporte, alimentação insuficiente e de difíceis condições de trabalho, sem pausas para descanso, o sistema de pagamento por produção pode agravar os riscos de acidentes e diminuir a capacidade para o ofício destes trabalhadores, chegando até a causar mortes por exaustão.

De acordo com a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (ÚNICA, 2008) a agência Câmara divulgou que o deputado Fernando de Fabinho (DEM-BA) apresentou o Projeto de Lei 1712/07, que prevê o fim da colheita manual da cana-de-açúcar em até dez anos

e maior rigor na avaliação de novos empreendimentos canavieiros que possam provocar danos ambientais por meio de queimadas. De acordo com a proposta, o governo federal deverá incentivar a mudança na produção e promover cursos e treinamentos de capacitação da mão-de-obra que será desempregada pela mecanização. Provavelmente nem todos os trabalhadores serão contemplados por este programa e isto poderá gerar um grave problema social.

Além desse impacto social gerado com a possível extinção da função nos próximos anos e tendo em vista o desgaste e sofrimento dos trabalhadores no corte da cana-de-açúcar, além do aumento da demanda na produção que vêm ocorrendo mundialmente em função principalmente da utilização dos biocombustíveis, a necessidade da mecanização da colheita da cana-de-açúcar justifica o projeto Unidade Mecânica de Auxílio à Colheita, desenvolvido pela Unicamp em parceria com a Agricef (Soluções Tecnológicas Inovadoras para a Agricultura).

O dispositivo proposto trata de um conceito alternativo representado por uma mecanização parcial da colheita de cana-de-açúcar denominado UNIMAC CANA composto por uma frente de corte com as funções de efetuar o corte de base e o transporte da massa integral de cana sobre um plano inclinado seguido por uma célula de trabalho que conta com dois operadores por fileira.

Em duas fileiras de trabalho, estes operadores apanham manualmente os colmos e encaixam os mesmos em um transportador lateral que os conduz até o despontador e posteriormente até a unidade de limpeza, a qual retira as folhas e lança os colmos inteiros em uma carreta de descarga vertical onde os mesmos são armazenados ordenadamente na direção longitudinal de marcha.

Finalmente a carreta efetua a descarga pela abertura de uma porta em seu fundo, permitindo a descida da carga de forma a manter o ordenamento paralelo dos colmos e com isso manter a densidade de carga no carregamento subsequente. No capítulo três deste trabalho este dispositivo será descrito com maiores detalhes.

No entanto, a UNIMAC CANA sendo uma máquina semi mecanizada, ainda exige o serviço físico e cognitivo dos operadores que ficam na frente de corte e do operador que controla a máquina.

A execução da tarefa de controlar e dirigir a máquina em funcionamento, sujeita a vibrações e declives relacionados ao campo de plantio, somado ao fator de exposição à ruídos

e intempéries do meio externo do campo de trabalho, traz a necessidade da concepção de um habitáculo para o operador isolar-se do meio externo e ao mesmo tempo ter total controle das funções exigidas e implementos que a máquina opera sem riscos de danos à sua saúde física e mental.

A equipe de projeto da UNIMAC CANA já definiu grande parte dos itens da máquina, entre eles, os dispositivos de corte e o transportador helicoidal rotativo que tem a função de levar os colmos de cana até a célula de trabalho na plataforma da frente de corte. Também definiu os mecanismos da unidade de limpeza da cana, assim como o *layout* da caçamba traseira de descarga vertical, além do sistema de geração de energia e motores que controlam a dirigibilidade da máquina.

Portanto, a frente de corte e seu posto de trabalho, assim como os itens acima citados, não foram objetos deste trabalho de pesquisa, mas sim parâmetros e referências para o dimensionamento da cabine de controle.

Desta forma, este trabalho procurou dimensionar a cabine de controle da UNIMAC CANA considerando critérios de eficácia, conforto e segurança, com base na ergonomia.

1.2. OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Dimensionar a cabine do equipamento UNIMAC CANA sob a perspectiva da ergonomia e da segurança do trabalho.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Dimensionar a cabine, para o operador da UNIMAC CANA, com base na ergonomia de concepção segundo parâmetros antropométricos e biomecânicos.
- b) Propor os dispositivos de controle da máquina e acomodação do operador, preocupando-se com seu bem estar físico e mental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Projeto de engenharia

Projeto de engenharia, segundo ASIMOW (1968), é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura.

Para o termo projeto encontram-se várias definições. Como sinônimos da palavra projeto têm-se: plano, esquema, primeira idéia, intento, representação escrita e gráfica, com orçamento de algo a ser executado (BACK, 1983).

De acordo com ASIMOW (1968), um projeto pode ser um desenho, um papel de parede, ou um vestido no mundo da moda. Contudo, o que distingue os objetivos de um projeto de engenharia dos de outros tipos de projetos é a extensão da contribuição dos fatores tecnológicos utilizados na sua elaboração, ou seja, quando a tecnologia apropriada é complexa — não sendo evidente a sua aplicação — e quando a otimização dos resultados exigem processos analíticos.

Do ponto de vista da engenharia, projeto é toda a atividade dirigida a resolver o problema do cliente da maneira mais eficaz, tendo sempre em consideração suas necessidades (DUFOR, 1996). No caso de projeto de máquinas é a formulação de um plano para um mecanismo ou dispositivo capaz de transmitir forças e movimentos, realizando um trabalho ou função específica que deverá ser executado para satisfazer uma necessidade humana da forma mais econômica possível (BACK, 1983).

Além disto, o projeto de qualquer tipo de máquina, equipamento ou produto, não é uma atividade isolada, mas destina-se a desenvolver certas funções e habilidades que complementam aquelas do ser humano (IIDA, 2005).

Voltando na história, os projetos tendiam a evoluir em maiores períodos de tempo e a marcha vagarosa das mudanças tecnológicas no passado reduziam o risco de se incorrer em erros expressivos. Isso é o que se podia chamar de “projeto por evolução”, onde os riscos técnicos e a probabilidade de falhas eram menores. Atualmente a faixa de competição é maior e a luta não surge somente no setor de mercado, mas também nos escritórios de projeto, assim como nos laboratórios de pesquisa. O desafio tem se deslocado para o plano tecnológico, onde

o aperfeiçoamento gradual e lento de um produto tem menor possibilidade de competir no mercado (ASIMOW, 1968).

A inovação é um ingrediente vital para o sucesso dos negócios. A economia de livre mercado depende de empresas competindo entre si, para superar marcas estabelecidas por outras empresas. As empresas precisam introduzir continuamente novos produtos, para impedir que empresas mais agressivas acabem ganhando parte de seu mercado.

“A tática gerencial de encurtar deliberadamente a vida de produtos no mercado, introduzindo rapidamente novos produtos, é uma arma estratégica contra os competidores mais lentos. Essa prática foi introduzida pelos japoneses, mas está sendo copiada cada vez mais pelos países ocidentais. Como resultado, todos os competidores devem esforçar-se para produzir cada vez mais rápido, um número de novos produtos, do que no passado.” (Christopher Lorenz, citado por BAXTER, 2000)

A partir da década de 60, as circunstâncias começaram a exigir aperfeiçoamentos mais rápidos e audaciosos. Em consequência, os riscos técnicos e as probabilidades de falhas que os engenheiros projetistas começaram a enfrentar, foram ficando maiores. Além de lidar com os fenômenos físicos, como por exemplo, escoamento de fluidos, transmissão de calor, fenômenos elétricos e outros, o projetista encontrou uma série de problemas peculiares ao planejamento, como a necessidade de desenvolver, organizar e avaliar informações de natureza incerta, da necessidade de se levar em consideração as integrações dos fatores componentes, das exigências de se fazerem prognósticos em termos de critérios de projetos e da necessidade de se operar dentro dos limites de um sistema econômico (ASIMOW, 1968).

Para tanto, tornou-se necessário um conjunto de princípios, conceitos e métodos gerais relevantes a muitas classes de problemas. Atualmente, em função das necessidades de se ter um produto funcionalmente correto, competitivo e inovador estão sendo desenvolvidos métodos, técnicas e processos que facilitam o projeto do produto do ponto de vista da função, dos aspectos econômicos, da montagem e da fabricação, com o objetivo de atender as exigências do consumidor e às normas técnicas (ALONÇO, 2004).

Um modelo sistematizado para desenvolvimento de produtos deverá conduzir o projetista mais rápida e diretamente a soluções possíveis, já que o projeto tem um efeito crucial no valor técnico e econômico do produto (DUFOUR, 1996).

Atributos de manutenibilidade, confiabilidade, ambientais, descarte, segurança, ergonômicos, entre outros, deverão ser incluídos no projeto, pois a experiência demonstra que, caso os mesmos sejam inseridos, a médio e longo prazo, os benefícios econômicos serão maiores (ALONÇO, 2004).

Segundo BAXTER (1998), a atividade de desenvolvimento de um novo produto não é tarefa simples. Pelo fato da UNIMAC CANA ser uma nova concepção de produto no mercado, o projeto de seu habitáculo de controle requer pesquisa, planejamento cuidadoso, controle meticuloso e, mais importante, o uso de métodos sistemáticos, ou seja, metodologias de projeto.

Existem várias metodologias propostas nas literaturas. Muitos autores desenvolveram seus trabalhos de forma paralela, surgindo assim soluções muito próximas, por vezes divergindo apenas em aspectos morfológicos.

2.2 – Metodologia de Projeto

À medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se uma seqüência de eventos, numa determinada ordem cronológica, formando um modelo, o qual sempre é comum a todos os projetos (BACK, 1983).

Examinar este modelo traz à luz a metodologia pela qual as idéias sobre as necessidades são transformadas, produtivamente, em idéias sobre coisas, e estas por sua vez são convertidas em prescrições de engenharia para transformar recursos adequados em objetos úteis (ASIMOW, 1968). Segundo este autor, um produto desenvolve-se através de uma série de fases principais e seus passos constituintes (Figura 1).

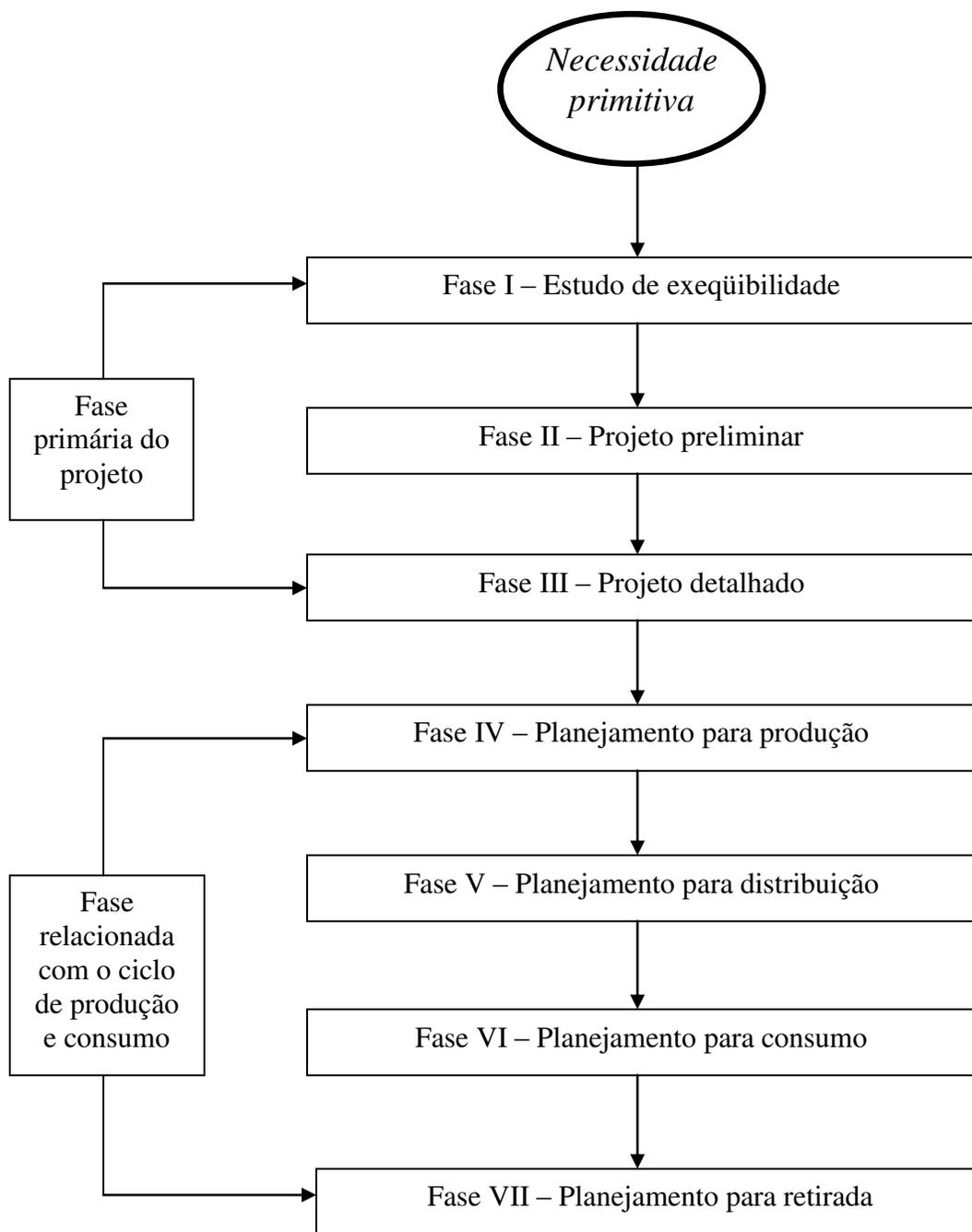


Figura 1 – As fases de um projeto (ASIMOW, 1968)

O ponto inicial de um projeto, segundo a metodologia proposta por ASIMOW (1968), é a necessidade hipotética que se observa corretamente no cenário socioeconômico, que pode ser formulada a partir de observações ainda não verificadas ou ser elaborada, baseada em estudos de mercado e de consumo.

O próximo passo consiste em explorar problemas gerados pelas necessidades e identificar seus elementos, tais como parâmetros, limitações e critérios importantes. Em seguida, faz-se um esforço para conceber-se um número de soluções plausíveis para o problema. No conjunto de soluções úteis, desenvolvido no estudo de exequibilidade, deve ser identificada a mais promissora.

A partir da seleção da melhor concepção experimental, dá-se início ao projeto preliminar, que consiste na formulação de modelos matemáticos, análise de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade, otimização, projeções para o futuro, previsão de comportamento e simplificação do projeto, o qual servirá como guia para um projeto detalhado onde serão preparados os projetos detalhados das partes, os desenhos de montagem e finalmente a construção experimental visando um programa de testes com o produto, para depois se iniciar o ciclo de produção, consumo e descarte.

Segundo DEDINI (2002), através de uma análise desta metodologia, percebe-se um forte encadeamento das atividades e uma divisão em blocos fortemente estruturados. Atualmente este tipo de estrutura acarreta um consumo de tempo elevado no desenvolvimento do projeto, pois erros no desenvolvimento exigem muitas vezes a executar novamente toda uma fase.

Vários autores desenvolveram seus trabalhos a partir da metodologia apresentada por Asimow. A metodologia proposta por Blanchard e Fabricky (citados por DEDINI 2002), propõe que os engenheiros no geral tendem a focar principalmente na fase de viabilização do ciclo de vida, ou seja, no projeto conceitual preliminar, detalhado e produção, se preocupando menos com a fase de utilização, estando portanto envolvidos nas atividades iniciais de análise e projeto sem a participação dos consumidores. Desta forma, a performance do produto têm sido o principal objetivo, em detrimento do desenvolvimento de um sistema global com fatores econômicos em mente. A figura 2 apresenta a morfologia desta metodologia para o desenvolvimento do projeto, com foco no ciclo de vida e utilizando uma visão de sistemas.

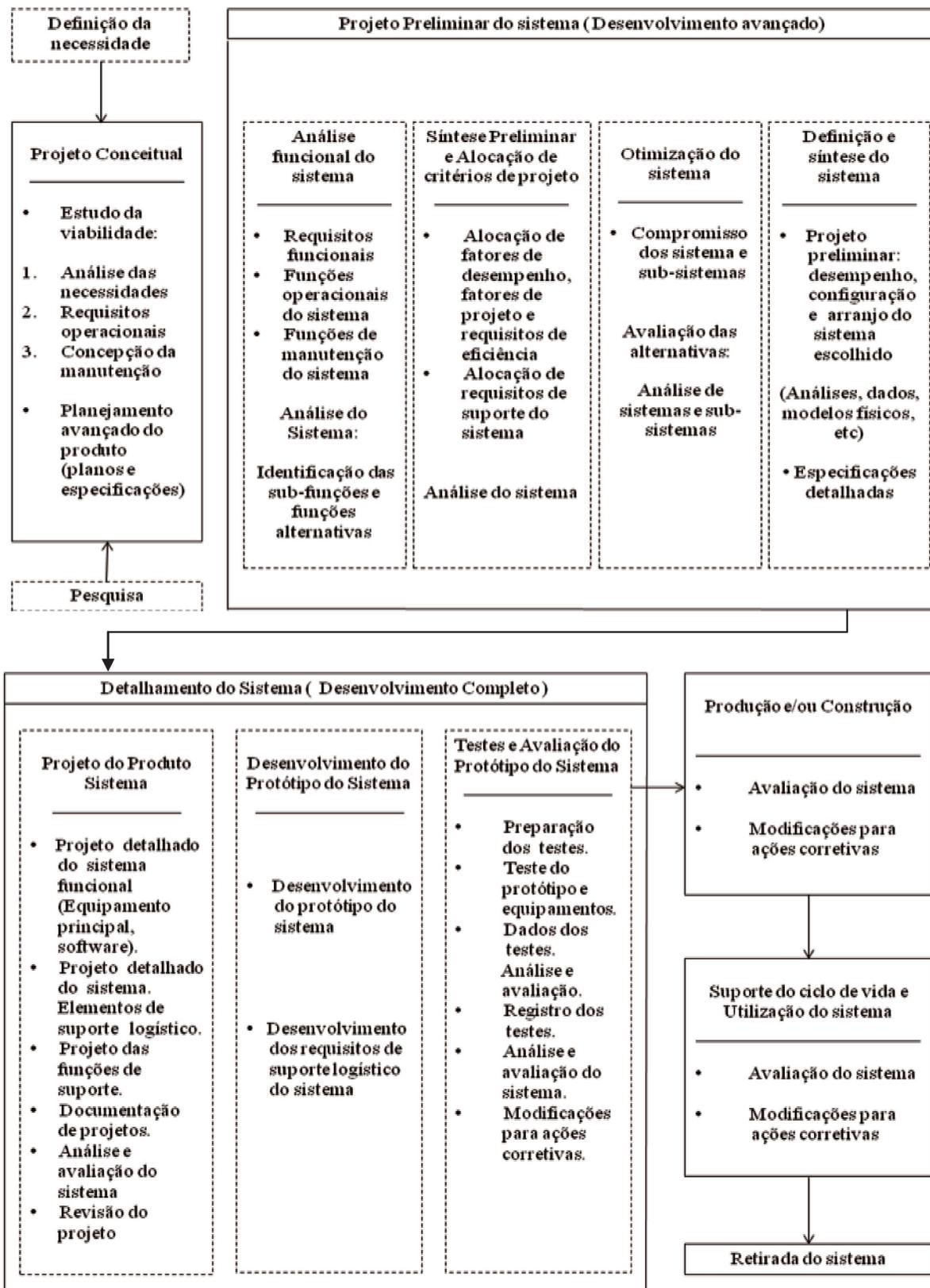


Fig.2 – Metodologia segundo BLANCHARD e FABRYCKY (1981) *apud* DEDINI (2002)

Segundo DEDINI (2002), a metodologia é dividida em 6 fases principais:

- Projeto conceitual: Onde são realizados os primeiros estudos de viabilidade e necessidade do projeto. É uma fase de pesquisas e planejamento de todo o processo;
- Projeto Preliminar do Sistema: Nesta fase são realizados os levantamentos dos requisitos técnicos do projeto e são definidas soluções para o problema proposto. Alocações de recursos para a próxima fase são realizadas;
- Detalhamento do sistema: A solução proposta no passo anterior deve ser detalhada e testada. Protótipos da solução são testados para assegurar a sua capacidade de atingir os requisitos esperados;
- Produção e/ou construção;
- Suporte do ciclo de vida e Utilização do sistema;
- Retirada do sistema: Esta fase visa atender alterações no produto, objetivando uma menor agressão ao meio ambiente quando o produto é descartado.

Esta metodologia tem como característica apresentar o ciclo do produto, tendo como origem as necessidades do consumidor, passando pelas fases de responsabilidade do produtor, como planejamento, pesquisa, desenvolvimento e projeto preliminar e detalhado, voltando nas fases finais do ciclo a focar novamente o consumidor, sendo ele o objeto principal na escolha de requisitos de avaliação do sistema, categorias de avaliação e testes, coletas de dados, registro, análise, ações corretivas e re-teste.

De acordo com a metodologia, além de o consumidor participar da avaliação do sistema, ela prevê sua participação em função do uso e suporte logístico do sistema, ou seja, existe a preocupação no projeto do atendimento das necessidades do cliente de uma forma efetiva no uso e distribuição, através de elementos de suporte ao ciclo de vida e logísticos com avaliação do sistema na fase externa do produto, através de reclamação e modificações, além da preocupação com a disposição de material e reciclagem.

Seguindo uma ordem cronológica ascendente das metodologias, nos deparamos com o trabalho de Pahl e Beitz (citados por DEDINI 2002), que propõe uma metodologia baseada na norma alemã VDI 2221, que busca determinar de forma geral o que é o ato de projetar, delimitando o campo de projeto, apresentando um fluxo que deve ser comum a todas as metodologias propostas para a atividade de projeto. Esta metodologia utiliza o método de composição funcional como mostrado na Figura 3.

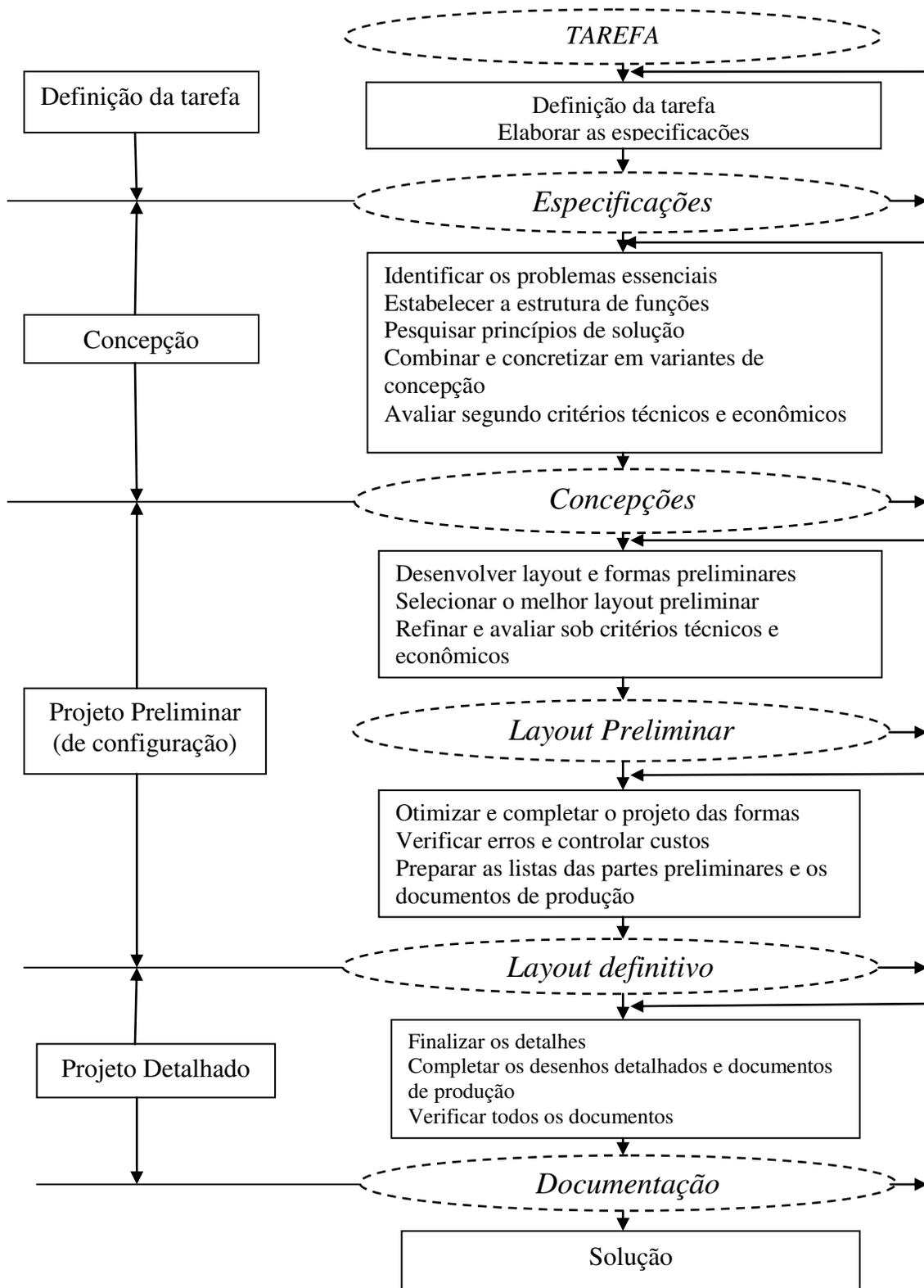


Figura 3 – Metodologia segundo PAHL e BEITZ (1988) *apud* DEDINI (2002)

A primeira fase é a análise da necessidade e ambiente do produto que conduz a uma definição precisa do problema. Esta definição inclui a função específica, as exigências técnicas e os custos específicos. Em seguida busca-se descobrir a estrutura total da função, definindo problemas e associando-os com um sistema de funções gerais, selecionando alternativas diferentes e resultando em mudanças de arranjo. As funções gerais determinam os vários artefatos técnicos que conectam, mudam, armazenam e canalizam o material, a energia ou a informação. A etapa seguinte consiste na determinação da estrutura especial da função, é a tentativa de resolver os problemas elementares com a ajuda das equações físicas básicas dos efeitos físicos expressados, e se possível, em fórmulas matemáticas.

O produto real é elaborado na fase seguinte. Vem primeiramente a incorporação das soluções dos problemas elementares. Uma solução geral é elaborada então combinando estas incorporações de acordo com a estrutura total da função. A variação produzirá agora uma gama de soluções gerais dentre as quais a melhor pode ser escolhida e modificada na luz de exigências da produção. As alternativas são avaliadas por sua vez de modo que a melhor solução para o problema possa ser determinada antes que os desenhos e a documentação da produção estejam terminados (PAHL e BEITZ, 1988 citados por DEDINI 2002).

Segundo DEDINI (2002), através desta metodologia, o processo de projeto é dividido em uma hierarquia que busca atingir um nível mais simples possível para projetar, onde a soma de todas as tarefas resultará na execução do produto.

Na continuidade da existência de metodologias de projeto, com o objetivo de atender as necessidades de projeto da cabine da UNIMAC CANA, que apresenta uma série de inovações e tem como proposta a aplicação de conceitos de ergonomia em seu desenvolvimento, a metodologia que mais se adéqua a essa função é a de CLARK & COLETT. Esses autores propõem, através de sua metodologia, uma fusão entre atributos convencionais de projeto com aspectos ergonômicos a partir da utilização de dados antropométricos e biomecânicos e da análise das demandas da tarefa, em termos físicos e cognitivos.

Segundo CLARK e CORLETT (1984), a ergonomia é considerada como uma parte essencial de bons projetos, não como objeto separado. Implicações ergonômicas devem ser consideradas em todas as fases do projeto, especialmente nos primeiros estágios. Não basta apenas considerar a ergonomia nas etapas finais e no detalhamento, quando todas as decisões

de projeto importantes já foram feitas, pois todas as decisões iniciais de projeto são susceptíveis de ter implicações para os operadores ou pessoal da manutenção.

A Figura 4 ilustra a metodologia desses autores:

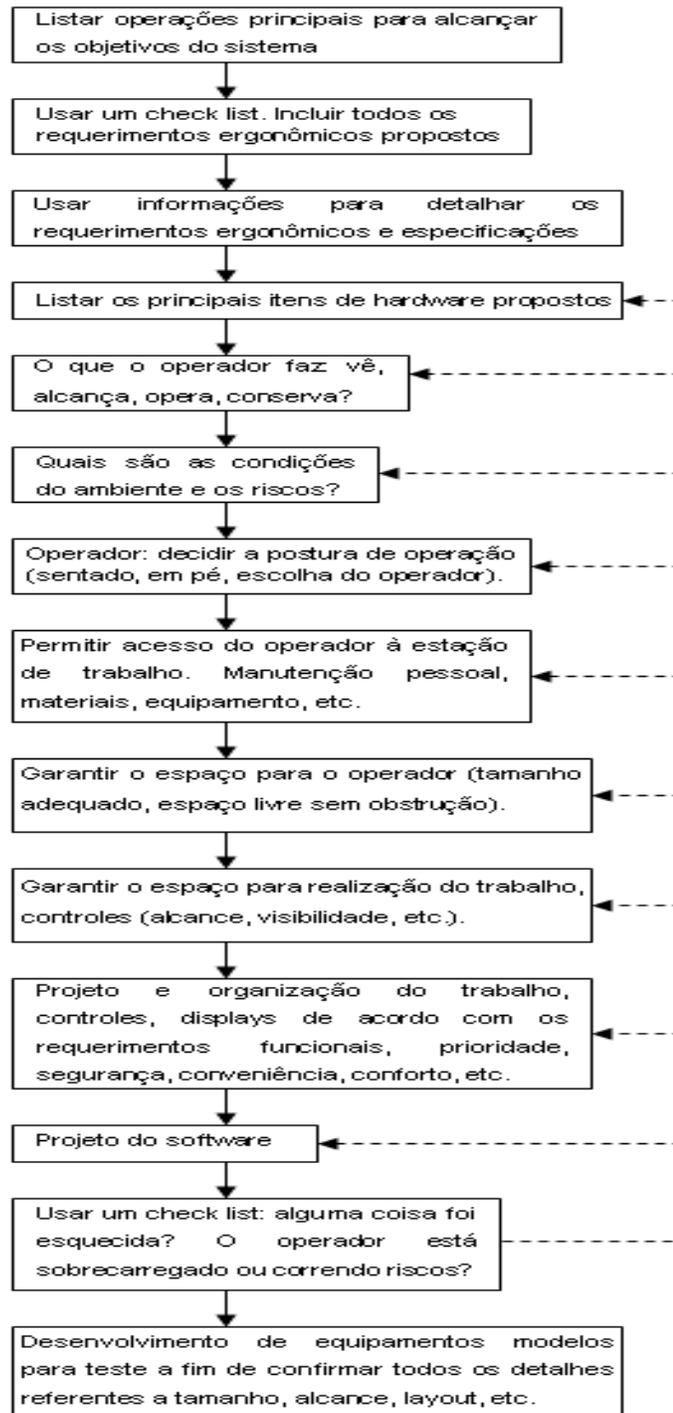


Figura 4 - Metodologia de projeto segundo CLARK e CORLETT (1984).

Esta metodologia apresenta uma seqüência bastante coerente e aplicável para o desenvolvimento de projetos de máquinas que tem a preocupação com aspectos ergonômicos e será usada neste trabalho de pesquisa como uma ferramenta de projeto para a concepção da cabine de controle da UNIMAC CANA. Ela ainda deverá ser empregada em conjunto com simulações do espaço de trabalho e do campo visual do operador, afim de melhor atender as necessidades de projeto e evitar transtornos nas etapas finais.

A metodologia de Clark e Corlett pode ser utilizada como filtro para escolher alternativas de projeto com base nos atributos ergonômicos. Portanto muitas alternativas de projeto devem ser propostas e para isso existem métodos de criatividades.

Entre eles pode-se citar o Método Morfológico que estimula a criatividade através da exploração sistemática de um grande número de possíveis soluções, representadas em forma de um quadro ou matriz, chamado quadro morfológico como mostrado na Tabela 1. Este método, desenvolvido por Fritz Zwicky (DEDINI, 2002), consiste em decompor o problema global em problemas parciais (ou parâmetros do sistema). Estes dados são colocados na primeira coluna do quadro. Em seguida, deve-se mostrar em cada linha o maior número de possíveis alternativas para satisfazer o descrito na primeira coluna. Combinando as soluções de uma linha com todas as soluções de outras linhas, obtém-se um número muito elevado de soluções construtivas para o problema. Evidentemente muitas dessas soluções são inviáveis ou absurdas. Uma exploração sistemática de todas as combinações possíveis permite a concepção de novos grupos e sistemas construtivos (DEDINI, 2002).

TABELA 1 – Esquema do Quadro Morfológico

EVENTO	SOLUÇÕES PARCIAIS (conhecidas ou possíveis)					
1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
2	2.1	2.2	2.3			
3	3.1	3.2	3.3	3.4		
4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	
5	5.1	5.2				
6	6.1					
...	...					

Fonte: DEDINI, 2002

O método morfológico de criatividade pode colaborar neste trabalho na criação de um bom número de alternativas construtivas na concepção da cabine da UNIMAC CANA, assim como em muitas idéias e soluções para seus dispositivos de controle e itens de segurança.

2.3 – Ergonomia

A palavra ergonomia vem do grego: *ergon* = trabalho e *nomos* = legislação, normas. De forma abreviada, a ergonomia pode ser definida como a ciência da configuração de trabalho adaptada ao homem (GRANDJEAN, 1998).

De acordo com LAVILLE (1977), a etimologia do vocábulo não especifica bem o objeto dessa disciplina e este autor a define como sendo o conjunto de conhecimentos a respeito do desempenho do homem em atividade, a fim de aplicá-los à concepção de tarefas, dos instrumentos, das máquinas e dos sistemas de produção.

Segundo IIDA (2005), a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, no entanto, não abrangendo somente aqueles executados com máquinas e ferramentas utilizados para transformar os materiais, mas também toda situação que em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva, envolvendo o ambiente físico e os aspectos organizacionais.

Para o ergonomista francês WISNER (1987), ergonomia é o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficácia. Segundo o autor, a ergonomia se baseia essencialmente em conhecimentos no campo das ciências do homem (antropometria, fisiologia, psicologia, uma parte da sociologia), mas constitui uma parte da arte do engenheiro, à medida que seu resultado se traduz no dispositivo técnico. Ressalta ainda, que além de considerações técnicas, é necessário considerar os dados sociológicos e psicossociológicos que se traduzem no conteúdo e na organização geral da atividade de trabalho como, por exemplo, divisão do trabalho e divisão das tarefas. Alain Wisner realizou uma proposta teórico-metodológica e prática de resolver e tratar os problemas das condições de trabalho a partir da compreensão das atividades dos trabalhadores, isto é, do seu “trabalhar”.

Segundo WISNER (2004), enquanto o objeto da ergonomia britânica e americana é, em primeiro lugar, o equipamento, o da ergonomia francófona é muito mais enigmático, é o trabalho. A constatação fundadora da ergonomia francófona está ligada ao fato que um equipamento pode ter incorporados os melhores conhecimentos oriundos da *Human Factors Science*, e não permitir um trabalho satisfatório à população de trabalhadores que o utilizam. É fato que o trabalho real é para eles diferente do trabalho prescrito ou suposto pelos conceptores. O conjunto da situação de trabalho e dos trabalhadores pode obrigar estes últimos a se comportarem de maneira diferente da prevista. Para conceber um bom dispositivo técnico seria então, necessário, analisar o trabalho.

De acordo com DUL e WEERDMEESTER (2004), além do estudo de cargos e tarefas, a ergonomia estuda vários aspectos como a postura e os movimentos corporais, fatores ambientais (ruídos, vibrações, iluminação, clima, agentes químicos), aspectos cognitivos e informações captadas pela visão, audição e outros sentidos, baseando-se em conhecimentos de áreas científicas como a biomecânica, toxicologia, engenharias, desenho industrial, eletrônica, informática e gerência industrial, desenvolvendo métodos e técnicas específicas para aplicar esses conhecimentos na melhoria do trabalho e das condições de vida.

No ano de 2000 a IEA – *International Ergonomics Association*, após dois anos de discussão, adotou a seguinte definição para a disciplina de ergonomia:

“A ergonomia (ou Human Factors) é a disciplina que visa a compreensão fundamental das interações entre os seres humanos e os outros componentes de um sistema, e a profissão que aplica princípios teóricos, dados e métodos com o objetivo de otimizar o bem-estar das pessoas e o desempenho global dos sistemas. Os profissionais que praticam a ergonomia, os ergonomistas, contribuem para a planificação, concepção e avaliação das tarefas, empregos, produtos, organizações, meios ambientes e sistemas, tendo em vista torná-los compatíveis com as necessidades, capacidades e limites das pessoas.”(IEA, segundo FALZON, 2007).

Ainda segundo a definição da IEA, os ergonomistas que praticam a disciplina da ergonomia, devem ter uma compreensão ampla de seu conjunto, levando em conta fatores físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros. Os campos mais comuns de aplicação que estes profissionais trabalham, citados pela definição, são os seguintes:

- A ergonomia física: trata das características anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas do homem em sua relação com a atividade física. Os temas mais relevantes compreendem as posturas de trabalho, a manipulação de objetos, os movimentos repetidos, os problemas ósteos-musculares, o arranjo físico do postos de trabalho, a segurança e a saúde.
- A ergonomia cognitiva: trata dos processos mentais, tais como a percepção, a memória, o raciocínio e as respostas motoras, com relação às interações entre as pessoas e outros componentes de um sistema. Os temas centrais compreendem a carga mental, os processos de decisão, o desempenho especializado, a interação homem-máquina, a confiabilidade humana, o estresse profissional e a formação, na sua relação com a concepção pessoa-sistema.
- A ergonomia organizacional: trata da otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo sua estrutura organizacional, regras e processos. Os temas mais relevantes compreendem a comunicação, a gestão dos coletivos, a concepção do trabalho, a concepção dos horários de trabalho, o trabalho em equipe, a concepção participativa, a ergonomia comunitária, o trabalho cooperativo, as novas formas de trabalho, a cultura organizacional, as organizações virtuais, o tele trabalho e a gestão pela qualidade.

De acordo com FALZON (2007), a definição adotada pela IEA revela o desenvolvimento da ergonomia e marca uma mudança na visão que a disciplina tem de si mesma, incidindo não somente sobre ela própria, mas também sobre os profissionais que a praticam.

2.3.1 – Histórico da Ergonomia

A preocupação de adaptar os objetos artificiais e o ambiente natural ao homem sempre esteve presente desde os tempos da produção artesanal, não-mecanizada (IIDA, 2005).

De acordo com FALZON (2007), na idade média, Armanda de Villeneuve se interessou pelas condições de trabalho e, em particular, pelos fatores ambientais, tais como calor, a umidade, as poeiras, as substâncias tóxicas, para os vidreiros, ferreiros, fundidores, tintureiros, e a iluminação e o sedentarismo para os notários.

Ainda segundo FALZON (2007), na renascença, o médico italiano Ramazzini descreveu relação entre problemas de saúde e condições de trabalho em 52 ocupações, entre elas, as doenças venéreas nas parteiras, as úlceras nas pernas e a hipertermia nos mineiros, o

rompimento de pequenos vasos da garganta nos cantores e problemas visuais nos ourives. No começo do século XIX, Patissier foi além da proteção estritamente individual preconizando proteções nas máquinas (blindagem para esmeril) e desenvolvendo pesquisas técnicas para conceber máquinas que diminuíssem os trabalhos pesados e perigosos (máquinas de lavar para as lavadeiras).

Depois veio Villermé que, segundo FALZON (2007), em 1832, foi encarregado pela Academia das Ciências Morais e Políticas de fazer um relatório sobre as condições de vida da classe operária. Ele percorreu indústrias da França e da Suíça observando, interrogando, estudando postos de trabalho e registrando as operações efetuadas e as condições nas quais elas eram executadas. Ampliou o campo das condições de trabalho aos horários, aos salários ligados ao rendimento, aos adiantamentos sobre salários e ao abuso destes. Procurou saber como viviam os operários, como era sua habitação e alimentação. Interessou-se pelos fenômenos coletivos através do estudo das taxas de mortalidade por classe social e por ocupação.

De acordo com IIDA (2005), na Europa, principalmente na Alemanha, França e países escandinavos, por volta de 1900 começaram a surgir pesquisas na área de fisiologia do trabalho, na tentativa de transferir para o terreno prático os conhecimentos de fisiologia gerados em laboratório e na Inglaterra, durante a I Guerra Mundial (1914-17), fisiologistas e psicólogos foram chamados para colaborar no esforço de aumentar a produção de armamentos, com a criação da Comissão de Saúde dos Trabalhadores na Indústria de Munições, em 1915.

No século XX a industrialização continuou a se desenvolver e apoiou-se como anteriormente (séculos XVIII e XIX) em inovações tecnológicas; mas surgiram esforços específicos de organização para uma racionalização e uma otimização científica do trabalho: o taylorismo, o fordismo, o estudo dos tempos e movimentos (Gilbreth, Barnes) e, mais tarde, a organização hierárquica dos empregados (Weber, Fayol) e o movimento das relações humanas (Mayo). Ocorreram então diferentes manifestações de oposição de operários, sobretudo em relação à cronometragem (FALZON, 2007).

A ergonomia, como disciplina específica, desenvolveu-se durante a II guerra mundial (1939-45). Pela primeira vez, houve uma conjugação sistemática de esforços entre a tecnologia, ciências humanas e biológicas para resolver problemas de projeto. Médicos,

psicólogos, antropólogos e engenheiros trabalharam juntos para resolver os problemas causados pela operação de equipamentos militares complexos (WEERDMEESTER e DULL, 2004).

Segundo IIDA (2005) a ergonomia tem uma data oficial de nascimento: 12 de julho de 1949. Nesse dia, reuniram-se, pela primeira vez, na Inglaterra, um grupo de cientistas e pesquisadores interessados em discutir e formalizar a existência desse novo ramo de aplicação interdisciplinar da ciência. Na segunda reunião desse mesmo grupo, ocorrida em 16 de fevereiro de 1950, foi proposto o neologismo ergonomia. De acordo com IIDA, esse termo já tinha sido anteriormente usado pelo polonês Woitej Yastembowsky (1857) que publicou um artigo intitulado “Ensaio de ergonomia ou ciência do trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência sobre a natureza”, mas foi só a partir da fundação, no início da década de 50, da *Ergonomics Research Society*, na Inglaterra, que a ergonomia se expandiu no mundo industrializado.

WISNER (2004) menciona que o termo ergonomia foi usado oficialmente na Grã-Bretanha em 1947 pelo engenheiro Murrell, com a colaboração do fisiologista Floyd e do psicólogo Welford. O objetivo era denominar as atividades que estes três pesquisadores e seus colaboradores desenvolveram em conjunto durante a Segunda Guerra Mundial a serviço da Defesa Nacional Britânica. Segundo este autor, somente em meados dos anos 50 do século passado a ergonomia apareceu na França. A sua institucionalização aconteceu no início dos anos 60, tanto é que ao ser criado, em 1954, o primeiro laboratório na indústria francesa, o termo ergonomia era desconhecido. Este laboratório foi denominado como “Estudos Fisiológicos”.

Apesar de o termo ergonomia ter sido adotado nos principais países europeus, onde se fundou a Associação Internacional de Ergonomia, que realizou seu primeiro congresso em Estocolmo, em 1961, nos Estados Unidos o termo mais usual desde que foi criada a *Human Factors Society* em 1957, até hoje, continua sendo *Human Factors* (Fatores Humanos), embora ergonomia já seja aceito como sinônimo (IIDA, 2005).

De acordo com LAVILLE (1977), na Europa ocidental, as abordagens ergonômicas a respeito do trabalho são antigas, mas deve-se aos ingleses a origem tanto do termo como do conteúdo da ergonomia, enquanto disciplina autônoma. Segundo este autor, na França, ela se desenvolveu principalmente nos setores de pesquisa e ensino público, depois foi

progressivamente atingindo os setores industriais estatais e já começa a penetrar no setor privado. Na Inglaterra, assim como na Bélgica, Suíça, Holanda e nos países nórdicos, inicialmente o ensino e a pesquisa localizaram-se em menor escala no setor público. O aspecto da higiene industrial é um elemento importante em todos esses países e são justamente os problemas industriais que lhe fornecem o campo de aplicação e os temas de pesquisa. Nos Estados Unidos, a ergonomia se desenvolveu principalmente no domínio da tecnologia do homem no trabalho, criando-se uma corrente de pesquisa e aplicação que se costuma normalmente chamar de *Human Engineering* e que alcançou grandes progressos no âmbito militar e, depois, no espacial.

Segundo LIMA e MARÇAL FILHO (2004), o desenvolvimento da ergonomia no Brasil foi muito influenciado pela ergonomia da atividade, praticada nos países de língua francesa. “Compreender o trabalho para transformá-lo” é a perspectiva sustentada pela ergonomia da atividade, que foi desenvolvida nos países de língua francesa desde os meados dos anos 60, e difundida entre nós por Alain Wisner a partir dos anos 70, graças à formação de mestres e doutores em ergonomia e por meio de suas freqüentes viagens ao Brasil.

Atualmente no Brasil, além da ergonomia da atividade, estudos montados na perspectiva da ergonomia dos fatores humanos (Human Factors) estão sendo feitos por profissionais da área de projeto (designers, arquitetos, engenheiros de produto e de produção) e da área de saúde (terapeutas ocupacionais, médicos do trabalho, engenheiros de segurança). Portanto, estudos laboratoriais com recursos informatizados e simuladores de postos de trabalho em máquinas e ambientes laborais estão sendo realizados.

2.3.2 – Ergonomia e Projeto

Alguém que deseje projetar ou adquirir uma máquina, normalmente irá buscar, nos diversos ramos da engenharia, informações sobre matérias, estruturas, tolerâncias, forças e capacidade de diferentes componentes, e o modo de combiná-las para uma tarefa específica.

No entanto, em relação às pessoas que operarão essas máquinas, é comum se confiar no bom senso, sem comparar seus resultados com informações mais exatas sobre as capacidades mentais e físicas do ser humano. Conseqüentemente, ainda não se utilizou o extenso corpo de conhecimentos adquiridos em estudos científicos sobre as pessoas comuns

em situações de trabalho. Estes conhecimentos podem ser aplicados ao planejamento de processos e máquinas, à disposição espacial dos locais de trabalho, aos métodos de trabalho, e ao controle do ambiente físico, para se alcançar maior eficiência tanto dos homens, como das máquinas (PALMER, 1976).

De acordo com DUL e WEERDMEESTER (2004), um princípio importante na aplicação da ergonomia é que os equipamentos, sistemas e tarefas devem ser projetados para o uso coletivo. Sabendo-se que há diferenças individuais em uma população, os projetos, em geral devem atender a 95% dessa população. Isso significa que há 5% dos extremos dessa população (indivíduos muito gordos, muito altos, muito baixos, mulheres grávidas, idosos ou deficientes físicos), para os quais os projetos de uso coletivo não se adaptam bem. Nesses casos, é necessário realizar projetos específicos para essas pessoas.

Segundo WISNER (1987), a contribuição ergonômica, de acordo com a ocasião em que é feita, é classificada em ergonomia de concepção, de correção e de mudança.

A ergonomia de concepção permite agir precocemente sobre a máquina, a oficina e até sobre a fábrica quando se trata apenas de especificação dos produtos, do primeiro projeto. Tal modo de ação é muito eficaz e de baixo custo, mas exige do ergonomista uma experiência considerável, para evitar que ele deixe passar um inconveniente grave ou até mesmo o crie.

A ergonomia de correção, por outro lado, segundo o autor, responde diretamente a anomalias que se traduzem por problemas na segurança e no conforto dos trabalhadores ou na insuficiência da produção, em qualidade e em quantidade. É uma situação em que a ação do ergonomista aparecerá claramente, com seus sucessos e seus limites. Poder-se-á conhecer exatamente a situação anterior e posterior, através de medidas físicas de ambiente, fotografias de posturas, opiniões dos trabalhadores, características dos trabalhadores. O custo das modificações é, em geral, elevado e freqüentemente retirado do orçamento destinado às condições de trabalho.

Finalmente, de acordo com WISNER (1987), a ergonomia de mudança permite freqüentemente reunir as vantagens das outras duas modalidades de intervenção, sem seus inconvenientes. Na empresa, tudo muda sem que o visitante ocasional o perceba. Diminui-se ou aumenta-se o volume de produção devido às variações de mercado, renovam-se as máquinas, reformam-se os edifícios. Todas essas mudanças podem ser ocasião para uma mudança das condições de trabalho. Neste caso, como também para a ergonomia de correção,

se conhecerá bem a situação, antes e depois, mas o custo será contabilizado dentro do orçamento geral destinado aos trabalhos necessários e não exclusivamente àquele destinado às condições de trabalho. As soluções serão às vezes tão radicais como as da ergonomia de concepção, mas estarão assentadas em bases muito mais realistas.

Segundo PALMER (1976), a aplicação ideal da ergonomia considera o homem como parte integrante de um sistema, no qual, desde o estágio inicial do projeto, as características do operador humano são levadas em conta, juntamente com os componentes mecânicos. Isto quer dizer, que o homem é melhor para determinados fins tais como na tomada de decisões, e a máquina para outros, como, por exemplo, na aplicação de força. O projetista deve partir destes princípios, alocando numa base sistemática a relação requerida entre o homem e a maquinaria. Frequentemente, de acordo com o autor, uma aplicação envolve modificações na máquina ou no local de trabalho. Em qualquer dos casos, contudo, o ergonomista tem diante de si as tarefas de estudar a ocupação, a fim de determinar o que o operador terá que fazer. Considerar em primeiro lugar aquilo que o operador tem que ver e ouvir, para se informar das condições da máquina e do material (o que se chama de mostrador), em segundo lugar, os controles, isto é, todas as partes sobre as quais o operador exerce força muscular, a fim de modificar o estado da máquina, e, finalmente, em terceiro lugar, o ambiente de trabalho, isto é, as condições de temperatura, de luz, nível de ruído, entre outros, sob os quais o serviço terá que ser executado.

Normalmente para se estudar uma determinada ocupação ou situação de trabalho, o ergonomista utiliza a ergonomia da atividade que constitui sua legitimidade a partir da análise do trabalho. Mas segundo DANIELLOU (2007), em concepção, o trabalho que é objeto da intervenção do ergonomista não existe ainda, portanto, a atividade não pode ser analisada. Em consequência, para intervir em concepção, o ergonomista precisa mobilizar métodos de abordagem da atividade futura, distintos do trabalho real. A atividade singular de um operador particular que utilizará o sistema não pode, evidentemente, ser prevista em detalhe, mas é verdade que as escolhas de concepção abrem e fecham inúmeras possibilidades à atividade futura.

O desafio da abordagem da atividade futura não é, portanto, prever em detalhe a atividade que se desenvolverá no futuro, mas prever o espaço das formas possíveis de atividade futura, ou seja, avaliar em que medida 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. É desejável que a concepção torne possíveis vários modos operatórios para melhor considerar a diversidade e a variabilidade das situações e dos operadores, possibilitando esses a alternar os modos operatórios, evitando assim solicitar constantemente os mesmos grupos musculares. Pode ser igualmente desejável que a concepção torne impossíveis certos modos operatórios por causa dos riscos que apresentariam.

A abordagem da atividade futura é assim uma previsão das margens de manobra que a concepção abre aos modos operatórios futuros, e um prognóstico quanto às diferentes formas de custo que estes podem comportar.

À medida que as hipóteses de soluções técnicas vão sendo emitidas, é possível ir introduzindo simulações que permitam prever as principais características do trabalho futuro.

De acordo com DANIELLOU (2002), três condições são necessárias para a realização das simulações:

- Que haja um recenseamento de situações características efetuadas em locais de referência;
- Que existam suportes que representem as futuras instalações (plantas, maquetes, protótipos, software de simulação);
- Que pessoas com competências diversas participem da simulação, principalmente pessoas que tenham competências semelhantes às dos futuros operadores de produção e de manutenção.

Além do estudo da atividade futura e das simulações, os ergonomistas devem incluir na concepção normas vigentes quanto a dispositivos técnicos e segurança do trabalho, além de princípios da biomecânica e antropometria.

Segundo DUL e WEERDMEESTER (2004), esses princípios são importantes para formular as recomendações para os ergonomistas sobre a postura e o movimento.

No estudo da biomecânica, aplicam-se as leis físicas da mecânica ao corpo humano, assim pode-se estimar as tensões que ocorrem nos músculos e articulações durante uma postura ou um movimento. Os princípios mais importantes da biomecânica para a ergonomia de acordo com esses autores são os seguintes: As articulações devem ocupar uma posição neutra, evitando braços erguidos, pernas levantadas, cabeça abaixada e tronco inclinado; Pesos devem ser conservados próximos ao corpo, pois afastados aumentam a tensão nas costas;

Evitar curvar-se para a frente, inclinar a cabeça a mais de 30 graus para frente, torcioniar o tronco e realizar movimentos bruscos que produzem picos de tensão; Alternar posturas e movimentos; Restringir a duração de esforço muscular contínuo; Prevenir a exaustão muscular com pausas curtas e freqüentes.

Com relação à antropometria, de acordo com Minette e Morais (citados por FONTANA, 2005), as medidas antropométricas permitem verificar o grau de adequação de produtos em geral, quando se utiliza qualquer ferramenta ou instrumento. Quando equipamentos ou máquinas se adaptam adequadamente ao organismo, sob o ponto de vista dimensional, os erros, os acidentes, o desconforto e a fadiga diminuem sensivelmente.

Segundo IIDA (2005), todas as populações humanas são compostas de indivíduos de diferentes tipos físicos ou biótipos e pequenas diferenças nas proporções de cada segmento do corpo existem desde o nascimento e tendem a acentuar-se durante o crescimento, até a idade adulta.

De acordo com Silva (citado por FONTANA, 2005), deve-se ter o cuidado de não se projetar para a média da população, supondo estar se projetando para a maioria. Segundo IIDA, 2005, uma pessoa média ou padrão é uma abstração matemática obtida por medidas quantitativas, logo poucas pessoas podem ser enquadradas nesta qualificação.

Panero e Zelnik (citados por FONTANA, 2005) explicam que os dados antropométricos são expressos em percentis, que por sua vez, significam a proporção da população cuja medida é inferior a um determinado valor. Um percentil de 90% indica que uma variável possui magnitude igual ou inferior a este valor, e que os 10% restantes correspondem aos extremos superior e inferior da referida variável. Assim, para viabilizar o projeto ergonômico, uma pequena percentagem populacional não deve ser considerada, a qual representa características dimensionais extremas.

Segundo DUL e WEERDMEESTER (2004), em um projeto com bases ergonômicas é fundamental usar tabelas antropométricas adequadas, que apresentam as dimensões do corpo e alcance dos movimentos de determinada população concernente ao produto em concepção e considerar as diferenças individuais do corpo.

Um exemplo de ferramenta para essa finalidade é o ERGOKIT, produzido pelo INT (Instituto Nacional de Tecnologia), que foi desenvolvido com o objetivo de otimizar a utilização dos dados obtidos em pesquisas, bem como orientar sua correta aplicação, por

arquitetos, engenheiros, desenhistas industriais, ergonomistas e outros profissionais que atuam nas áreas de avaliação de situações de trabalho e projeto de produto. Os dados antropométricos foram levantados com base na população brasileira masculina e feminina em quatro organizações: PEA, TELERJ, SERPRO, EXÉRCITO.

- PEA: amostra para dados antropométricos é de 3100 homens, representantes da População Economicamente Ativa. Os indivíduos amostrados, de 18 a 65 anos, são operários de 26 empresas pertencentes aos setores industriais de alimentos e bebidas, editorial e gráfico, elétrico e de comunicações, farmacêutico, mecânico, metalúrgico, minerais não metálicos, plásticos, químico, têxtil, transporte, e vestuário.
- SERPRO: perfil antropométrico de população de digitadores (amostra de 203 homens e outra de 202 mulheres, de 18 a 54 anos).
- TELERJ: 64 telefonistas do Setor de Auxílio à Lista da TELERJ
- EXERCITO: dados antropométricos da população militar do Exército (1080 militares).

A partir das bases biomecânicas e antropométricas, pode-se, portanto, adequar o projeto de máquinas, equipamentos, cabines ou postos de trabalho às posturas do operador, tanto em pé, como sentado, assim como as mudanças de posturas, movimentos e carregamentos de cargas, além de alcance e configuração de controles em painéis e campo visual de operação.

Além destes aspectos, um bom projeto de concepção com base ergonômica deve ainda abranger fatores sensitivos e cognitivos de entrada e saída de informações em operações de controle, assim como fatores ambientais e de organização do trabalho.

De acordo com IIDA (2005), os fatores ambientais abrangem temperatura e conforto térmico, ruído, vibrações, exposição a agentes químicos, iluminação e características de cores e os fatores de organização do trabalho englobam humanização do trabalho, stress no trabalho, seleção e treinamento, alocação do trabalho em equipe e finalmente, trabalho noturno.

Neste trabalho de pesquisa a metodologia adotada foi a de Clark e Corlett de 1984, não contemplando uma análise da atividade futura, mas adotando princípios biomecânicos e realizando simulações com medidas antropométricas de uma amostra da população usuária através de software específico (ERGOKIT). Portanto, não houve a participação de pessoas que têm competência semelhante às dos futuros operadores da máquina para a realização de simulações, mas sim as informações antropométricas obtidas através do software que contém

uma amostra da população suficientemente grande para representar os possíveis futuros operadores da cabine de controle da UNIMAC CANA e a partir destes dados, configurados manequins. Foi também utilizado software específico para simulação, com esses manequins inseridos dentro do posto de trabalho, auxiliando no dimensionamento da cabine e verificando zonas de alcance do usuário em relação a dispositivos de controle.

2.3.3 – Ergonomia em Máquinas Agrícolas

A mecanização da agricultura tem dois grandes objetivos, aumentar a produtividade e tornar o trabalho agrário menos árduo e mais atraente (BARGER et al., 1963).

Segundo estes autores, o homem como fonte geradora de energia é muito pouco eficaz. Está limitado a cerca de 0.1 hp de trabalho contínuo e, portanto, quase nada vale como fonte primária de potência. Se o agricultor quiser receber uma recompensa adequada pelo seu trabalho, precisa ser um produtor eficiente. Todo trabalho rural está, de um modo ou de outro, ligado à energia e as suas aplicações.

De acordo com SILVEIRA (1988), o trator é um equipamento agrícola essencial. Trata-se de uma unidade móvel de potência, formada basicamente por um motor, um sistema de transmissão, um de direção e um de locomoção. O trator empregado para fins agrícolas é constituído de modo a se adaptar às mais diversas condições oferecidas pelas múltiplas funções que exerce. Deve possuir boa manobrabilidade, ser de fácil manejo, proporcionar comodidade e segurança para o operador, visibilidade ampla em todas as direções, engate e desengate simples e rápido dos implementos, manutenção fácil, boa proteção das peças e dispositivos usados e deve ser bastante resistente, uma vez que sua utilização ocorre em condições adversas, ou seja, ao ar livre.

Para BARGER et al. (1963) o trator agrícola é um veículo complexo empregado para impelir ou fornecer força estacionária para uma larga variedade de implementos de produção agrícola. A utilização de implementos, portanto, exerce influência considerável na concepção do trator e o projetista deve bem conhecer os requisitos dos implementos para pesar apropriadamente tais fatores de projeto, como o espaçamento da sementeira, a distância entre eixos, a bitola do trator, a relação peso e potência, a distribuição de peso, assim como prover a disposição dos controles de forma a satisfazer a maioria das operações.

Segundo Silveira (citado por ROZIN, 2004) os tratores agrícolas são classificados de acordo com o sistema de locomoção em tratores de pneus e rodas, podendo ser de duas rodas, onde se encontram os tratores de rabiça, motocultivadores e cultivadores motorizados e os tratores de quatro rodas, também conhecidos como tratores convencionais, e os tratores de esteiras. O autor também classifica os tratores agrícolas de acordo com a tração e de acordo com o chassi. Estes podem ser com tração em duas rodas, tração dianteira auxiliar e tração nas quatro rodas e com chassis articulados ou rígidos, tanto para tratores agrícolas como para florestais.

De acordo com SILVEIRA (1988), a Associação Nacional dos fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, utiliza um critério que classifica os tratores agrícolas em faixas de potência bruta do motor, sendo que os tratores leves tem potência até 49 cv, os médios de 50 à 99 cv e os pesados acima de 100 cv. Essa classificação leva em conta a diversidade de serviços e condições de trabalho no meio rural.

Segundo ROZIN (2004), no Brasil, a evolução das técnicas agrícolas, refletidas na diminuição dos custos de produção e no aumento da produtividade, obrigou a indústria de máquinas agrícolas a se adequar a realidade de nossa agricultura, desenvolvendo produtos com maior eficiência e qualidade, seguindo as tendências de evolução registradas em diversos países. Esse aprimoramento de acordo com Silveira (citado por ROZIN, 2004), se refletiu no melhor desempenho dos motores, na redução do custo por hectare, na ampliação das opções de velocidades, propiciando maior versatilidade, adequação ao trabalho, redução do custo operacional e no consumo de combustível, bem como na redução do tempo de execução de tarefas e numa maior capacidade do sistema hidráulico de levantamento por três pontos. Secundariamente, segundo o autor, aparecem os itens relacionados com o conforto e a segurança do operador que opera esta máquina, embora uma atenção crescente esteja sendo atribuída para estes itens na atualidade.

SILVEIRA (1988) relata que na escolha de uma máquina agrícola não se deve avaliar somente a potência, o consumo, o torque e outros aspectos ligados ao desempenho do equipamento, mas também a segurança e o bem-estar de quem vai operá-lo pois o rendimento de um trabalho depende diretamente das condições em que ele é realizado.

Segundo Márquez e Schollosser (citados por FONTANA, 2005), operar um trator agrícola pode ser uma tarefa árdua, se forem consideradas todas as limitações e adversidades

presentes no ambiente de trabalho agrícola. O operador desta máquina trabalha num ambiente que pode ser afetado por uma série de fatores oriundos da própria máquina e do meio ambiente, como os ruídos, as vibrações, as poeiras, a temperatura, a umidade e a iluminação.

De acordo com Liljedahl et al. (citados por FONTANA, 2005), os fatores humanos, quando corretamente incorporados no projeto, permitem que o operador faça uma grande quantidade de tarefas complexas com eficiência, segurança e um mínimo de fadiga. Em geral os fatores humanos contemplam itens como conforto, visibilidade, adequação da temperatura, minimização dos ruídos e vibrações e localização e distribuição adequada dos comandos de operação.

Witney (citado por FONTANA, 2005), argumenta que o operador interage com a máquina de duas formas principais: primeiro ele recebe as informações do painel e o desempenho da máquina e, depois, reage a essas informações. Portanto, segundo o autor, o projeto adequado do trator agrícola colabora para a diminuição da carga física e mental do operador, significando uma redução das possibilidades de ocorrência de acidentes e um melhor rendimento do trabalho. Assim, o dimensionamento adequado do assento e dos comandos de operação, bem como a correta localização destes, aumenta a segurança e a eficiência na operação do trator, diminuindo o tempo de reação às diferentes situações que se sucedem durante a jornada de trabalho.

Outro aspecto importante no projeto de tratores, segundo Robin e Márquez (citados por FONTANA, 2005), é o posicionamento e as características das vias de acesso ao posto de operação do trator agrícola, esses podem ser causas de inúmeros acidentes, principalmente quando não se dispõe de estribos e corrimões para o uso do tratorista. Segundo os autores, os aspectos que assumem maior importância sob o ponto de vista ergonômico são os acessos e as dimensões do posto de operação, bem como o posicionamento dos órgãos de comando.

2.3.4 – Ergonomia em projeto de cabines de máquinas agrícolas

De acordo com Witney, Márquez, Liljedahl, Yadav e Tewari (citados por DEBIASI et al., 2004), quando a operação de tratores agrícolas não se constituir em um sistema homem-máquina eficiente, o operador é exposto a uma elevada carga física e mental. Isto resulta numa

redução da eficiência do mesmo (produtividade e qualidade do trabalho), aumentando a ocorrência de erros, acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais.

Segundo Robin, Iida, Márquez, Berasategui, Schlosser et al., Yavad e Tewari (citados por ROZIN, 2004), durante o seu trabalho, o operador do trator agrícola fica exposto a fatores ambientais que influem diretamente no seu rendimento e na sua segurança, como a posição do corpo no acesso aos comandos e alavancas, condições climáticas como as temperaturas extremas, radiação solar, problemas de ventilação e umidade, nível de intensidade sonora produzida pelo motor e ou transmissão do trator, partículas suspensas no ar como poeiras, gases e produtos químicos, vibração do assento causada pela máquina e pelas irregularidades do terreno. Para esses autores, quando esses fatores ultrapassam os limites de tolerância permitidos para o corpo humano, podem causar danos à saúde e à segurança do operador, prejudicando a eficiência de trabalho e aumentando o risco de ocorrência de acidentes.

Portanto, segundo Márquez, Schlosser, Febo e Pessina (citados por DEBIASI et al., 2004), é importante que as condições ambientais no posto de operação dos tratores agrícolas sejam controladas. Nesse sentido já foram desenvolvidos sistemas que permitem isolar, pelo menos parcialmente, o operador do calor produzido pelo motor e pela transmissão, bem como daquele oriundo dos raios solares (toldo solar efetivo). Porém, o controle mais efetivo é, sem dúvida, aquele proporcionado por uma cabine. As cabines, relatam os autores, colaboram ainda para a redução dos níveis de ruído, vibrações e substâncias estranhas presentes no ar.

A cabine de uma máquina agrícola é o posto ou estação de trabalho do operador desta máquina e de acordo com Menezes (citado por SILVA, 2007) tem a seguinte definição: É o espaço formado pelo conjunto de dispositivos e informações de controles, mais o espaço gerado pelo deslocamento do operador ou de seus membros na execução de uma tarefa.

Segundo IIDA (2005), existe, basicamente, dois enfoques para analisar o posto de trabalho: o tradicional e o ergonômico. O enfoque tradicional é baseado nos princípios de economia dos movimentos, de orientação nitidamente taylorista e o enfoque ergonômico é baseado principalmente na análise biomecânica da postura. De acordo com o autor, o enfoque tradicional, embora seja criticado por ser pouco científico, ainda é importante por ser bastante utilizado na prática. Naturalmente, ele pode ser aperfeiçoado com os conhecimentos atuais da ergonomia.

O enfoque tradicional do posto de trabalho baseia-se no estudo dos movimentos corporais necessários para executar um trabalho e na medida do tempo gasto em cada um desses movimentos enquanto que o enfoque ergonômico tende a desenvolver postos de trabalho que reduzam as exigências biomecânicas, procurando colocar o operador em uma boa postura de trabalho, os objetos dentro dos alcances dos movimentos corporais e que haja facilidade de percepção de informações. Ou seja, no enfoque ergonômico, o posto de trabalho deve envolver o operador como uma “vestimenta” bem adaptada, em que ele possa realizar o trabalho com conforto, eficiência e segurança (IIDA, 2005).

Neste trabalho, uma análise do posto de operação da cabine de controle da UNIMAC CANA utilizando o enfoque ergonômico será o mais conveniente, já que a sua concepção deverá seguir parâmetros da ergonomia e da segurança do trabalho. Os vários sub capítulos a seguir tem como objetivo servirem de referência normativa e recomendações para execução da concepção da cabine supracitada com estes parâmetros.

De acordo com o relatório técnico coordenado por CORRÊA (2002), a primeira “impressão” de segurança que se tem no trator é a que aparece no acesso ao seu posto de operação.

2.3.4.1 – Acesso ao posto de operação

Para subir no trator é preciso erguer uma das pernas em direção ao primeiro degrau, buscando, simultaneamente com a(s) mão(s), o apoio de manipulo(s). A seguir, com o pé e mãos apoiados, o corpo é impulsionado para alcançar o posto de operação. Nessa passagem, os pontos ligados à segurança e conforto do operador são as dimensões e configurações dos degraus, a presença de manípulos e o tipo de posto de operação. Se o degrau for muito alto, estreito demais e, se não houver apoio adequado para as mãos, isso certamente, dificultará a subida no trator favorecendo uma situação de insegurança (CORRÊA, 2002).

Segundo o mesmo relatório, a norma ABNT de 1999 estabelece que os acessos com mono ou multidegraus devem ter largura igual ou superior a 200 mm, altura do 1º degrau de no máximo 550 mm e apresentar batente vertical de ambos os lados.

De acordo com ROZIN (2004), as normas NBR ISO 4254-1 e NBR ISO 4252 ditam que a altura do primeiro degrau em relação ao solo não deverá ultrapassar 550 mm, sendo que

a dimensão ideal é de 500 mm. A profundidade e a largura dos degraus deverão ser no mínimo de 150 mm e 200 mm respectivamente. A distância vertical do último degrau até a soleira da plataforma do trator deverá ser no máximo de 300 mm para os acessos na configuração multidegraus e de 350 mm para o acesso na configuração monodegrau e a distância vertical entre degraus deve ser no máximo de 300 mm. Além disso, estabelece que os degraus devem ter superfície anti-deslizante e um batente vertical em ambos os lados.

Para Robin (citado por SILVA, 2007), as dimensões dos degraus, a distância entre eles e a altura do primeiro degrau ao solo e do último à plataforma da máquina devem ser projetados de acordo com as variáveis antropométricas dos operadores.

De acordo com CORRÊA (2002), uma das características recomendáveis é que os degraus estejam colocados num plano verticalmente inclinado, isto é, com degraus deslocados horizontalmente. Esta configuração permite ao operador acessar e sair do posto de operação voltado de frente para os degraus, o que é mais seguro, evitando também, batidas dos membros inferiores contra a lateral da superfície do posto de operação.

Segundo Arbetsmiljainstitutet (citado por SILVA, 2007), os degraus devem ser desenhados e posicionados de forma a não serem atingidos e danificados durante a operação da máquina. O ideal, de acordo com o autor, é que os degraus de acesso a máquina retraiam automaticamente para uma posição segura durante a movimentação.

Marquez (citado por ROZIN, 2004), recomenda a colocação de corrimões nos acessos à máquina e que os pedais não devem estar posicionados de maneira que dificulte ou obstrua o acesso do tratorista ao posto de operação do trator. Também recomenda que as portas de acesso ao posto de operação devem ser bem desenhadas, de modo a propiciar uma boa abertura, sem bloquear o acesso do operador ao seu posto de trabalho.

Em seu estudo, RUSSO et al. (1988) tomaram como base as normas técnicas espanholas UNE 68 – 046 de dezembro de 1983 e UNE 68 – 047 de junho de 1984 e segundo essas normas, apresentaram as dimensões mínimas de acesso às cabines em máquinas agrícolas conforme Figura 5 e Tabela 2:

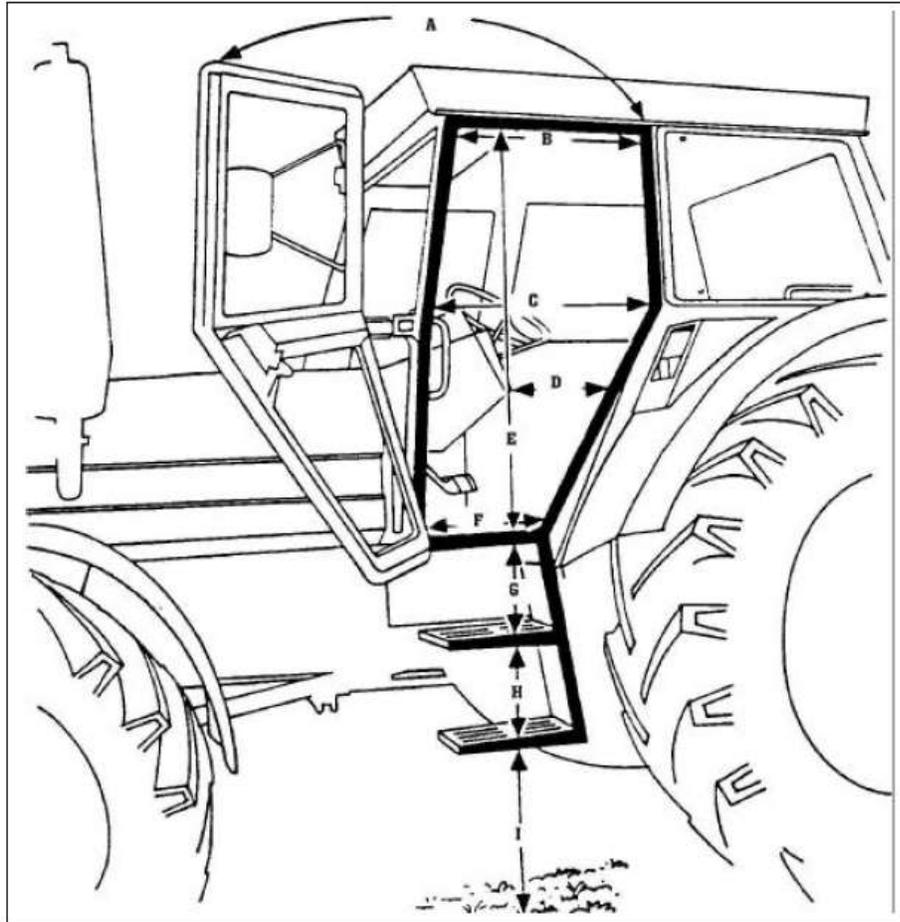


Figura 5 - Acesso à cabine de máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998, pg.12)

Tabela 2 - Medidas Norma UNE

MEDIDAS	NORMA UNE (mm)
A	120°
B	670
C	750
D	450
E	1330
F	270
G	285
H	285
I	550

Fonte: RUSSO et al., 1998

2.3.4.2 – Características dimensionais da cabine

Segundo Arbetsmiljainstitutet (citado por SILVA, 2007), o correto dimensionamento do posto de trabalho deve permitir que, dentro da cabine, haja espaço suficiente, de modo que pelo menos 95% dos operadores, dependendo de sua compleição física e seu peso, possam adotar posições de trabalho confortáveis e dispor de lugares para pertences pessoais. O autor sugere que cabines muito largas também causam problemas e podem prejudicar a perfeita visão de tudo que é necessário para que o operador realize o seu trabalho. Para evitar a fadiga, o operador deve ser capaz de se sentar com conforto, adotando uma postura correta, principalmente com relação ao uso de músculos e juntas. Devem ser evitadas torções, abaixamentos e outros movimentos desconfortáveis.

De acordo com Berasategui (citado por ROZIN, 2004), um posto de operação bem projetado é aquele que cumpre o objetivo de organizar o local de trabalho em concordância com a natureza do operador e com a sua segurança, ou seja, um posto ergonômico.

Silveira (citado por ROZIN, 2004), ressalta que o projeto ergonômico do posto de operação otimiza o acesso aos instrumentos de controle, permitindo ao tratorista escolher a melhor posição para a visão dos implementos.

Para Yavad e Tewari (citados por ROZIN, 2004), o posto de operação dos tratores modernos, é constituído de um arranjo completo entre o assento, as suspensões, a localização dos controles e os requisitos para sua instrumentação, além de permitir o conforto e a comodidade dos movimentos do operador, possibilitando um cômodo e ininterrupto acesso a todos os comandos do posto de operação.

Sanders e McCormick (citados por ROZIN, 2004), relatam que a inserção de uma cabine deve permitir ao operador uma boa visão do caminho e do tráfego no ambiente de trabalho, a partir de sua posição sentada. Os principais aspectos envolvidos, segundo os autores, são a altura do assento, a largura e o ângulo do encosto, o ajuste para a frente e para cima do assento, o espaço livre entre as pernas e o joelho, a localização dos controles de mãos e pés e o campo visual.

De acordo com IIDA (2005), diversos fatores devem ser considerados no correto dimensionamento do posto de trabalho, como postura adequada do corpo, movimentos corporais necessários, alcances dos movimentos, antropometria dos ocupantes do cargo,

necessidades de iluminação, ventilação, dimensões das máquinas, equipamentos e ferramentas e interação com outros postos de trabalho e o ambiente externo.

Neste trabalho, para uma melhor ilustração, é apresentada a Figura 6 conjuntamente com a Tabela 3 de acordo com as normas espanholas UNE 68 – 046 de dezembro de 1983 e UNE 68 – de junho de 1984 mencionadas por RUSSO et al., 1998, em seu trabalho de pesquisa para o dimensionamento dos habitáculos em máquinas agrícolas:

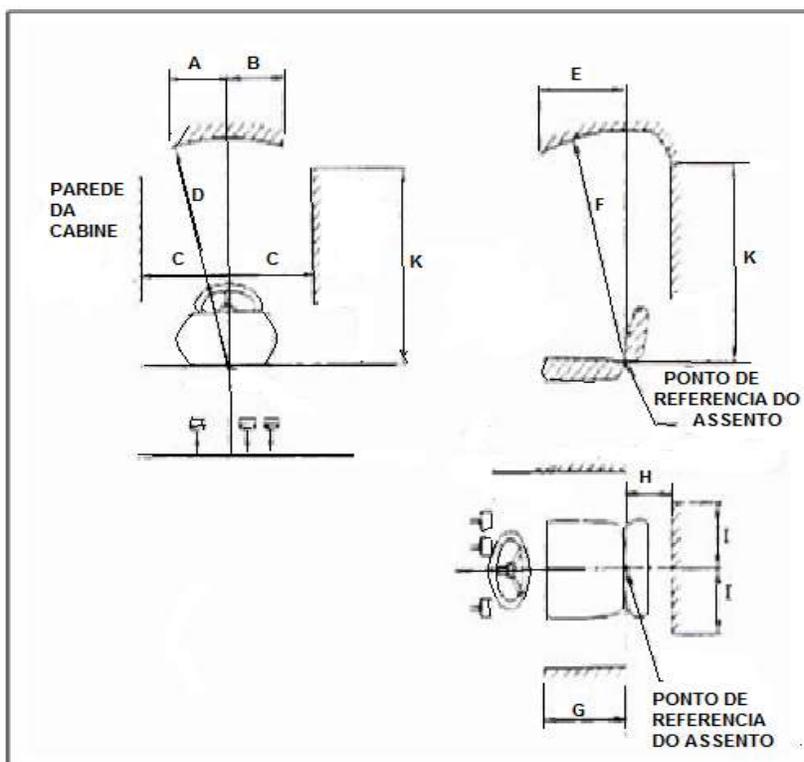


Figura 6 – Dimensões do habitáculo em máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998, pg. 15)

Tabela 3 – Norma UNE

MEDIDAS	NORMA UNE (mm)
A	300
B	300
C	450 (min.)
D	1050 (min.)
E	450
F	1050 (min.)
G	450
H	150
I	300
K	900

Fonte: RUSSO et al., 1998

No tocante à segurança, SILVEIRA (1988) salienta que uma estrutura de proteção contra a capotagem (EPCC) é o mínimo que se pode exigir para a proteção do operador de máquinas agrícolas para atenuar os choques resultantes de uma capotagem acidental. Segundo o autor, a EPCC pode estar integrada à cabine e ter uma estrutura e suporte de aço que deve ser projetado, fabricado e instalado de modo a agüentar duas vezes o peso do veículo.

2.3.4.3 - Campo visual do operador

Segundo BARGER et al. (1963), um projeto que considere os requisitos visuais do tratorista, deverá aumentar a segurança, facilitar o manejo e possibilitar o emprego eficiente do trator.

De acordo com FONTANA (2005), para que ocorra uma boa operação agrícola é necessário que o operador tenha uma perfeita visualização de todo o campo de trabalho da máquina. As condições de visibilidade encontradas em uma cabine constituem um aspecto muito importante, relacionado com a segurança e produtividade.

Para Meirelles (citado por FONTANA, 2005), a visibilidade deve permitir uma direção segura por parte do operador, com perfeito controle sobre o trator e seu implemento e a atividade agrícola executada, como também executar a verificação rápida dos instrumentos visuais, aumentando a segurança na operação e facilitando o manejo e o emprego eficiente do trator.

Grandjean (citado por SILVA, 2007), ressalta que a visibilidade do operador não pode sofrer interferência por vidros embasados, obstrução por telas estreitas, braços e mangueiras hidráulicas e acionador do limpador de pára-brisa, dentre outros. Segundo o autor, o campo de visibilidade necessário à operação deve estar relacionado com a função da máquina, variando com o ciclo de trabalho.

Segundo Couto (citado por FONTANA, 2007) a fadiga visual do operador está relacionada com a visibilidade ineficiente causada por obstáculos, dificultando a percepção de um determinado objeto.

Portanto, Márquez (citado por FONTANA, 2007), recomenda que os elementos estruturais laterais formem um ângulo reto com a direção da visão do operador e que a sua largura seja a menor possível. A visão necessária das rodas dianteiras e equipamentos

dianteiros obrigam a utilização de transparências nas partes mais baixas da cabine e espelhos de tamanho suficiente, para evitar posturas incômodas e antifisiológicas, do mesmo modo para controlar os implementos traseiros.

Zander *apud* Menezes (citado por FONTANA, 2005), dividiu o campo visual em três regiões distintas, conforme figura 7, correspondendo à ângulos de visão de 50°, 170° e 300°, cujos valores estão diretamente ligados ao tempo de reação do operador.

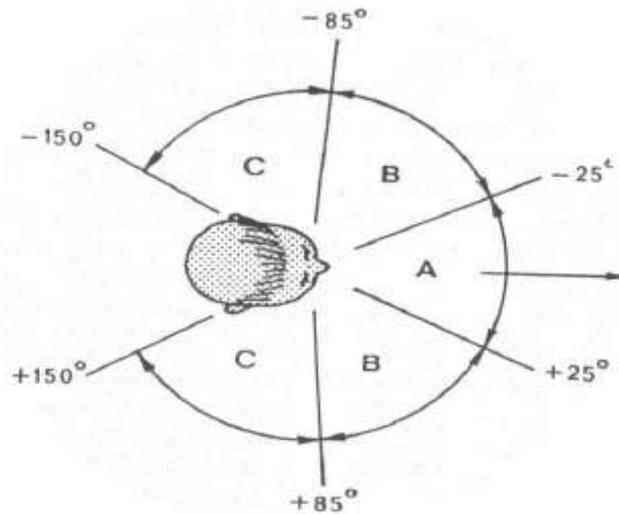


Figura 7 – Campos Visuais do operador. Fonte: Menezes *apud* FONTANA, 2005

Segundo o autor, o campo visual estacionário (A) é aquele coberto pela visão periférica, com a percepção de detalhes sendo reduzida à periferia, com sensibilidade para detectar objetos em movimento. No campo visual (B) são necessários movimentos dos olhos para complementar a visão periférica. Por outro lado, o campo visual (C) obtido com o movimento da cabeça requer um tempo de reação mínima.

De acordo com IIDA (2005), a visibilidade dos comandos e dos instrumentos marcadores precisa ser muito boa. Por isso, estes devem estar dentro do campo de visão do operador, colocando-se os mais importantes, ou seja, os mais utilizados, centrados à frente do operador e, nas laterais, os menos utilizados, ressaltando que a conclusão de quais são os mais

utilizados e os menos utilizados podem ser definidos através de uma análise da atividade futura já discutida em capítulos anteriores.

Menegas (citado por FONTANA, 2005), através de um estudo comparativo entre dois tratores semelhantes, um com e o outro sem cabine, verificou através dos resultados obtidos, que a utilização da cabine diminui o campo de visão do operador nos campos B e C, concluindo que o campo B é o maior prejudicado.

Para Zander (citado por FONTANA, 2005), as características do campo visual assumem vital importância para que ocorra rápida percepção do operador. A postura do corpo quando este controla uma máquina é influenciada pela visibilidade do trabalho. O aumento do campo visual por meio de movimentos do corpo causa um aumento na carga de trabalho e prejudica o desempenho do operador, à medida que ele adota uma postura desconfortável.

2.3.4.4 – Dispositivos de comandos de operação e controle e mostradores

De acordo com ROZIN (2004), a norma ISO 15007 define a palavra comando como um dispositivo acionado por uma pessoa para obter uma resposta da máquina ou de seu implemento. Segundo Máquez, Silveira, Yavad e Tewari citados pelo autor, os comandos de operação devem ser simples, de fácil alcance e inconfundíveis.

Segunda IIDA (2005), movimento de controle é aquele executado pelo corpo humano para transmitir alguma forma de energia à máquina. Esses movimentos geralmente são executados com as mãos e/ou os pés e podem consistir desde um simples aperto de botão até movimentos mais complexos de perseguição (como nos vídeo games), alimentados continuamente por uma cadeia de ação-informação. De acordo com o autor, os movimentos de controle devem seguir movimentos naturais e facilmente realizáveis pelo corpo humano, como por exemplo, movimentos rítmicos, seguindo trajetórias curvas e contínuas, evitando-se paradas bruscas ou mudanças repentinas de direção.

DEBIASI et al. (2004), argumentam que uma análise da literatura disponível sobre ergonomia aplicada às máquinas agrícolas mostra que os comandos devem apresentar uma série de características dentro de determinados padrões, definidos por normas. Uma das principais é a de que a posição dos comandos deve ser tal que permita um manejo fácil e seguro sem que seja necessário que o operador se desloque de sua posição normal de trabalho,

ou seja, incline-se para algum lado. Os autores ainda salientam que entre os comandos de um trator agrícola, o volante merece atenção especial, por ser de acionamento contínuo. Além da distância em relação ao assento, outra característica importante deste comando é o grau de inclinação de seu eixo central em relação à vertical.

As normas espanholas UNE 68 – 046 de dezembro de 1983 e UNE 68 – de junho de 1984 citadas por RUSSO et al., 1998, apresentam as dimensões de alguns dispositivos de acionamento conforme Figura 8 e Tabela 4:

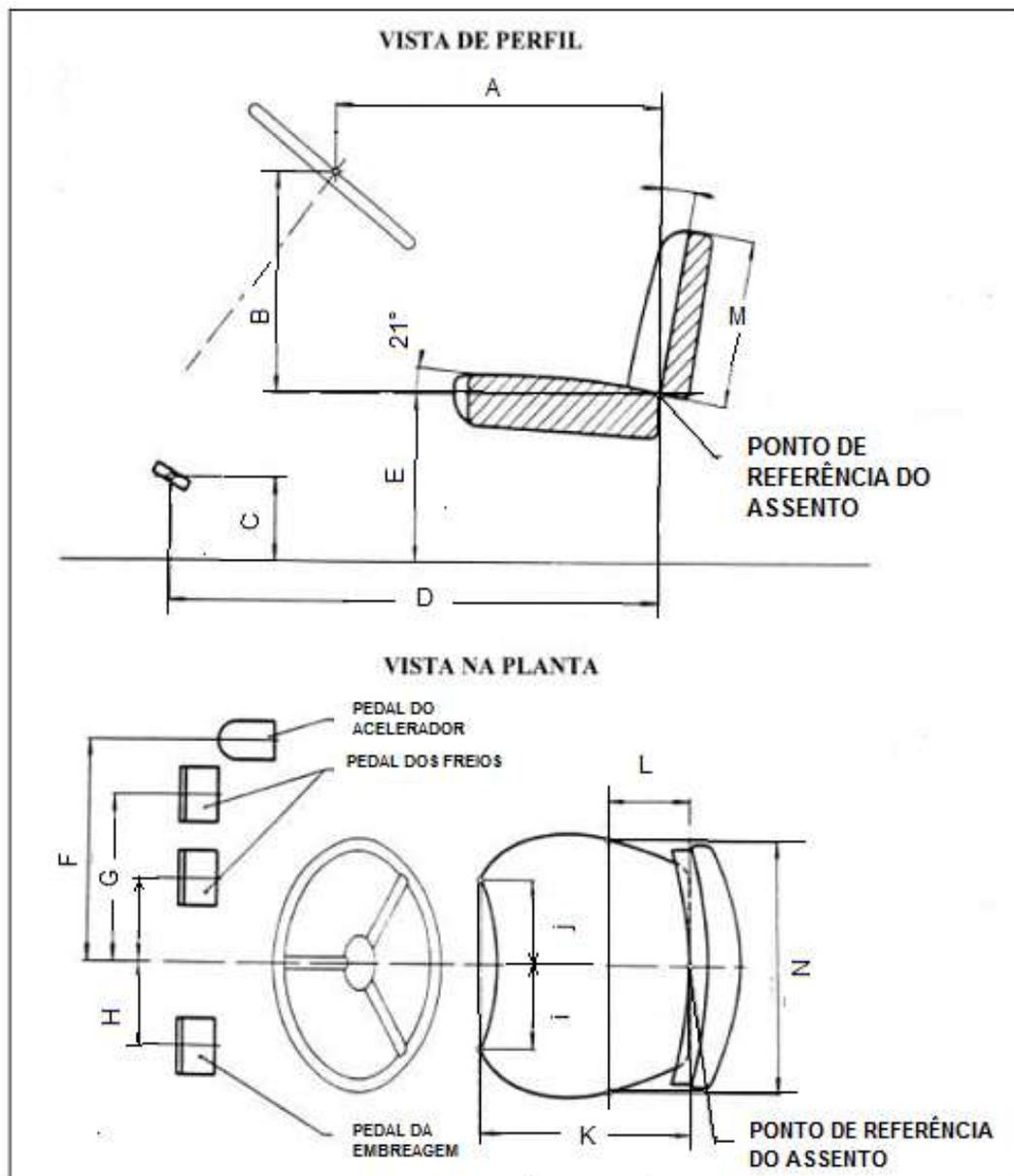


Fig. 8 – Dispositivos de acionamento em máquinas agrícolas (RUSSO et al., 1998, pg. 18)

Tabela 4 – Norma UNE

MEDIDAS	NORMA UNE (mm)
A	625 ± 50
B	400 ± 50
C	150 - 100
D	985 – 725 ± 20
E	265 – 485 ± 20
F	400 (Max.)
G	300 (Max.)
H	75 (min.)
I	150
J	150
K	400 ± 50
L	150
M	260 (min.)
N	450 (min.)

Fonte: RUSSO et al., 1998.

Conforme as normas UNE, a base da direção oferece deslocamento para frente e para trás para regulagens de distância e o acelerador é manual.

Segundo BARGER et al. (1963), os tratores que precisam operar com muitas paradas e partidas devem possuir um acelerador de pé, cujo pedal deve ser colocado diretamente à direita do pedal de freio.

DEBIASI et al. (2004), ressaltam que a ausência de regulagem do volante de direção é um problema ergonômico pronunciado. De acordo com os autores, além de ser o comando mais acionado, a inclinação de seu eixo vertical é de suma importância para o conforto do operador, sendo que, conforme especifica a NBR ISO 4253 de 1999, não existe um valor ótimo determinado. A cada operador, deve ser dada a possibilidade de escolher esse parâmetro de acordo com suas características.

Dupuis (citado por ROZIN, 2004), afirma que a força exercida no volante de direção do trator é maior quando o mesmo se encontra posicionado num plano horizontal. Segundo o autor, a posição do volante de direção, em relação ao operador exerce influência nas forças de direção e na energia requerida para a condução do trator e conforto do operador e a posição horizontal do volante de direção não é apropriado. Como as mãos não estão na posição

fisiologicamente favorável em relação aos braços, o ângulo entre a mão e o braço se torna pouco variável, por isso, o volante de direção não pode estar muito afastado adiante do operador. Com o cotovelo num ângulo de 90° fica mais fácil girar o volante de direção para um ângulo maior, explica o autor.

Segundo Robin (citado por ROZIN, 2004), os órgãos de comando, tais como volantes de direção, alavancas de comando, pedais, chaves de comando, dentre outros, devem estar dispostos e montados sobre o posto de operação da máquina agrícola, de maneira a permitir o controle, com um manuseio fácil e seguro pelo seu operador na sua posição normal de trabalho. Robin recomenda ângulos do corpo humano para o trabalho do operador na posição sentada, apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 – Ângulos relacionados ao corpo humano

Ângulos	Graus
Ângulo do quadril entre quadril e coxa	120
Ângulo entre a planta dos pés e a barriga da perna	90 a 120
Ângulo do joelho	90 a 150
Ângulo do ombro	0 a 70
Ângulo do cotovelo	60 a 180

Fonte: ROBIN (1987) *apud* ROZIN (2004)

De acordo com Verdussem (citado por SILVA, 2007), a localização dos controles e comandos deve ser projetada de forma que os braços os alcancem dentro do seu raio normal de ação, sem que o operador precise curvar o dorso ou deslocar o corpo. Evitam-se assim, maior fadiga e maior tempo na execução das tarefas. Com relação aos comandos movimentados pelas pernas, podem ser de maior exigência de força, desde que seja observada a posição ideal que permita a exata movimentação.

Lehamann (citado por ROZIN, 2004) estudou o posicionamento dos pedais de freio e embreagem, apoio dos pés, coluna de direção e volume de direção no posto de operação de tratores agrícolas e concluiu que o ângulo ótimo para acionar o pedal era de 70° com a vertical e com o assento a uma altura de 200 mm e o afastamento lateral ótimo das pernas para os pedais de freio e embreagem variou entre 80 e 120 mm.

Para as alavancas de câmbio, quando posicionadas centralmente são desvantajosas comparativamente às posicionadas lateralmente. Estas, quando posicionadas no centro do

posto de operação, tornam-se um obstáculo ao livre acesso e saída do operador, o que pode ocasionar acidentes (DEBIASI et al., 2004).

Segundo Grandjean e Couto (citados por ROZIN, 2004), conhecer o espaço que as mãos e os braços necessitam para a preensão e movimento é uma importante premissa para o planejamento dos controles, comandos e demais ferramentas do local de trabalho. De acordo com os autores, todos os instrumentos, ferramentas, objetos e controles que sejam operados manualmente com uso freqüente, devem estar localizados dentro da área de alcance normal, sendo definida pelos semicírculos formados quando os braços estão na vertical e os antebraços estão na horizontal. No entanto, os objetos acionados ocasionalmente pelas mãos, devem estar dentro da área de alcance máximo, que é definida como os semicírculos formados pelo giro dos membros superiores estando os braços estendidos na altura dos ombros. Os espaços muito distantes requerem movimentos secundários do tronco, reduzem a segurança da operação e aumentam os riscos de problemas nas costas e nos ombros do operador.

ROZIN (2004) ressalta a norma ISO 15077 que dita que um comando é considerado de uso freqüente quando o mesmo é acionado no intervalo igual ou inferior a 5 minutos durante o ciclo de funcionamento normal da operação. Caso esse período seja excedido, esse comando é dado como raramente ou ocasionalmente utilizado.

Além da disposição física dos dispositivos de acionamento e comandos de operação do trator, outro aspecto importante de projeto é a escolha correta dos tipos de controles que serão utilizados para cada operação e a configuração dos dispositivos de informação, ou seja, dos mostradores, para que o operador de dentro da cabine possa tomar as decisões necessárias ao controle da máquina, de uma forma rápida, precisa e segura.

Segundo CHAPANIS (1972), existem onze classes básicas de controles de uso comum: teclas manuais, comandos pelos pés, interruptores, comutadores basculantes, chaves rotativas de força, botões, manivelas, rodas de acionamento manual, alavancas, volantes e pedais. Sendo que cada um desses controles pode ser encontrado em uma quase infinita variedade de formas, tamanhos e apresentações. O autor ressalta que a primeira e mais importante providência ao planejar controles que serão usados por seres humanos é escolher o controle mais adequado para a tarefa a ser desempenhada e para isso o engenheiro deve especificar a tarefa pormenorizada, atentando para os seguintes pontos principais:

- *O que fará o controle?* Ligará uma luz, movimentará uma agulha num mostrador, irá locomover uma máquina agrícola, levantará um guindaste ou colocará em funcionamento o motor de uma máquina de lavar?
- *O que a tarefa requer?* Com que rapidez o operador terá que fazer o movimento de controle? Que tipos de ajustamento exigirá a tarefa? Quanta força muscular o operador terá que despende no trabalho?
- *Que informações deverá o operador conhecer para exercer o controle?* É importante que o operador seja capaz de identificar todos os controles apenas vendo-os, ou terá também que tocá-los? Deverá o operador ser obrigado a distinguir este controle particular de outros que lhe ficam perto?
- *Quais as restrições impostas pelo ambiente?* Há limitações de tamanho ou localização impostas pelo veículo, conteúdo ou equipamento do controle? Deve o controle ser imediatamente associado a um painel? Existem condições ambientais, como a escuridão, a vibração ou o movimento, que possam afetar o uso de um controle específico?

CHAPANIS (1972) destaca ainda que embora teoricamente seja possível usar muitas partes do corpo humano para ativar os controles, apenas as mãos e os pés são usados com esse objetivo e nenhum dos membros deve ser sobrecarregado. Salienta ainda que quando o operador tem diversos controles para manejar, devem ser distribuídos proporcionalmente pelos quatro membros e finalmente, os controles que devam ser ajustados rapidamente e com grande precisão devem ser deixados às mãos e os que requeiram o uso de maior força devem competir aos pés.

De acordo com IIDA (2005) controle é a ação transmitida pelo homem à máquina pelos movimentos musculares e podem ser de dois tipos básicos, de acordo com a função: discreto e contínuo. Segundo o autor, controle discreto é o que admite apenas algumas posições bem definidas, não podendo assumir valores intermediários entre as mesmas, como por exemplo, botão liga/desliga e teclados de calculadoras. Já, o controle contínuo é o que permite realizar uma infinidade de diferentes ajustes, tendo como exemplo o botão dial de um rádio ou o volante de um automóvel, assim como, um “*joystick*” para jogos de vídeo game.

Para a correta seleção dos controles, devem-se considerar as características, em termos de velocidade, precisão e força dos movimentos a serem transmitidos pelo operador.

Para cada situação, há um controle mais adequado. E, entre os controles do mesmo tipo, variações de tamanho, resistência, textura e outras características podem influir no seu desempenho. De uma maneira geral pode-se dizer que a precisão vai diminuindo quando se passa do movimento do dedo para as mãos, daí para os braços, ombros e o corpo, mas a força desses movimentos aumenta na mesma seqüência (IIDA, 2005).

Algumas sugestões úteis que IIDA (2005) fornece em relação à prevenção de acidentes com controles são:

- Localização: colocar os controles para serem acionados seqüencialmente, dentro de uma determinada lógica de movimento. Ex.: ligar um conjunto de interruptores da esquerda para a direita.
- Orientação: movimentar o controle na direção em que não possa ser movido por forças acidentais do operador. Ex.: botão que precisa ser puxado para ligar e não liga acidentalmente com esbarrões.
- Rebaixos: encaixar os controles nos painéis, de forma que não apresentem saliências.
- Cobertura: proteger os controles com caixas protetoras ou colocá-los no interior de caixas com tampas.
- Batente: usar bordas para ajudar o operador a manter uma determinada posição. Ex.: batente para pedais de acelerador para não escorregamento do pé.
- Resistências: dotar o controle de atrito ou inércia para anular pequenas forças acidentais.
- Luzes: associar o controle a uma pequena lâmpada que se acende, indicando que está ativado.

Em relação aos dispositivos de informação, Iida (citado por SILVA, 2007) salienta que deve-se selecionar um mostrador adequado dentre os muitos tipos de mostradores analógicos ou digitais, estando a escolha relacionada com o seu objetivo. Os mostradores de ponteiros são melhores para indicação de uma situação global e percepção de mudanças rápidas; os mostradores digitais são mais precisos na indicação de um valor exato.

Segundo o autor, informações simples são melhores, a simplicidade das informações melhora a clareza e reduz riscos de erros.

Devem ser utilizadas letras simples, despojadas de enfeites e não devem ser misturadas letras com números. As letras, ainda, devem ser de tamanho adequado, dependendo

a distância de leitura (o tamanho das letras maiúsculas deve ser, pelo menos, 1/200 da distância da leitura) e um bom contraste ajuda na legibilidade.

De acordo com DUL e WEERDMEESTER (2004), o uso de letreiros e símbolos junto aos controles pode parecer uma boa idéia, entretanto para que tenham uma visibilidade suficiente, além do tamanho apropriado das letras, devem ter as seguintes características:

- Espaço suficiente para colocação dos letreiros e símbolos;
- Luz suficiente para leitura;
- Uso de palavras com significados conhecidos;
- Uso de símbolos facilmente compreensíveis para os operadores;
- Informação restrita ao significado do controle.

Ainda segundo esses autores, os movimentos no mostrador devem ser compatíveis com os do controle, como por exemplo:

- Ligar: para cima, para direita, afastando-se do usuário, sentido horário, puxando para fora;
- Desligar: para baixo, para esquerda, aproximando-se do usuário, sentido anti-horário, pressionando;
- Aumentar: para cima, para direita, afastando-se do usuário, sentido horário, resistência crescente;
- Diminuir: para baixo, para esquerda, aproximando-se do usuário, sentido anti-horário, resistência decrescente.

Existem também os ambíguos, quase sempre devidos a hábitos arraigados, como o freio de um carro, onde a pressão do pedal está relacionado com a diminuição da velocidade.

Finalmente, a localização do controle deve estar relacionada com seu objetivo, devendo sugerir uma relação lógica com as respectivas informações ou efeitos e o uso de controles duplos só em situações críticas, como por exemplo, o uso simultâneo das duas mãos na operação de uma prensa, para mantê-las ocupadas e evitar acidentes (DUL e WEERDMEESTER, 2004).

2.3.4.5 – Características do assento do operador

De acordo com ROZIN (2004) a idéia de trabalhar num posto de operação qualquer com maior comodidade, tem feito do assento uma palavra chave muito utilizada pela sociedade moderna e com o surgimento de doenças e enfermidades vinculadas ao trabalho sedentário, passou-se a considerar o fator ergonomia como essencial nos projetos de assentos juntamente com o ambiente de trabalho.

IIDA (2005) justifica o grande interesse que o problema do assento tem despertado entre os ergonomistas, no fato de que o assento é, provavelmente, uma das invenções que mais contribuiu para modificar o comportamento humano. O autor argumenta que na vida moderna, muitas pessoas chegam a passar mais de 20 horas por dia nas posições sentada e deitada.

Para Márquez (citado por ROZIN, 2005) o assento do operador de uma máquina agrícola é um elemento essencial, sendo um órgão de interface entre o homem e a máquina. Deve proporcionar uma posição confortável nas diversas situações de trabalho, além de proteger o operador das vibrações e de seus efeitos.

De acordo com IIDA (2005), na posição sentada, o corpo entra em contato com o assento, praticamente só através de sua estrutura óssea. Segundo o autor, esse contato é feito por dois ossos de forma arredondada, situados na bacia, chamados de tuberosidades isquiáticas, que se assemelham a uma pirâmide invertida, quando vistos de perfil. As tuberosidades são cobertas apenas por uma fina camada de tecido muscular e uma pele grossa, adequada para suportar grandes pressões. Em apenas 25 cm² de superfície da pele sob essas tuberosidades concentram-se 75% do peso total do corpo sentado.

Até recentemente, costumava-se recomendar estofamentos duros, pois estes são mais adequados para suportar o peso do corpo. Os estofamentos muito macios não proporcionam um bom suporte e, além disso, a pressão se distribui para outras regiões das nádegas e das pernas, que não são adequadas para suportar as pressões, causando estrangulamento da circulação sanguínea nos capilares, o que provoca dores e fadiga. Porém, uma situação intermediária, com uma leve camada de estofamento mostrou-se benéfica, reduzindo a pressão máxima em cerca de 400% e aumentando a área de contato de 900 para 1050 cm², sem prejudicar a postura. Portanto, um estofamento pouco espesso, colocado sobre uma base

rígida, que não se afunde com o peso do corpo, ajuda a distribuir a pressão e proporciona maior estabilidade ao corpo, contribuindo para redução do desconforto e fadiga (IIDA, 2005).

O autor ainda recomenda que o material para revestir o assento deva ter característica antiderrapante e ter capacidade de dissipar o calor e umidade gerados pelo corpo, não sendo recomendados plásticos lisos e impermeáveis.

De acordo com Silva (citado por ROZIN, 2004), a almofada do assento deve ser arredondada e deve apoiar completamente as coxas, porém sem comprimir a parte posterior do joelho. A densidade de espuma do assento é um fator importante para suportar as tuberosidades isquiáticas, sendo recomendado pelo autor citado, uma densidade mínima de 50 kg.cm^{-3} .

Segundo Berasategui (citado por ROZIN, 2004), em termos de conforto, a espessura do assento deve ser suficiente, com um recobrimento de espuma de 40 a 60 mm na almofada e 30 a 40 mm no encosto, para melhor distribuir o peso do corpo e com uma permeabilidade que mantenha um microclima de 35° e 70% de umidade entre o corpo do operador e o assento.

De acordo com IIDA (2005) a dimensão antropométrica crítica no projeto de assentos, é a altura poplíteia (da parte inferior da coxa à sola do pé), que determina a altura do assento. Segundo o autor, os assentos cujas alturas sejam superiores ou inferiores à altura poplíteia não permitem um assentamento firme das tuberosidades isquiáticas, para transmitir o peso do corpo sobre o assento. Podem também provocar pressões sobre as coxas, que são anatômica e fisiologicamente inadequadas para suportar o peso do corpo.

Segundo a norma ABNT de 1997 (citada por ROZIN, 2004) a largura do assento pode ser definida como a distância entre as bordas laterais superiores do assento, medida perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, a 125 mm da projeção vertical do ponto mais saliente do encosto na posição mais avançada. Já a profundidade da superfície do assento é definida como a distância horizontal, medida ao longo do eixo longitudinal do assento entre a borda anterior e posterior, sendo que a profundidade útil do assento considera a medida da borda anterior à projeção do ponto mais saliente do encosto ao mesmo eixo.

Para IIDA (2005) a largura do assento deve ser adequada à largura torácica do usuário e o comprimento deve ser tal que a borda do assento fique pelo menos 2 cm afastada da parte interna da perna. Em relação ao encosto, ainda de acordo com o mesmo autor, deve

haver uma inclinação entre assento e o encosto, superior à 90 graus, para forçar o corpo contra o encosto, de modo a fazer uso total do assento.

Silva (citado por ROZIN, 2004), realizou um levantamento sobre dimensões de assento de trabalho na literatura vigente e identificou uma variação na largura do assento de 330 à 432 mm no mínimo e de 381 à 500 mm no máximo.

De acordo com Panero e Zelnik (citados por ROZIN, 2004), o assento precisa ter uma profundidade mínima, igual a profundidade do tórax do maior percentil da população acrescida de 25 mm, a fim de que a base lhe proporcione firmeza. Segundo Grandjean, citado por este mesmo autor, a profundidade do assento deve assumir valores entre 380 e 420 mm.

Uma profundidade de assento muito pequena provoca uma desagradável sensação de instabilidade e falta de apoio à superfície posterior dos músculos da coxa. Caso esta profundidade seja excessiva, a borda do assento comprimirá a zona posterior do joelho causando o risco da compressão sanguínea nas pernas e pés.

Segundo Arbetsmiljainstitutet (citado por SILVA 2007) o assento deve ter ajuste em altura, distância e comprimento. A inclinação assento/encosto deve ser ajustável de 90 à 110 graus e as variáveis do assento devem ser dimensionadas de acordo com os padrões antropométricos dos trabalhadores da região.

A norma ISO 4253, bem como sua versão brasileira NBR ISO 4253 padronizam dimensões para o projeto do assento do operador de máquinas agrícolas, entre elas, a altura do assento em relação a plataforma de apoio para os pés, que deve ser de 450 mm no mínimo e 520 mm no máximo. O comprimento do assento em relação ao PIA (Ponto de Indexação do Assento que é definido pela norma NBR/NM/ISO 5353: 1999, como um ponto situado no plano médio longitudinal central do assento, onde o plano tangencial do encosto intersecciona um plano horizontal – Figura 9) deve ser de 260 mm, podendo variar 50 mm para mais ou para menos. A norma recomenda também que a largura da almofada do assento e que a largura do encosto lombar devem ser superiores à 450 mm e o encosto do assento deve ser no mínimo de 260 mm. De acordo com a mesma norma, é recomendável que o ajuste vertical do assento do operador para cima e para baixo, a partir de sua posição média deve ser de 50 mm e que o ajuste horizontal do assento do operador para frente e para trás, a partir de sua posição média deve ser de 100 mm (ROZIN, 2004).

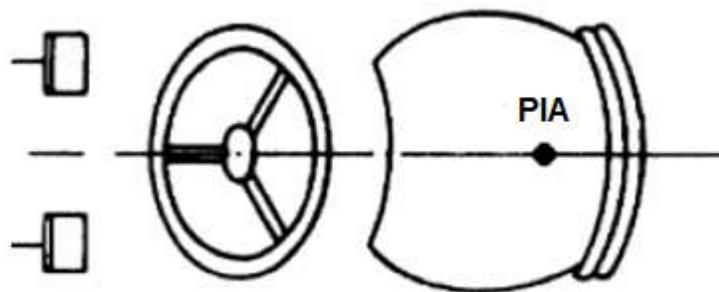


Fig. 9 – Localização do PIA no assento de uma máquina agrícola (ROZIN, 2004)

De acordo com a norma ISO 4252 e sua versão brasileira NBR ISO 4252 (citada por ROZIN, 2004), o projeto da cabine deve considerar parâmetros como a dimensão da cabine, que limitam o deslocamento vertical do operador e estabelecem um espaçamento mínimo entre o teto da cabine e da cabeça do operador, para evitar possíveis impactos.

Outro aspecto relevante no projeto de cabines para máquinas agrícolas e que está relacionado ao assento é a questão da exposição do operador às vibrações mecânicas originadas pela máquina.

Segundo o relatório final para o diagnóstico das condições de segurança no uso de tratores agrícolas, coordenado por CORRÊA (2002), a exposição do operador de tratores agrícolas às vibrações mecânicas variam conforme a superfície do terreno, peso do trator e características do projeto do trator, particularmente as relacionadas ao assento. De acordo com Witney, citado pelo relatório, tais vibrações não somente reduzem o conforto do operador como podem também prejudicar a capacidade de enxergar e de fazer ajustes de controles precisos. Deformações da coluna são mencionados por Balastreire, Robin e Márquez, também mencionados por CORRÊA (2002), como consequência das vibrações que afetam o posto de operação do trator. Tais autores citam valores de frequência no posto de condução entre 2,5 e 6,5 Hz, o que acaba entrando em ressonância com os valores de frequência natural do corpo humano e órgãos internos, principalmente a região do tronco, coração, estômago e abdômen que têm faixas de frequências de ressonância de 3 à 7 Hz, 4 à 6 Hz, 3 à 6 Hz e 4 à 8 Hz respectivamente, causando dores no peito e dores estomacais IIDA (2005).

Por este motivo o sistema de amortecimento do assento deve atenuar as faixas de frequência que variam de 2,5 à 6,5 Hz comuns às máquinas agrícolas em operação, para faixas

inferiores, onde o resultado da divisão entre a frequência de excitação pela frequência de saída após o amortecimento seja inferior ao valor “um” THOMSON (1978). Dessa forma não haverá a ressonância entre a máquina e o operador e este último não sentirá as conseqüências das vibrações da máquina.

2.3.4.6 – Conforto térmico e isolamento de ruídos

As condições necessárias à existência de conforto térmico, segundo Edholm (citado por SILVA,2007), correspondem a um estado térmico neutro, em que a grande maioria dos trabalhadores não tem razão de se queixar do ambiente. Tal condição existe quando não há calor e nem frio em excesso, a umidade não é muito alta, nem há demasiada secura no ar, não ocorrem correntes de ventos fortes e nem a atmosfera é abafada.

De acordo com IIDA (2005), quando o trabalhador é obrigado a suportar temperaturas elevadas o seu rendimento cai. A velocidade de trabalho diminui, as pausas se tornam maiores e mais freqüentes, o grau de concentração diminui e a frequência de erros e acidentes tende a aumentar significativamente, principalmente a partir de 30° C.

Por outro lado, segundo o mesmo autor, o frio abaixo de 15°C diminui a concentração e reduz as capacidades para pensar e julgar. Afeta também o controle muscular, reduzindo algumas habilidades motoras como a destreza e a força. Se o frio afetar todo o corpo, o desempenho geral pode ser prejudicado, devido aos tremores.

A zona de conforto térmico é delimitada entre as temperaturas efetivas de 20 a 24°C, com umidade relativa de 40 a 60%, com uma velocidade do ar moderada, da ordem de 0,2 m/s (IIDA,2005).

A cabine de uma máquina agrícola deve isolar o operador das intempéries do meio externo, proporcionando uma zona de conforto térmico de acordo com a preferência climática e nível de atividade exercida por cada pessoa. Para isso, uma opção viável é climatizar o ambiente e controlar a temperatura através de um termostato.

Além de proporcionar o conforto térmico, outro papel fundamental da cabine é isolar o operador de ruídos.

De acordo com IIDA (2005) ruído é um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução. Segundo o autor, fisicamente, o ruído é uma

mistura complexa de diversas vibrações, medido em uma escala logarítmica, em uma unidade chamada decibel (dB). O ouvido humano é capaz de perceber uma grande faixa de intensidades sonoras, desde aquelas próximas de zero, até potências 10.000.000.000.000 superiores, equivalentes a 130 dB. Esse ruído corresponde ao avião a jato, e é praticamente o máximo que o ouvido humano pode suportar. Acima disso, situa-se o limiar da percepção dolorosa, que pode produzir danos ao aparelho auditivo.

Para ruídos de até 80 dB, o trabalhador pode se expor durante toda a jornada de trabalho sem nenhuma consequência grave. Contudo, acima desse nível, começam a surgir riscos para os trabalhadores expostos a ruídos contínuos, principalmente na faixa de 2000 a 6000 HZ (acima de 1000 Hz tem-se uma frequência de som agudo).

Segundo Pmac (citado por SILVA, 2007) os riscos de problemas auditivos causados pelos ruídos é determinado pelo nível de som, pela frequência e pelo tempo de exposição. De acordo com o autor o nível máximo de ruído para uma exposição de oito horas é igual a 85 dB. Para cada aumento de 5 dB no nível de ruído acima desse limite, o tempo de exposição deve ser reduzido pela metade.

Uma das funções do habitáculo é funcionar como uma barreira acústica evitando que ruídos gerados pela operação da máquina e fatores do ambiente externo provoquem danos à saúde do operador e acidentes. Para isso um fechamento total da cabine pode isolá-la de ruídos externos ou provenientes da própria máquina, desde que um ambiente climatizado seja projetado.

3. UNIMAC CANA

3.1 – Caracterização da máquina

Para melhor se compreender a proposta deste trabalho, este capítulo descreve o projeto UNIMAC CANA da forma como idealizada pelos seus criadores.

A partir desta concepção, este trabalho se propõe a contribuir no projeto da sua cabine de comando.

O dispositivo proposto constitui um conceito alternativo representado por uma mecanização parcial da colheita de cana-de-açúcar denominado UNIMAC CANA. É composto essencialmente por uma frente de corte, uma célula de trabalho, uma unidade de limpeza e uma carreta de descarga vertical (Figuras 10, 11 E 12).

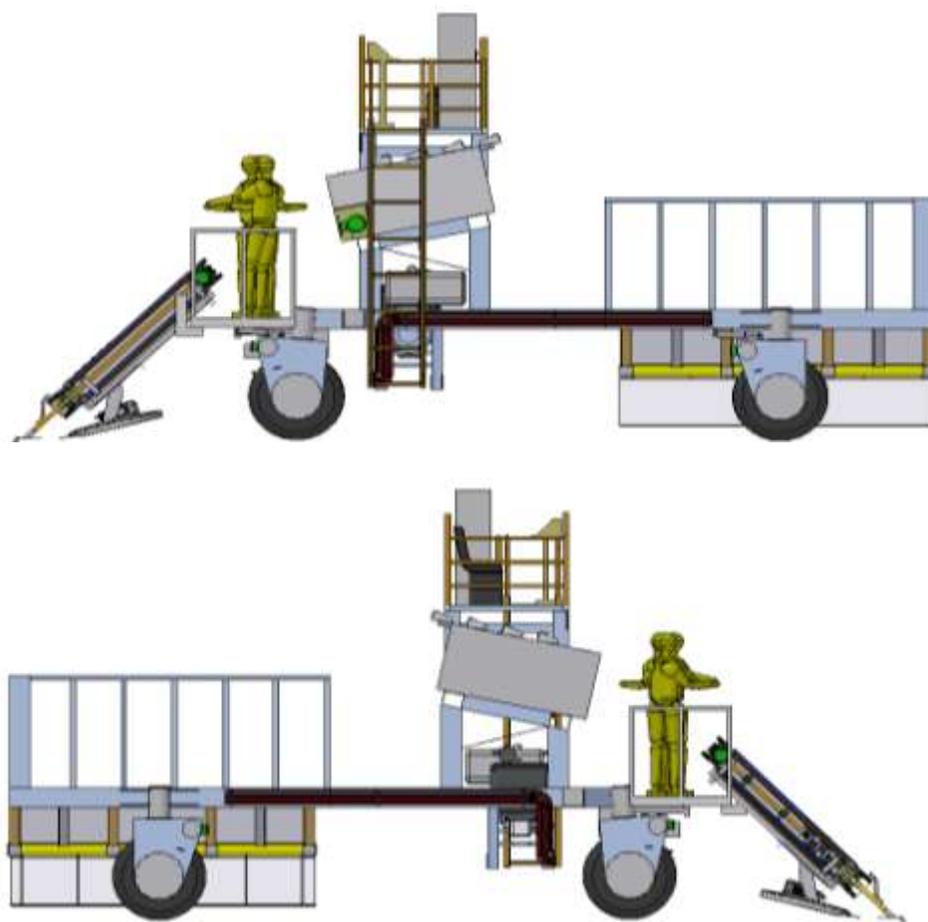


Figura 10 – Vistas Laterais da UNIMAC CANA

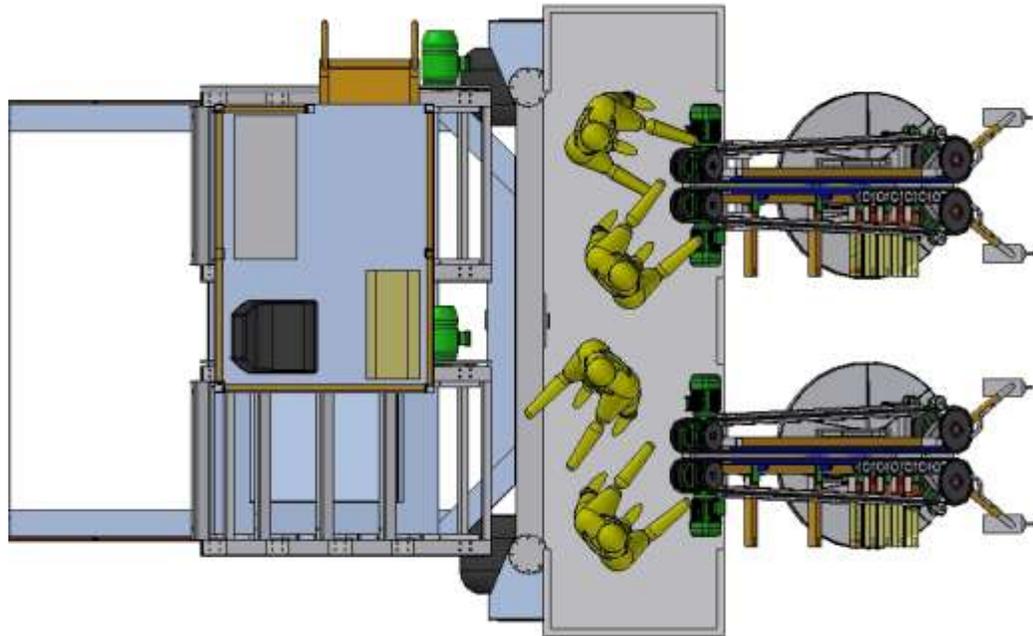


Figura 11 – Vista superior da UNIMAC CANA

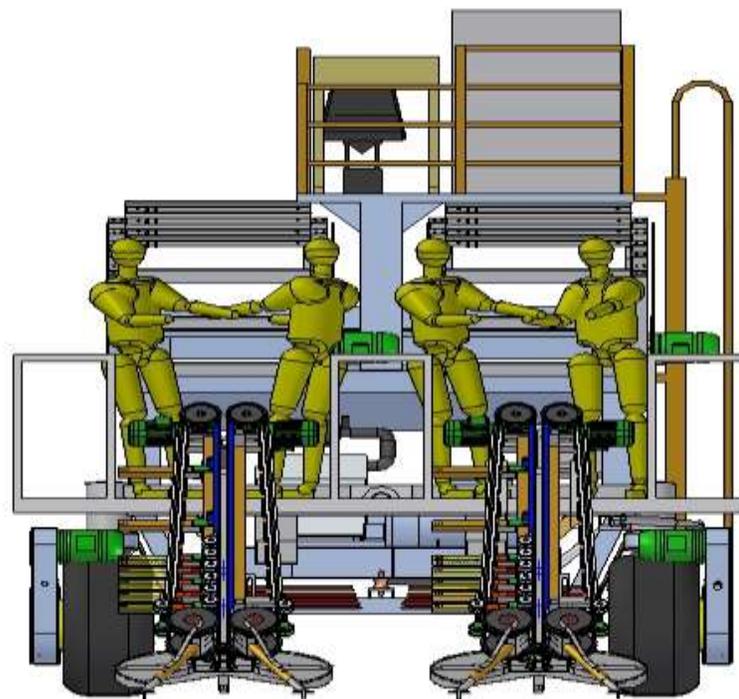


Figura 12 – Vista de frente da UNIMAC CANA

A frente de corte e alimentação, com largura de quatro ou seis fileiras, inclui um dispositivo flutuante para o corte basal de cada fileira e um conjunto de transportadores helicoidais rotativos que conduzem o material até a célula de trabalho (Figura 13). Tem como funções efetuar o corte de base e o transporte da massa integral de cana sobre um plano inclinado, sem separação entre as fileiras.



Figura 13 – Projeto mecânico da frente de corte e alimentação.

A célula de trabalho conta com dois operadores por fileira, os quais manualmente apanham os colmos e encaixam os mesmos em um transportador lateral que os conduz até o despontador e posteriormente até a unidade de limpeza.

A unidade de limpeza retira as folhas e lança os colmos inteiros em uma carreta de descarga vertical onde os mesmos são armazenados ordenadamente, na direção longitudinal de marcha, para manter a densidade de carga requerida pela operação posterior de transporte. Essa concepção de lançamento, armazenamento ordenado, descarga vertical e carregamento posterior convencional mostrou-se tecnicamente viável em diversas frentes de colheita.

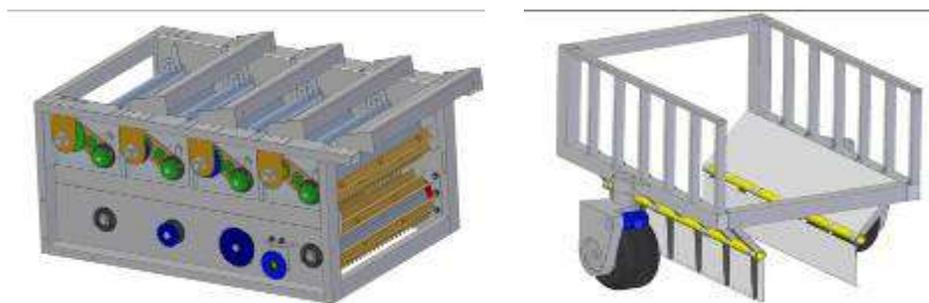


Fig. 14 – Projeto mecânico da unidade de limpeza e da carreta armazenadora.



Figura 15 – Protótipo da unidade de limpeza e da carreta armazenadora.

Em determinados intervalos, o equipamento interrompe o corte, manobra em retrocesso e descarrega montes de aproximadamente 3 toneladas. A velocidade de deslocamento oscila entre 250 e 500 m.h⁻¹. A unidade é acionada por um motor de combustão interna de aproximadamente 40 CV que servirá de fonte de potência para os circuitos elétricos que acionam os vários dispositivos da máquina.

Em relação à dirigibilidade em terrenos inclinados, os equipamentos que operam em terrenos inclinados devem permanecer alinhados com os sulcos de plantio sem escorregamento lateral. A componente de peso da colhedora, atuante no sentido da declividade, provoca uma deformação lateral dos pneus (Figura 16), fazendo com que a trajetória do equipamento apresente um deslocamento lateral. Essa deformação é resultado da baixa rigidez da estrutura do pneu, que é desejável do ponto de vista da compactação do solo mas prejudica a estabilidade direcional do veículo.

Como os veículos de pneus apresentam essa tendência de deslocamento lateral no sentido da declividade, a todo o momento é necessário realizar correções da trajetória do equipamento por meio da angulação das rodas pelo mecanismo de direção. Os veículos que apresentam sistema direcional apenas no eixo dianteiro sofrem escorregamento do eixo traseiro sem a possibilidade de correção. Este escorregamento resulta em um desalinhamento da colhedora com a fileira de cana, dificultando o processo de alimentação.

Na medida em que o pneu avança sobre o terreno, sucessivos pontos da banda de rodagem entram em contato com o solo. Como cada um desses pontos está localizado abaixo da cota do ponto anterior o equipamento desce em consequência ao seu avanço. Essa deficiência pode ser corrigida utilizando dois eixos direcionais já que dessa forma é possível

corrigir independentemente as posições da frente e da traseira da colhedora, sem modificar significativamente sua posição em relação à fileira de plantio.

O uso de esteiras no lugar de pneus evita o fenômeno previamente descrito. No entanto, o controle direcional das esteiras exige uma alteração da angulação do eixo longitudinal do veículo o que resulta em alguma perda de alinhamento da colhedora com as fileiras de plantio.

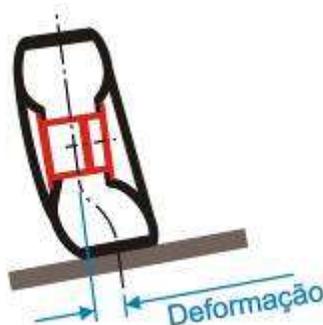


Figura 16 – Deformação lateral do pneu provocada pelo peso do equipamento.

O UNIMAC CANA utiliza quatro rodas direcionais o que lhe permite corrigir continuamente a direção de movimento tanto no eixo traseiro quanto no dianteiro. Paralelamente, a baixa velocidade de deslocamento do equipamento, inferior a $0,5 \text{ km.h}^{-1}$, facilitará a correção da trajetória pelo operador, sem atingir desalinhamentos com as linhas de plantio que prejudiquem a alimentação do equipamento.

Normalmente, a estabilidade ao tombamento lateral ou longitudinal juntamente com as deficiências de dirigibilidade limitam a utilização das colhedoras de uma linha a terrenos com declividades não superiores a 12%. Embora a inclinação teórica de tombamento lateral seja da ordem de 46% (Figura 17), efeitos dinâmicos resultantes das irregularidades do terreno e da elasticidade dos pneus reduzem esse limite de inclinação ao referido valor de 12%. Esta condição é a principal responsável pelas áreas canavieiras consideradas não aptas para a colheita mecanizada. A região de Piracicaba tem sua agroindústria sucroalcooleira ameaçada pela impossibilidade de colher os canaviais, sem queima prévia, com as colhedoras existentes.

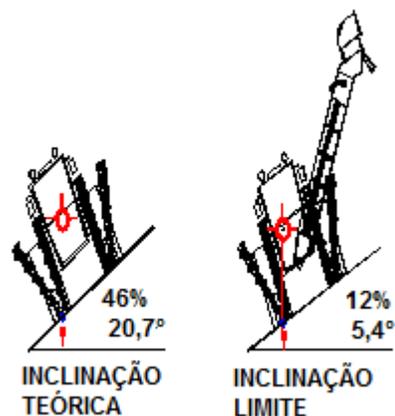


Figura 17 – Condição limite de estabilidade ao tombamento lateral.

No caso do UNIMAC CANA a inclinação teórica de tombamento do equipamento é da ordem de 100 % em função da grande largura e da altura reduzida de seu centro de gravidade. No entanto, a inclinação máxima permitida não é determinada pela estabilidade lateral ao tombamento e sim pelo deslizamento estático dos pneus sobre o solo. Essa condição corresponde a uma inclinação de terreno da ordem de 50%. Deve-se lembrar que a baixa velocidade de deslocamento equipamento, localizada entre 0,25 e 0,5 km.h⁻¹, representa um fator dinâmico muito favorável em função das menores oscilações laterais provocadas pelas irregularidades do terreno e à elasticidade dos pneus.

Em relação à separação das fileiras de cana, nos canaviais com colmos total ou parcialmente deitados (Figura 18), as colhedoras que cortam apenas uma linha, precisam, a cada passada, efetuar o corte dos colmos num plano vertical “PC”. Essa condição faz com que fragmentos de colmos sejam liberados sobre a superfície do solo para serem levantados pela colhedora, obrigando o ajuste da altura do cortador de base em nível de subsuperfície, com conseqüências negativas para a demanda de potência, desgaste de facas e contaminação da matéria-prima com impurezas minerais. Para o UNIMAC CANA, 4 fileiras serão cortadas na base e elevadas simultaneamente até a mesa dos operadores sem tombamento dos colmos, e com apenas 20% da quantidade de fragmentos gerados pelo plano “PC” das colhedoras que cortam apenas uma linha.

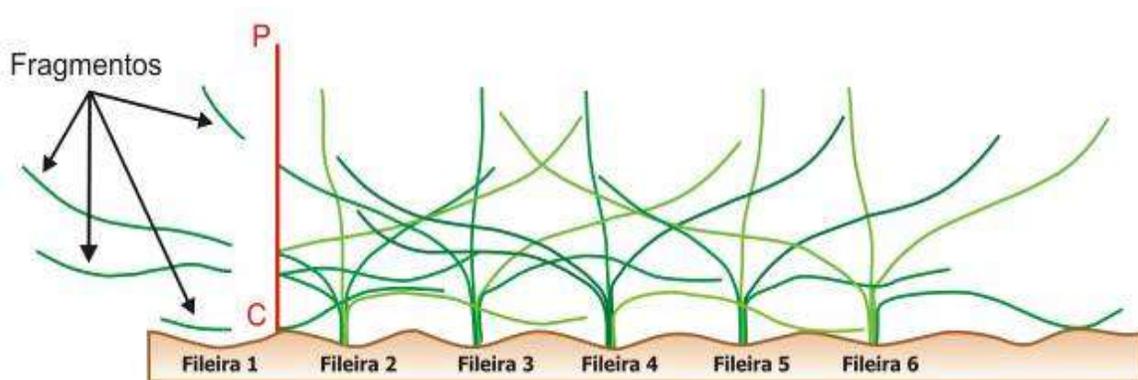


Fig. 18 – Plano vertical de corte “PC” que separa duas passadas sucessivas na colheita mecânica.

No corte de ponteiros, os dispositivos utilizados nas colhedoras para conduzir o extremo superior dos colmos até o mecanismo cortador não têm desempenho eficiente, principalmente nos canaviais de 18 meses onde a incidência de colmos deitados é maior. No UNIMAC CANA os ponteiros serão cortados pelos operadores que apontarão individualmente cada colmo a um disco que corta e recebe o ponteiro para efetuar seu enfardamento junto com as folhas.

O corte de base é efetuado pelo princípio de corte inercial. As facas atingem o solo com velocidade de $20-22 \text{ m.s}^{-1}$ pelo que rapidamente perdem o gume. O contato das facas com o solo deve ser evitado para conservar um corte eficiente e desta forma reduzir as perdas, o teor de terra da matéria-prima e reduzir os danos às soqueiras visando aumentar sua longevidade.

No UNIMAC CANA um dispositivo, centralizado na linha de cana, efetua o corte da base dos colmos o que permite que o formato elíptico da trajetória da ponta da faca acompanhe aproximadamente a forma da depressão do terreno próxima da soqueira. No caso de terreno nivelado o ponto mais baixo da trajetória da faca tangencia a superfície do terreno minimizando sempre o corte e movimentação de solo.

O processo de alimentação das colhedoras de cana picada impõe aos colmos uma forte flexão que provoca danos à soqueira. Partindo da sua posição vertical no campo até a posição de alimentação do picador, os colmos sofrem um giro de aproximadamente 135 graus. No UNIMAC CANA, os colmos serão cortados na base e afastados do solo mantendo sua posição original, vertical ou inclinada, que reduzirá a contaminação dos colmos com terra, o abalo da soqueira e as perdas de cana.

Na colheita mecânica sem queima prévia, existe uma relação antagônica entre a operação de limpeza e as perdas de colheita. Canas colhidas com teor de impurezas vegetais inferior a 6 % freqüentemente provocam perdas no sistema de limpeza próximas a 10%. Parte dessas perdas origina-se no corte de base e na alimentação da colhedora. No UNIMAC CANA as folhas serão retiradas dos colmos inteiros, onde resultam dois componentes, colmos e folhas, com propriedades aerodinâmicas muito diferentes facilitando sua separação. Esta separação acontece espontaneamente durante o processo de lançamento dos colmos, na saída do despalhador, já que a pouca massa das folhas não lhes permite acumular energia cinética suficiente para acompanhar os colmos na trajetória até a carreta de descarga vertical.

Com relação ao transporte dos colmos, a massa resultante na colheita da cana-de-açúcar é elevada, o que obriga a transferir a mesma da colhedora para um veículo que trafega em paralelo ou descarregá-la ao solo. O conceito de colheita mecanizada de cana picada surgiu visando o manuseio a granel que permite transferir o material a um transporte que acompanha a colhedora. Esse conceito permitiu eliminar a operação de carregamento e seu correspondente custo. No entanto, com a evolução do sistema, verificou-se a necessidade de retirar os veículos de estrada do canavial e introduzir a operação de transbordo que, em termos econômicos, eliminou a vantagem original da ausência do carregamento.

Para o UNIMAC CANA a transição entre a colheita e o transporte será feita com descarga ao solo, em montes de aproximadamente 3 toneladas. A caçamba de descarga vertical efetua a descarga em poucos segundos pela abertura de uma porta no fundo da mesma que permite a descida lenta da carga de forma a manter o ordenamento paralelo dos colmos e com isso manter também a densidade de carga no carregamento subsequente.

Na tecnologia atual de colheita da cana-de-açúcar, o palhico não faz parte do processo como um produto a ser preservado. Novas propostas de colheita integral da cana devem incluir a transferência da palha para o transporte sob condições satisfatórias de densidade de carga e contaminação. A proposta de colheita com UNIMAC CANA inclui a compactação do palhico de forma a liberar o mesmo ao solo já compactado, eliminando assim as operações posteriores de aleiramento e enfardamento, e principalmente eliminar a contaminação com impurezas minerais que o mesmo sofre durante essas operações.

3.2 – Investimento, custo de operação e emprego sustentável

As informações contidas neste capítulo fazem parte de material bibliográfico disponibilizado pela equipe de projeto da UNIMAC CANA relatando custos e investimentos relativos à máquina.

O investimento elevado, da ordem de R\$ 850.000,00¹ e a capacidade operacional elevada, da ordem de 90.000 toneladas de cana por ano, tornam a colheita de cana picada inadequada para um número significativo de agricultores. O UNIMAC CANA requer um investimento da ordem de 30 % do valor acima descrito. Após algumas simulações, verificou-se que os custos estimados para colheita com o equipamento proposto são compatíveis com os praticados nas operações de colheita comercial.

A colheita de algumas culturas, como frutas, hortaliças e cana-de-açúcar, encontram-se ainda em estágio incipiente de mecanização ou com deficiências tecnológicas tais que, no quadro sócio-econômico atual, permitem considerar os processos semi-mecanizados, ou de auxílio mecânico para reduzir os impactos da mecanização. No caso do UNIMAC CANA foi estimada uma produtividade dos operadores de 20 t/homem-dia do que resulta uma demanda potencial sustentável de força de trabalho para a colheita com auxílio mecânico no Estado de São Paulo de 37.000 homens, atuando nas áreas não mecanizáveis, que poderia evoluir para uma demanda potencial de força de trabalho de 74.000 homens, se toda a colheita for processada com auxílio mecânico.

O auxílio mecânico propõe manter o nível de emprego inferior ao do corte manual, porém sustentável e superior ao do corte mecânico atual, em condições ergonômicas compatíveis com a natureza humana.

3.3 – Concepção da cabine de controle

A equipe de projeto da UNIMAC CANA já definiu grande parte dos itens de projeto estipulados pela concepção da máquina e estão sendo utilizados na construção de seu protótipo. Esses itens refletem diretamente na concepção de sua cabine de controle que pode

¹ US\$512.000,00, segundo cotação do dia 28/02/2011, ao valor de R\$1,66 por dólar.

ser uma alternativa viável de projeto para a máquina e determinam parâmetros que deverão ser observados.

Entre eles, o posicionamento e o espaço disponível para a cabine no chassi da máquina nos sentidos longitudinal e transversal que ficaram de acordo com as Figuras 19 e 20:

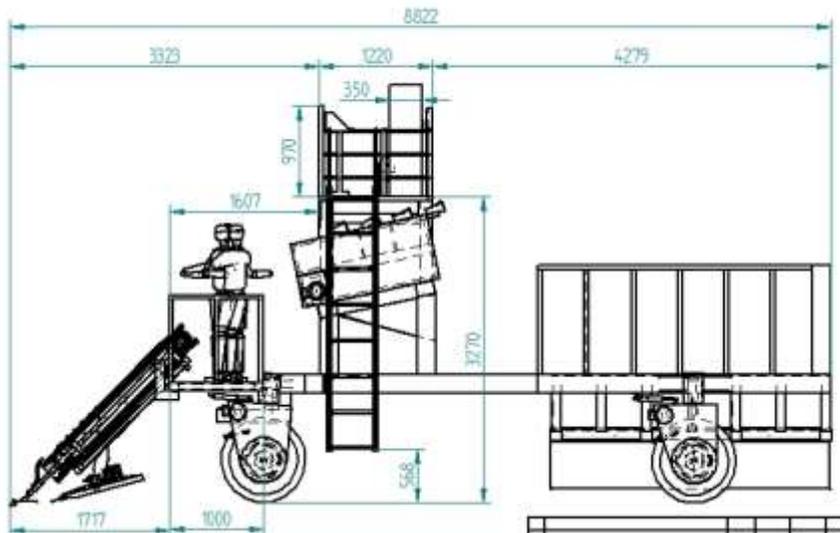


Figura 19 - Posicionamento da cabine longitudinalmente. Fonte: Equipe de projetos

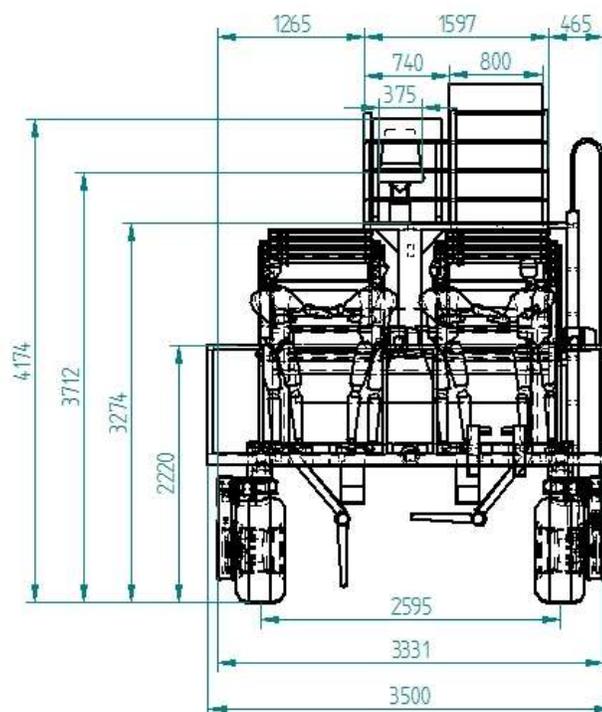


Figura 20 – Posicionamento da cabine transversalmente. Fonte: Equipe de projetos

Segundo a equipe de projeto o posto de operação da máquina deverá ficar em cima da unidade de limpeza da cana, que está posicionado por sua vez em cima do conjunto gerador. Tanto a unidade de limpeza como o conjunto gerador foram fixados no chassi da máquina por meio de coxins para amortecer as vibrações.

O material utilizado para a construção da estrutura da UNIMAC CANA foi aço SAE 1020 e poderá ser uma opção de projeto para a construção da cabine de controle, apesar de um material estrutural mais leve ser mais viável, principalmente para a alternativa de uma cabine móvel e suspensa.

A equipe de projetos original da máquina já definiu a frente de corte da máquina com seus cortadores flutuantes e sua transportadora rotativa helicoidal que lava os colmos de cana até a célula de trabalho. Também definiu a unidade de limpeza de cana-de-açúcar, que será constituída de dois despalhadores localizados em cima de um gerador de 40 cv destinado a fornecer energia para todo o sistema elétrico e motor.

Portanto o layout da maior parte dos componentes da UNIMAC CANA já foi definido, inclusive a caçamba transportadora traseira com seu mecanismo de descarga vertical. Em relação às funções externas à cabine que o operador deverá receber e as funções da máquina que o operador deverá controlar, assim como os mecanismos de controle e disposição de painéis, ainda estão em fase de estudo e projeto e também estão sendo definidos pela equipe.

Partindo deste cenário construtivo, este trabalho pretendeu oferecer uma opção de projeto para a cabine de controle da máquina, procurando observar os parâmetros estipulados, criando alternativas de projeto e optando pelas melhores soluções com ênfase aos aspectos ergonômicos e da segurança do trabalho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Metodologia Projetual

O primeiro passo no dimensionamento da cabine de controle da UNIMAC CANA é criar o maior número possível de alternativas de projeto nas seguintes áreas principais de sua concepção: Acessibilidade ao posto de trabalho, campo de visão do operador, dimensionamento do espaço de trabalho, controle da máquina, assento do operador, isolamento térmico e acústico.

Para isso, foram construídos quadros morfológicos em que essas seis grandes áreas foram desdobradas em parâmetros mais específicos com suas respectivas alternativas de projeto.

Após a montagem dos quadros morfológicos através de sessões de *Brainstorming* deu-se continuidade ao desenvolvimento do projeto da cabine de controle da UNIMAC CANA com ênfase na ergonomia, com a metodologia de CLARK e CORLETT (1984), escolhida por ser a que mais contempla a natureza deste trabalho.

Esta metodologia tem como objetivo filtrar as alternativas de projeto relacionadas nos quadros morfológicos, auxiliando na escolha das idéias mais viáveis tendo como parâmetros os aspectos de conforto (ergonômicos) e de segurança do operador.

Assim, a primeira etapa da metodologia consistiu em listar as principais operações para alcançar os objetivos do sistema, referentes às tarefas que deverão ser executadas, inspirada nas áreas principais da concepção. O objetivo do sistema será a execução da tarefa de conduzir a máquina pelo operador da cabine com seus atributos de dirigibilidade e controle dos implementos da melhor forma possível, levando-se em conta aspectos da ergonomia e de segurança.

A lista das principais operações abrange:

- Acessibilidade ao posto de trabalho;
- Campo de visão necessário para conduzir a máquina;
- Espaço físico do posto de trabalho necessário para interação operador/máquina;

- Controle da máquina em termos de direção e velocidade, implementos e funções secundárias;
- Assento e posição do operador no posto de trabalho;
- Isolamento térmico e acústico do operador;

A seguir, a segunda etapa consistiu no detalhamento das operações principais, incluindo todos os requerimentos ergonômicos propostos.

Para cada operação principal listada foi elaborada uma série de perguntas visando o esclarecimento de como melhor poderiam ser projetados estes diversos atributos, levando em conta, nas perguntas, os fatores de segurança e conforto do operador.

As perguntas foram elaboradas em conjunto com a equipe de projetistas da UNIMAC CANA e pelo próprio autor deste trabalho, a partir das referências bibliográficas e da metodologia de Clark e Corlett.

Sobre a acessibilidade ao posto de trabalho:

- Como se dará o acesso seguro ao posto de trabalho? Escadas? Rampas?
- Qual altura este posto ficará do chão? Existirá o risco de queda? Como?
- Qual o posicionamento da cabine em relação ao chassi da máquina?
- A escada poderá recolher para não bater no solo quando a máquina estiver em movimento?
- Qual o tipo de piso no acesso aos degraus e à plataforma?
- Deve-se usar corrimãos para evitar acidentes?
- Existe espaço para degraus com desnível vertical?
- A cabine terá acesso de ambos os lados?
- Existe saída de emergência em caso de acidente?
- Qual será o dispositivo de acionamento da porta da cabine? Ele funcionará em caso de acidente ou pane da máquina?
- Comandos e alavancas podem impedir ou atrapalhar o caminho de acesso?

Sobre o campo de visão necessário para conduzir a máquina:

- Como será o campo visual do operador? O que ele deverá ver?
- Qual a posição da cabine em relação à máquina e ao solo?
- O operador trabalhará sentado, em pé, ou ambos?
- Quais as perspectivas visuais a serem consideradas a partir do interior da cabine?
- Deverá ter contato visual com os operadores da frente de corte?
- Existem obstruções, contrastes ou ofuscamentos que impedem uma boa visibilidade?
- Como será a interface transparente entre o interior e o exterior da cabine? Esse material é seguro em caso de acidente?
- Qual a posição apropriada para painéis e comandos referentes à visão do operador?
- Existe a necessidade de espelhos retrovisores para o operador visualizar a parte de trás da máquina?

Sobre o espaço físico do posto de trabalho necessário para interação operador/máquina:

- Quais dados antropométricos do operador devem ser levados em conta para o dimensionamento do habitáculo?
- Quais itens de conforto e segurança devem ser considerados para o interior da cabine?
- Quais normas e recomendações a serem seguidas para o dimensionamento do espaço físico da cabine?
- Existirá facilidade de mudança postural durante a execução da tarefa?

Sobre o controle da máquina em termos de direção e velocidade, implementos e funções secundárias:

- O que o operador deverá fazer, ver e alcançar?
- Quais são as operações de controles necessárias? Quais são as principais e as secundárias?
- Como serão os controles de direção e velocidade? Que tipo de controles serão usados?
- Quais são os implementos da máquina a serem controlados? Como?
- Qual a frequência de uso dos controles, ferramentas e dispositivos propostos?
- Quais parâmetros deverão ser considerados na definição da área de alcance dos controles?
- Há muito trabalho muscular estático? O uso de grupos musculares está balanceado?
- Biomecânica do esforço (localização, magnitude, direção, frequência e duração das forças musculares) está sendo levado em conta?
- Biomecânica do movimento corporal (rotações e translações) está sendo considerado?
- Posturas desconfortáveis para operar a máquina estão sendo previstas?
- Quais informações deverão estar disponíveis no painel de controle?
- Que mostradores são mais indicados para o painel?
- Qual o melhor posicionamento dos painéis em relação ao operador?

Sobre o assento do operador no posto de trabalho:

- Qual a postura do operador ao dirigir a máquina e operar os comandos? Sentado ou em pé?
- Há necessidade de regulagem do assento? Quais?
- Há necessidade de amortecimento de vibrações do assento?
- Qual o revestimento mais apropriado para o assento?
- O assento deverá ser giratório ou fixo?
- Qual a posição do assento dentro da cabine levando-se em conta os dispositivos de comando?

Sobre o isolamento térmico e acústico do operador:

- Quais fontes de ruído e temperatura o operador estará exposto?
- O operador estará exposto a agentes químicos? Quais?
- Como a cabine poderá ficar isolada do meio externo?
- É necessário o condicionamento térmico do ar dentro da cabine? Que dispositivos de ventilação podem ser usados?
- Quais equipamentos de proteção individual o operador terá necessidade de usar dentro da cabine?
- Qual o nível de isolamento que a cabine deve ter em relação à ruído e conforto térmico?
- Como será o acesso e decesso da cabine?
- Quais dispositivos de travamento de portas poderão ser usados?
- Como será o decesso da cabine em caso de emergência?
- Que material poderá ser utilizado no isolamento da cabine com o meio externo, levando-se em conta ruído e temperatura?

A terceira etapa da metodologia de CLARK e CORLETT de 1984 consistiu em usar informações para detalhar os requerimentos ergonômicos e especificações, respondendo de maneira sistemática todas as perguntas relacionadas ao projeto da cabine. Para isso, além das informações colhidas junto a equipe do projeto e das recomendações citadas na revisão bibliográfica, foi utilizado o ERGOKIT, produzido pela INT (Instituto Nacional de Tecnologia) para dimensionar o posto de trabalho do operador com seus atributos de ergonomia e de segurança.

Neste momento da concepção as idéias mais viáveis foram sendo selecionadas nos quadros morfológicos a partir das respostas das perguntas propostas pela metodologia e dimensionados com o auxílio do ERGOKIT, para começar a dar forma ao projeto da cabine como um conjunto montado e dar continuidade à etapa seguinte da metodologia, onde os autores sugeriram listar os principais itens de hardware propostos, que no projeto da cabine, incluíram o design e layout do equipamento. Estes itens incluíram também, o espaço interno do posto de trabalho e o aspecto externo, assim como a disposição dos controles, painéis e assento do operador dentro da cabine.

A etapa seguinte correspondeu à busca de respostas para as perguntas já formuladas anteriormente no *check list* e que poderiam servir como uma verificação. Foram elas:

- O que o operador faz, vê, alcança, opera, conserva?
- Quais são as condições de ambiente e os riscos?
- Operador: decidir a postura de operação (sentado, em pé, escolha do operador). Quais as posturas previstas a serem adotadas pelos operadores em serviço?
- Permitir acesso do operador à estação de trabalho. Manutenção pessoal, materiais, equipamento, etc. Como se dá o acesso ao posto de trabalho?
- Garantir o espaço para o operador (tamanho adequado, espaço livre sem obstrução). Como o operador se ajusta ao espaço de trabalho? (geometria sólida).
- Garantir o espaço para a realização do trabalho, controles (alcance, visibilidade, etc).
- Projeto e organização do trabalho, controles, displays de acordo com os requerimentos funcionais, prioridade, segurança, conveniência e conforto. Há alguma ferramenta, controle ou dispositivo a ser operado durante a execução da tarefa? Com que frequência?

Finalmente foi proposto um *check list* para verificar se alguma coisa foi esquecida ou se algo não estava de acordo com as recomendações — o que poderia sobrecarregar o operador ou colocá-lo em situações de risco — a fim de confirmar todos os detalhes referentes a tamanho, alcance e layout. Essa verificação final foi realizada através da simulação de alcance manual e campo de visão do operador por meio dos desenhos gerados pelo software Catia V5R19 da Dessault com seus respectivos manequins.

4.2 – Adequação antropométrica e biomecânica

Com a finalidade de projetar um posto de trabalho acessível à maior parte da população Brasileira, foram adotadas as medidas retiradas do Software ERGOKIT, produzido pelo INT (Instituto Nacional de Tecnologia).

O método projetual principal a ser adotado para a inclusão dos dados antropométricos foi a utilização de valores máximos (percentil 95 masculino), médios (percentil 50 masculino) e mínimos (percentil 5 feminino) da amostra de população SERPRO , (amostra de 203 homens e outra de 202 mulheres, de 18 a 54 anos) ressaltando que as medidas utilizadas variaram conforme a parte do posto que estava sendo projetada. Em alguns pontos foi privilegiada a medida do maior usuário, preocupando-se com sua acomodação no espaço disponível dentro da cabine e em outras, o do menor usuário, prevendo suas zonas de alcance de comandos e painéis.

4.3 – Dimensionamento e simulação

Através da metodologia de CLARK e CORLETT foram filtradas e selecionadas as alternativas mais viáveis de projeto idealizadas nos quadros morfológicos. Em conjunto com as recomendações e normas contidas na revisão bibliográfica deste trabalho, com os parâmetros estabelecidos pela equipe de projeto da UNIMAC CANA e com as características antropométricas do operador brasileiro, essas alternativas contribuíram para o dimensionamento do habitáculo para a máquina.

Através do software Catia V5R19 foram realizadas simulações da área de alcance do operador aos controles e painéis de comando e sua acomodação espacial dentro do habitáculo.

Para a cabine concebida, com seu respectivo assento e dispositivos de controle e mostradores, foram idealizadas duas opções de projeto. Na primeira, a cabine estaria localizada em uma posição fixa em cima do chassi. Na outra, a cabine poderia adotar posições móveis em relação ao eixo vertical central da máquina. Para comparar estas duas alternativas de projeto, simulações do campo visual do operador também foram realizadas através do software Catia da Dassault.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Quadros Morfológicos

Os primeiros resultados deste trabalho constituem os principais quadros morfológicos com seus parâmetros e respectivas alternativas de projeto. Para sua consecução levou-se em conta os parâmetros pré-estabelecidos pelo projeto original da máquina, as orientações e normas apresentadas na revisão bibliográfica deste trabalho e a colaboração de alunos do 4º semestre do curso de Projetos Mecânicos da FATEC “Arthur de Azevedo” de Mogi Mirim – SP, geradas em sessões de “brainstorming” na disciplina Construção de Máquinas I. Os alunos foram previamente instruídos sobre o contexto e andamento do projeto da UNIMAC CANA.

A acessibilidade ao posto de trabalho e seus respectivos parâmetros do sistema e alternativas de projeto são mostrados no Quadro 2:

Quadro 2 – Quadro morfológico: Acesso à cabine

PARÂMETRO DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Porta de acesso	<i>Porta de abertura lateral</i> 2.1.1	<i>Porta de abertura para cima</i> 2.1.2	<i>Sem porta e com tela de segurança</i> 2.1.3	<i>Porta retrátil para cima</i> 2.1.4	<i>Porta sanfonada lateral</i> 2.1.5
Escada de acesso	<i>Degraus verticais</i> 2.2.1	<i>Degraus verticalmente inclinados</i> 2.2.2	<i>Escada fixa</i> 2.2.3	<i>Escada retrátil</i> 2.2.4	<i>Escada de corda retrátil</i> 2.2.5
Piso da plataforma de acesso	<i>Piso anti-derrapante em borracha</i> 2.3.1	<i>Gradeado</i> 2.3.2	<i>Chapas de aço anti-derrapante</i> 2.3.3	<i>Piso de madeira</i> 2.3.4	<i>Piso de cerâmica</i> 2.3.5
Elementos de apoio para o acesso	<i>Corrimãos em ambos os lados da escada</i> 2.3.1	<i>Corrimãos em apenas um lado da escada</i> 2.3.2	<i>Vários corrimãos curtos</i> 2.3.3	<i>Corrimãos estendidos</i> 2.3.4	<i>Telas de proteção lateral</i> 2.3.5
Dispositivo de acionar/travar porta de acesso	<i>Maçanetas de giro com alavanca</i> 2.4.1	<i>Maçanetas de puxar</i> 2.4.2	<i>Sem maçanetas</i> 2.4.3	<i>Controle remoto</i> 2.4.4	<i>Travamento com ignição do motor gerador</i> 2.4.5

O campo de visão do operador e seus respectivos parâmetros do sistema e alternativas de projetos são mostrados no Quadro 3:

Quadro 3 – Quadro morfológico: Campo visual do operador

PARÂMETRO DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Material da interface transparente	<i>Vidro</i> 3.1.1	<i>Polycarbonato cristalino</i> 3.1.2	<i>Material polimérico</i> 3.1.3	<i>Cortina plástica</i> 3.1.4	<i>Grade metálica</i> 3.1.5
Dispositivo para visão traseira	<i>Retrovisores laterais</i> 3.2.1	<i>Retrovisor frontal</i> 3.2.2	<i>Assento giratório</i> 3.2.3	<i>Cabine giratória</i> 3.2.4	<i>Câmeras de monitoramento</i> 3.2.5
Tamanho e posição das aberturas de janelas	<i>Janelas laterais, frontais e traseiras</i> 3.3.1	<i>Apenas janelas frontais e laterais</i> 3.3.2	<i>Janelas acima e abaixo da linha de cintura do operador na posição sentada</i> 3.3.3	<i>Apenas janelas acima da linha de cintura do operador na posição sentada</i> 3.3.4	<i>Sem janelas e com câmeras externas</i> 3.3.5
Inclinação da janela frontal	<i>Vertical</i> 3.4.1	<i>15°</i> 3.4.2	<i>30°</i> 3.4.3	<i>45°</i> 3.4.4	<i>Esférica</i> 3.4.5

O dimensionamento do espaço de trabalho e parâmetros são mostrados no Quadro 4:

Quadro 4 – Quadro morfológico: Dimensionamento do espaço de trabalho

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Altura da cabine	<i>Projeto para o operador na posição sentada</i> 4.1.1	<i>Projeto para o operador na posição em pé</i> 4.1.2	<i>Considerando acesso do usuário perc. 95% masculino</i> 4.1.3	<i>Considerando acesso do usuário perc.5% feminino</i> 4.1.4	<i>Considerando acesso do usuário perc.50% masculino</i> 4.1.5
Largura da cabine	<i>Considerando comand. laterais ao assento</i> 4.2.1	<i>Considerando comandos frontais ao assento</i> 4.2.2	<i>Projeto para o usuário perc. 95% masculino</i> 4.2.3	<i>Projeto para o usuário perc.5% feminino</i> 4.2.4	<i>Projeto para o usuário perc.50% masculino</i> 4.2.5
Comprimento da cabine	<i>Considerando painéis frontais e espaço bagagens</i> 4.3.1	<i>Considerando o assento e espaço p/a acomodação do operador</i> 4.3.2	<i>Considerando assento, painés laterais e espaço para bagagens</i> 4.3.3	<i>Projeto para o maior usuário (perc. 95% Masc.)</i> 4.3.4	<i>Projeto para o menor usuário (perc.5% fem.)</i> 4.3.5
Posição do assento	<i>Centralizado transversal</i> 4.4.1	<i>Deslocado para os lados</i> 4.4.2	<i>Centralizado longitudinal</i> 4.4.3	<i>Descentralizado longitudinal</i> 4.4.4	<i>Fora da cabine</i> 4.4.5
Compartimento para bagagens	<i>Porta luvas frontal ao assento</i> 4.5.1	<i>Dentro da cabine no espaço atrás do assento</i> 4.5.2	<i>Sem compartimento para bagagens</i> 4.5.3	<i>Em cima da cabine</i> 4.5.4	<i>Em baixo da cabine</i> 4.5.5
Posicionamento dos dispositivos de controle	<i>Frontal ao operador</i> 4.6.1	<i>Lateral ao operador</i> 4.6.2	<i>Atrás do operador</i> 4.6.3	<i>Controle remoto de mão</i> 4.6.4	<i>Em baixo do assento</i> 4.6.5
Posicionamento de painéis	<i>Frontal ao operador</i> 4.7.1	<i>Lateral ao operador</i> 4.7.2	<i>Atrás do operador</i> 4.7.3	<i>No teto da cabine</i> 4.7.4	<i>No chão da cabine</i> 4.7.5

O controle da máquina e seus respectivos parâmetros do sistema e alternativas de projeto são mostrados no Quadro 5:

Quadro 5 – Quadro morfológico: Controle da máquina

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Dispositivos para dirigir a máquina	<i>Volante de direção</i> 5.1.1	<i>Joystick</i> 5.1.2	<i>Pedais</i> 5.1.3	<i>Alavancas Individuais</i> 5.1.4	<i>Alavancas multifuncionais</i> 5.1.5
Tipo de painéis de controle	<i>Mostradores analógicos</i> 5.2.1	<i>Mostradores digitais</i> 5.2.2	<i>Luminosos</i> 5.2.3	<i>Com leds sinalizadores</i> 5.2.4	<i>Com bip acoplado</i> 5.2.5
Dispositivos de controle dos implementos	<i>Alavancas</i> 5.3.1	<i>Joystick</i> 5.3.2	<i>Botões</i> 5.3.3	<i>Chaves</i> 5.3.4	<i>Cordas</i> 5.3.5
Dispositivo p/a acionamento da máquina	<i>Botão</i> 5.4.1	<i>Chave</i> 5.4.2	<i>Alavanca</i> 5.4.3	<i>Manivela</i> 5.4.4	<i>Pedal</i> 5.4.5
Dispositivos de emergência ou de segurança	<i>Botão</i> 5.5.1	<i>Chave</i> 5.5.2	<i>Alavanca</i> 5.5.3	<i>Sensores de movimento</i> 5.5.4	<i>Pedais</i> 5.5.5

O assento do operador com seus respectivos parâmetros do sistema e alternativas de projetos são mostrados no Quadro 6 :

Quadro 6 – Quadro morfológico: Assento do operador

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Característica física do assento	<i>Forado com espuma de espessura 40 à 60 mm</i> 6.1.1	<i>Sem forro</i> 6.1.2	<i>Forro com densidade de 50 Kg.cm⁻³</i> 6.1.3	<i>Forado com madeira</i> 6.1.4	<i>Forado com borracha</i> 6.1.5
Característica física do encosto	<i>Forado com espuma de espessura 30 à 40 mm</i> 6.2.1	<i>Sem forro</i> 6.2.2	<i>Forro com densidade de 50 Kg.cm⁻³</i> 6.2.3	<i>Forado com madeira</i> 6.2.4	<i>Forado com borracha</i> 6.2.5
Regulagem do assento	<i>Fixo</i> 6.3.1	<i>Para cima e para baixo</i> 6.3.2	<i>Giratório</i> 6.3.3	<i>Para frente e para trás</i> 6.3.4	<i>Deslocado para fora da cabine</i> 6.3.5
Regulagem do encosto	<i>Fixo</i> 6.4.1	<i>Regulagem de encosto entre 90 à 110°</i> 6.4.2	<i>Posições pré definidas com dispositivo rotacional</i> 6.4.3	<i>Mudança de posição gradual com dispositivo rotacional</i> 6.4.4	<i>Regulagem eletrônica</i> 6.4.5
Revestimento do assento /encosto	<i>Capa plástica</i> 6.5.1	<i>Tecido impermeabilizante</i> 6.5.2	<i>Madeira</i> 6.5.3	<i>Metal</i> 6.5.4	<i>Couro</i> 6.5.5
Sistema de amortecimento do assento	<i>Coxins</i> 6.6.1	<i>Molas</i> 6.6.2	<i>Sistema hidráulico</i> 6.6.3	<i>Sem amortecimento</i> 6.6.4	<i>Amortecimento na cabine</i> 6.6.5

O isolamento térmico e acústico do operador com seus respectivos parâmetros do sistema e alternativas de projeto são mostrados no Quadro 7:

Quadro 7 – Quadro morfológico: Isolamento do operador

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO	ALTERNATIVA DE PROJETO
Material externo da estrutura da cabine	<i>Alumínio</i> 7.1.1	<i>Aço 1020</i> 7.1.2	<i>Polímero</i> 7.1.3	<i>Fibra de vidro</i> 7.1.4	<i>Fibra de carbono</i> 7.1.5
Revestimento térmico da cabine	<i>Sem revestimento</i> 7.2.1	<i>Isopor</i> 7.2.2	<i>Lã de vidro</i> 7.2.3	<i>Poliuretano</i> 7.2.4	<i>Espuma elastomérica</i> 7.2.5
Revestimento acústico da cabine	<i>Sem revestimento</i> 7.3.1	<i>Fibra de côco</i> 7.3.2	<i>Espuma acústica</i> 7.3.3	<i>Borracha</i> 7.3.4	<i>Lã de vidro</i> 7.3.5
Dispositivos de ventilação	<i>Ar condicionado</i> 7.4.1	<i>Ventilador</i> 7.4.2	<i>Entradas de ar</i> 7.4.3	<i>Vidros basculantes</i> 7.4.4	<i>Cooler exaustor</i> 7.4.5

5.2 – Definição de parâmetros a partir do *check list*

Para escolher as opções mais viáveis das alternativas dos quadros morfológicos nas seis grandes áreas da concepção da cabine do UNIMAC CANA, as perguntas referentes à cada uma destas áreas, propostas através da metodologia de CLARK e CORLETT de 1984, estão respondidas a seguir, com base na revisão bibliográfica e segundo os parâmetros estipulados pela equipe de projetos da máquina:

Acessibilidade ao posto de trabalho:

- Como se dará o acesso seguro ao posto de trabalho? Escadas? Rampas?

Resp.: Uma escada com desnível vertical é a mais indicada para evitar quedas, de acordo com CORRÊA (2002). Uma característica recomendável para os degraus é que estejam colocados num plano verticalmente inclinado, isto é, com degraus deslocados horizontalmente. Esta configuração permite ao operador acessar e sair do posto de operação voltado de frente para os degraus, o que é mais seguro, evitando também, batidas dos membros inferiores contra a lateral da superfície do posto de operação (alternativa 2.2.2 pg.71).

As normas NBR ISO 4254-1 e NBR ISO 4252 ditam que a altura do primeiro degrau em relação ao solo não deverá ultrapassar 550 mm, sendo que a dimensão ideal é de 500 mm. A profundidade e a largura dos degraus deverão ser no mínimo de 150 mm e 200 mm respectivamente. A distância vertical do último degrau até a soleira da plataforma deverá ser no máximo de 300 mm para os acessos na configuração multidegraus e a distância vertical entre degraus deve ser no máximo de 300 mm. Além disso, estabelece que os degraus devem ter superfície anti-deslizante e um batente vertical em ambos os lados (alternativa 2.3.1 pg.71).

- Qual altura este posto ficará do chão? Existirá o risco de queda? Como?

Resp.: Segundo a sugestão da equipe de projetos a cabine ficará a 3270 mm de altura do solo em relação à sua base, caso seja adotada a posição fixa sobre a plataforma que fica acima do gerador e dos despaldadores. No caso de a cabine adotar posições móveis em relação à máquina, que seria uma segunda alternativa de projeto proposta neste trabalho, as posições seriam nas laterais da máquina com uma altura mínima nivelada com o posto de operação da frente de corte, que seria em torno de 1220 mm.

Pode existir risco de queda no acesso da cabine através da passagem da escada em sua extremidade superior para dentro ou para fora do habitáculo no caso da cabine fixa. Isto pode ser evitado através do uso de corrimãos. Já na cabine móvel o risco de queda pode ser diretamente da escada escamoteável que deverá ficar na lateral da cabine, entre ela e o solo (alternativa 2.2.4 pg.71).

- Qual o posicionamento da cabine em relação ao chassi da máquina?

Resp.: Segundo a equipe de projeto, a cabine deverá ficar fixa na plataforma central sobre o chassi da máquina, de acordo com a Figura 20 (pág. 61). No entanto, na proposta da cabine ser móvel, adotaria posições ao redor de seu chassi (alternativa 3.2.4 pg.72).

- A escada poderá recolher para não bater no solo quando a máquina estiver em movimento?

Resp.: Na Figura 19 (pág.61) é mostrada uma distância do primeiro degrau com o solo de 568 mm. Levando-se em conta que a máquina trabalhará em terrenos com declives acentuados, até 45 graus segundo a equipe de projeto, existe a necessidade de se recolher pelo menos o primeiro degrau para evitar choques com o solo. No caso da cabine móvel, devido à sua menor altura em relação ao solo, a escada deverá ser escamoteável e recolhida após o acesso (alternativa 2.2.4 pg.71).

- Qual o tipo de piso no acesso aos degraus e à plataforma?

Resp.: As normas NBR ISO 4254-1 e NBR ISO 4252 estabelecem que os degraus devem ter superfície anti-deslizante e um batente vertical em ambos os lados. Isso deve se estender para a plataforma (alternativa 2.3.1 pg.71).

- Deve-se usar corrimãos para evitar acidentes?

Resp.: Sim, de acordo com as normas NBR ISO 4254-1 e NBR ISO 4252 (alternativa 2.3.1 pg.71).

- Existe espaço para degraus com desnível vertical?

Resp.: De acordo com as Figuras 19 e 20 existe espaço disponível para desnível vertical entre os degraus da escada de acesso à cabine. No caso da cabine móvel também (alternativa 2.2.2 pg.71).

- A cabine terá acesso de ambos os lados?

Resp.: Pela necessidade de isolar o interior da cabine dos ruídos externos e prevendo o conforto térmico, a abertura lateral de apenas um lado seria uma alternativa viável no atributo de fabricabilidade. No caso de uma cabine móvel assumindo posições laterais dos dois lados da máquina, seria viável a idéia de uma porta de cada lado para facilitar o acesso e saída em caso de emergência. Porém, isso atrapalharia o posicionamento de painéis laterais, que poderiam ser dispostos desta forma em função da melhoria do campo visual do operador. Portanto, o acesso de apenas um lado torna-se a alternativa mais viável para ambos os casos, cabine móvel ou fixa (alternativa 2.1.1 pg.71).

- Existe saída de emergência em caso de acidente?

Resp.: Uma saída de emergência através da parede posterior da cabine móvel pode ser um item viável no projeto. Na posição fixa, a saída por um teto móvel seria uma melhor alternativa.

- Qual será o dispositivo de acionamento da porta da cabine? Ele funcionará em caso de acidente ou pane da máquina?

Resp.: Um dispositivo em forma de alavanca giratória seria a alternativa mais viável, tanto devido ao fator robustez, como na facilidade de acionamento em caso de emergência (alternativa 2.4.1 pg.71).

- Comandos e alavancas podem impedir ou atrapalhar o caminho de acesso?

Resp.: Comandos e alavancas em apenas uma lateral do assento do operador são alternativas viáveis que não atrapalham o acesso ao posto de operação para condução da máquina (alternativa 4.2.1 pg.73).

Campo de visão necessário para conduzir a máquina:

- Como será o campo visual do operador? O que ele deverá ver?

Resp.: O operador da cabine do UNIMAC CANA deverá visualizar o campo de trabalho frontal para direcionar a máquina no campo de plantio em relação às fileiras de cana-de-açúcar e controlar sua velocidade. Deverá ver a frente de corte e o trabalho dos operadores dessa frente, podendo interromper o funcionamento da máquina e seus implementos em caso de acidente. Ver a caçamba transportadora e seu nível de carregamento, para fazer o descarregamento da cana acionando e desacionando a tampa deste implemento. Deve visualizar também, as áreas do campo de trabalho que ficam na parte traseira e nas laterais da máquina, para fazer as manobras de condução e descarregamento (alternativas 3.3.1 e 3.3.3 pg.72).

- Qual a posição da cabine em relação à máquina e ao solo?

Resp.: A equipe de projeto tem como proposta uma cabine fixa localizada em cima da plataforma sobre os despalhadores, localizada à 3270 mm do solo e descentralizada no sentido transversal do chassis da máquina. No entanto, visando a melhoria do campo visual do operador neste posto de trabalho, o mais viável seria que a cabine adotasse uma posição centralizada transversalmente em relação ao chassis. No caso de uma cabine móvel, que é uma segunda alternativa de projeto que este trabalho propõe, a cabine adotaria posições móveis ao redor da máquina conforme a situação de trabalho no campo de colheita. Adotaria uma posição centralizada à frente dos operadores da frente de corte na tarefa de locomoção da máquina até o campo de trabalho e, em trabalho de colheita, adotaria posições laterais à máquina, melhorando assim o campo visual do operador da cabine em relação à frente de corte e à caçamba transportadora traseira. No entanto, neste caso, a visão das fileiras de cana ficariam prejudicadas. Neste trabalho de pesquisa, simulações foram realizadas para ambas alternativas (cabine fixa centralizada e móvel) através do software Catia V5R19 da Dassault e discutidas as vantagens e desvantagens para cada caso (alternativa 3.2.4 pg.72).

- O operador trabalhará sentado, em pé, ou ambos?

Resp.: Com a alternativa da cabine móvel, trabalharia apenas sentado, pois quando a cabine adotar a posição lateral, seu campo de visão estará nivelado com a frente de corte e com a caçamba traseira. Já com a cabine fixa ele deverá se curvar para a frente se quiser melhorar seu campo de visão em relação aos operadores que ficam na frente de corte. Posições em pé seriam indesejáveis no ponto de vista do conforto do operador (alternativa 4.1.1 pg.73).

- Quais as perspectivas visuais a serem consideradas a partir do interior da cabine?

Resp.: Deverá privilegiar as visões frontais, laterais e posterior (alternativas 3.3.1 e 3.3.3 pg.72) .

- Deverá ter contato visual com os operadores da frente de corte?

Resp.: Sim, este é um item importante de segurança. Um posicionamento lateral da cabine em relação à máquina proporcionará um campo visual muito bom do operador da cabine no sentido de observar o trabalho deste posto e tomar as medidas cabíveis em caso de emergência (alternativa 3.2.4 pg.72).

- Existem obstruções, contrastes ou ofuscamentos que impedem uma boa visibilidade?

Resp.: Para evitar obstruções no campo visual frontal do operador, painéis localizados lateralmente seria uma alternativa viável de projeto (alternativa 4.2.1 pg.73). Em relação à ofuscamentos provocados pela luz solar, na alternativa de uma cabine móvel, adotando posições laterais em relação à máquina, o ofuscamento tenderia a ser menor que na alternativa da cabine fixa. Isto aconteceria devido à menor altura que a cabine móvel ficaria em relação ao solo e à possibilidade de mudança de posições que a cabine poderia adotar em relação à posição do sol no momento do trabalho de campo.

- Como será a interface transparente entre o interior e o exterior da cabine? Esse material é seguro em caso de acidente?

Resp.: O material da interface transparente entre o interior e o exterior da cabine deverá ser bastante translúcido e incolor, também resistente a choques e arranhões. Em caso de quebra, este material não deve formar estilhaços pontiagudos e cortantes (alternativa 3.1.2 pg.72).

- Qual a posição apropriada para painéis e comandos referentes à visão do operador?

Resp.: Os painéis que devem conter as informações essenciais ao controle do Unimac cana, como avisos de acionamento e desacionamento da máquina e seus implementos (cortadores da frente de corte, despalhadores e tampa da caçamba transportadora), nível de combustível, nível de óleo, nível de energia, medidor de velocidade e seus dispositivos de comandos (*joysticks* para controle de direção e velocidade da máquina e botões de acionamento e desacionamento dos implementos e da própria máquina) devem estar situados numa posição que não obstrua a visão do operador e nem seu acesso de entrada e saída do habitáculo. Uma posição lateral direita inferior (altura do abdome do operador) fixada na carcaça da cabine seria uma alternativa viável de projeto. Os braços do assento também poderiam comportar satisfatoriamente dispositivos de controle da máquina (alternativas 4.6.2 e 4.7.2 pg.73).

- Existe a necessidade de espelhos retrovisores para o operador visualizar a parte de trás da máquina?

Resp.: Com a cabine móvel a necessidade dos retrovisores será apenas na condução da máquina até o plantio. Na tarefa de colheita, com a cabine móvel deslocada para a lateral, não haverá esta necessidade, pois o operador terá um campo de visão que abrangerá a frente de corte e a traseira da máquina em um só enfoque. Já com a cabine fixa os retrovisores são necessários tanto para o transporte da máquina até o campo de trabalho, como para a tarefa de colheita e manobras para descarga da caçamba transportadora (alternativa 3.2.1 pg.72).

Espaço físico do posto de trabalho:

- Quais dados antropométricos do operador devem ser levados em conta para o dimensionamento do habitáculo?

Resp.: De acordo com Sanders e McCormick (citados por ROZIN, 2004), o projeto de uma cabine deve permitir ao operador uma boa visão do caminho e do tráfego no ambiente de trabalho, a partir de sua posição sentada. Os principais aspectos envolvidos, segundo os autores, são a altura do assento, a largura e o ângulo do encosto, o ajuste para a frente e para cima do assento, o espaço livre entre as pernas e o joelho, a localização dos controles de mãos e pés e o campo visual.

De acordo com IIDA (2005), diversos fatores devem ser considerados no correto dimensionamento do posto de trabalho, como postura adequada do corpo, movimentos corporais necessários, alcances dos movimentos, e a antropometria dos ocupantes do cargo.

Levando-se em conta uma cabine onde o operador adote apenas a posição sentada para conduzir e controlar a máquina e seus implementos, os dados antropométricos que devem ser utilizados para o dimensionamento do habitáculo são:

- Estatura (percentil 95% masculino – 1808 mm). Este dado será utilizado para dimensionar a altura de acesso da porta da cabine (alternativa 4.1.3 pg.73).
- Altura da cabeça, sentado, a partir do assento (percentil 95% masculino – 928 mm). Este dado será usado para auxiliar no dimensionamento da altura do teto da cabine.
- Altura dos olhos, sentado, a partir do assento (percentil 5% feminino – 695 mm, percentil 50% masculino – 785 mm e percentil 95% masculino – 836 mm). Estes dados serão usados para simular o campo visual do operador.
- Altura dos ombros, sentado, a partir do assento (percentil 95% masculino – 645 mm). Este dado será usado para dimensionar a altura do encosto do assento.
- Altura do cotovelo, sentado, a partir do assento (percentil 5% feminino – 195 mm e percentil 95% masculino – 289mm). Estes dados serão usados para dimensionar a altura dos encostos laterais com regulagem no assento.

- Altura poplíteia, sentado (parte inferior da coxa) (percentil 5% feminino – 332 mm e percentil 95% masculino – 450 mm). Estes dados serão usados para dimensionar a altura do assento com regulagem em relação ao chão da cabine (alternativa 6.3.2 pg.75).
- Comprimento nádega-poplíteal sentado (percentil 5% feminino – 405 mm). Este dado será usado para dimensionar o comprimento do assento.
- Comprimento nádega Joelho sentado (percentil 5% feminino – 520 mm e percentil 95% masculino – 654 mm) e comprimento joelho até chão da cabine, sentado (percentil 5% feminino – 440 mm e percentil 95% masculino – 584 mm). Estes dados serão usados para dimensionar a distancia do assento até a carcaça frontal da cabine com regulagem horizontal de profundidade (alternativa 6.3.4 pg.75).
- Profundidade do tórax (percentil 5% feminino – 210 mm), comprimento do braço na vertical, sentado (percentil 5% feminino – 290 mm) e comprimento do antebraço na horizontal até a ponta dos dedos (percentil 5% feminino – 402 mm). Estes dados serão utilizados para calcular a zona de alcance das mãos do operador até os dispositivos de comandos (*joystick lateral* e painéis de comando laterais).
- Comprimento do antebraço na horizontal até a ponta dos dedos (percentil 5% feminino – 402 mm e percentil 95% masculino – 522 mm) e comprimento do braço na vertical, sentado (percentil 5% feminino – 290 mm e percentil 95% masculino – 385 mm). Estes dados serão utilizados para calcular a zona de alcance das mãos do operador até os dispositivos de comandos (*joystick lateral* no encosto do assento) com regulagem de profundidade.
- Largura do tórax entre axilas, sentado (percentil 95% masculino – 342 mm) e largura do quadril, sentado (percentil 95% feminino – 451 mm). Estes dados serão utilizados para dimensionar a largura do assento e a distancia entre seus braços laterais, caso necessário.

- Quais itens de conforto e segurança devem ser considerados para o interior da cabine?

Resp.: A cabine do UNIMAC CANA deverá conter um assento confortável e seguro ao operador com regulagem de profundidade, além de um sistema de amortecimento de vibrações com os dispositivos de comandos fixados em seus braços laterais.

Deverá conter um painel com as principais informações de dirigibilidade e controle da máquina e seus implementos sem que este obstrua a entrada e saída do operador no habitáculo. Deverá conter barras de apoios para as mãos posicionadas no teto da máquina para facilitar a entrada e saída no habitáculo.

Deverá conter também, descanso para os pés regulável, sem que os mesmos obstruam a passagem de entrada e saída do operador para dentro da cabine.

Poderá existir uma alternativa de projeto contemplando um local para guardar bagagens atrás do assento do operador que não obstrua a saída de emergência.

- Quais normas e recomendações a serem seguidas para o dimensionamento do espaço físico da cabine?

Resp.: As normas e recomendações contidas na revisão bibliográfica deste trabalho de pesquisa, entre elas, as normas NBR ISO 4254-1 e NBR ISO 4252, normas da ABNT 1999, as normas técnicas espanholas UNE 68 – 046 de dezembro de 1983 e UNE 68 – 047 de junho de 1984, a NBR ISO 4253, entre outras.

- Existirá facilidade de mudança postural durante a execução da tarefa?

Resp.: Deverá existir facilidade de mudança postural para o operador dentro da cabine, para isso um assento com regulagem de altura e profundidade de encosto, dimensionado de acordo com os modelos antropométricos da população usuária e com controles posicionados nos braços laterais do assento darão maior flexibilidade e espaço conforme sua compleição física para que ele possa adotar posições confortáveis durante a execução da tarefa (alternativas 6.3.2 e 6.3.4 pg.75).

Controle da máquina:

- O que o operador deverá fazer, ver e alcançar?

Resp.: O operador deverá dirigir a máquina e controlar seus implementos. Deverá ver o campo de plantio frontalmente, lateralmente e posteriormente; deverá ver também o trabalho dos operadores na frente de corte e o nível de carregamento da caçamba transportadora, além dos mostradores do painel de comando.

Deverá alcançar os comandos de acionamento da máquina e implementos, as barras de apoio e botões de emergência.

- Como serão os controles de direção e velocidade? Que tipo de controles serão usados?

Resp.: O controle de direção e velocidade mais viável seria um *joystick* na lateral do assento do operador, pois a máquina trabalhará numa velocidade lenta (em torno de 0,5 Km/h) e em um processo contínuo, além disso, necessitará de sensibilidade de controle para a máquina poder acompanhar as fileiras de cana, justificando assim seu uso em vez da utilização de volantes e pedais (alternativa 5.1.2 pg.74).

Os controles de acionamento/desacionamento principais podem ser feitos através de botão liga/desliga, mais recomendados para ativação de duas posições e para paradas de emergência. (IIDA, 2005) (alternativa 5.4.1 pg.74).

Finalmente, os controles secundários podem ser acionados ou desacionados por meio de alavancas, que parecem eficientes para abertura e fechamento de tampões e posições móveis de elementos de máquinas. A movimentação da cabine, na alternativa dela ser móvel, poderá ser feita através de outro *joystick* posicionado no encosto de braço articulado na esquerda do assento, para não obstruir o acesso de entrada da cabine através da porta que deverá localizar-se em sua lateral esquerda.

- Quais são as operações de controles necessárias? Quais são as principais e as secundárias?

Resp.: As principais operações de controle são:

- Dirigir a máquina (controle de direção e velocidade);
- Monitorar o painel de controle com seus mostradores;
- Acionar/desacionar os cortadores da frente de corte;
- Acionar/desacionar os despalhadores;

As operações secundárias de controle são:

- Acionar/desacionar o gerador de energia;
- Abrir e fechar tampa da caçamba transportadora;
- No caso de cabine móvel, deslocar a posição da cabine..

- Quais são os implementos da máquina a serem controlados? Como?

Resp.: São os seguintes implementos com seus respectivos dispositivos de controle:

Acionamento dos cortadores da frente de corte: Botão liga/desliga (acionamento lento através de um tempo de pressão sobre o botão — para evitar acionamento acidental — e desacionamento rápido com um só toque, no caso da necessidade de paradas de emergência) (alternativa 5.3.3 pg.74).

Acionamento dos despalhadores: Botão liga/desliga (acionamento lento através de um tempo de pressão sobre o botão — para evitar acionamento acidental — e desacionamento rápido com um só toque, no caso da necessidade de paradas de emergência) (alternativa 5.3.3 pg.74).

Acionamento da caçamba transportadora: Alavanca para abrir e fechar sua tampa inferior; (alternativa 5.3.1 pg.74).

Mudança de posição da cabine (no caso de cabine móvel): *Joystick* para deslocamento giratório da cabine em volta da máquina (alternativa 5.3.2 pg.74).

- Qual a frequência de uso dos controles, ferramentas e dispositivos propostos?

Resp.: A norma ISO 15077 dita que um comando é considerado de uso freqüente quando o mesmo é acionado no intervalo igual ou inferior a 5 minutos durante o ciclo de funcionamento normal da operação. Caso esse período seja excedido, esse comando é dado como ocasionalmente utilizado. Assim:

-Dispositivo de acionamento/ desacionamento do gerador (botões): Ocasionalmente utilizado;

-Dispositivo de controle de direção e velocidade (*joystick*): Uso freqüente;

-Dispositivo de acionamento/ desacionamento dos cortadores da frente de corte (botão): Ocasionalmente utilizado;

-Dispositivo de acionamento/ desacionamento dos despalhadores (botões): Ocasionalmente utilizado;

-Dispositivo de acionamento/ desacionamento da caçamba transportadora (alavanca): Ocasionalmente utilizado;

-Dispositivo de acionamento/ desacionamento de posições móveis da cabine (alavanca): Ocasionalmente utilizado;

- Quais parâmetros deverão ser considerados na definição da área de alcance dos controles?

Resp.: As áreas de alcance dos comandos devem ser projetadas com base nos dados antropométricos da população que irá controlar a máquina, utilizando para isso o Ergokit, privilegiando o menor usuário com a utilização do percentil 5% feminino no comprimento do braço e ante- braço até a ponta dos dedos.

- Há muito trabalho muscular estático? O uso de grupos musculares está balanceado?

Resp.: Numa situação de controle da máquina com a utilização de *joystick* na lateral do assento, a solicitação dos grupos musculares superiores será baixa, sem grandes esforços, já que este dispositivo tem uma alta sensibilidade de comando (alternativa 5.1.2 pg.74).

- Biomecânica do esforço (localização, magnitude, direção, frequência e duração das forças musculares) está sendo levado em conta?

Resp.: Como não há grandes solicitações de esforço muscular associado às tarefas do operador da cabine, não houve necessidade de avaliar a biomecânica de esforços.

- Biomecânica do movimento corporal (rotações e translações) está sendo considerado?

Resp.: Um assento giratório tende a minimizar movimentos de rotação do tronco do operador no caso de uma cabine fixa. A cabine projetada com posições móveis, no entanto, adotaria uma posição lateral à máquina na tarefa de colheita, o que minimizaria os movimentos de rotação do tronco do operador pelo aumento do seu campo visual em relação à parte anterior e posterior do equipamento, tornando desnecessária, portanto, a rotação do assento (alternativa 3.2.4 pg.72).

- Posturas desconfortáveis para operar a máquina estão sendo previstas?

Resp.: No caso da cabine não adotar posições móveis em relação ao chassi do Unimac Cana, quando a máquina estiver em operação de colheita a cabine estará numa altura elevada do solo e de difícil acesso visual do operador em relação à frente de corte e à parte posterior da máquina, o que poderá acarretar em conseqüentes posturas desconfortáveis do operador para assumir determinados campos de visão necessários ao controle do equipamento, como por exemplo, acionamento e desacionamento dos despalhadores e verificação do nível de carga na caçamba transportadora traseira.

Já com a cabine móvel, o operador terá um melhor campo visual da frente e da parte posterior da máquina, minimizando posturas desconfortáveis. No entanto, com a cabine posicionada lateralmente, fica prejudicado seu campo de visão em relação às fileiras de cana no campo de colheita (alternativa 3.2.4 pg.72).

- Quais informações deverão estar disponíveis no painel de controle?

Resp.:

- Gerador ligado/desligado;
- Cortador da frente de corte ligado/desligado;
- Despalhador ligado/desligado;
- Velocidade da máquina;
- Caçamba traseira aberta/fechada;
- Nível de combustível do gerador;
- Status da geração de energia e dos motores elétricos (funcionando/não funcionando)

- Que mostradores são mais indicados para o painel?

Resp.: Em relação aos dispositivos de informação, Iida (citado por SILVA, 2007) salienta que deve-se selecionar um mostrador adequado dentre os muitos tipos de mostradores analógicos ou digitais, estando a escolha relacionada com o seu objetivo. Os mostradores de ponteiros são melhores para indicação de uma situação global e percepção de mudanças rápidas; os mostradores digitais são mais precisos na indicação de um valor exato.

Devem ser utilizadas letras simples, despojadas de enfeites e não devem ser misturadas letras com números. As letras, ainda, devem ser de tamanho adequado, dependendo da distância de leitura (o tamanho das letras maiúsculas deve ser, pelo menos, 1/200 da distância da leitura) e um bom contraste ajuda na legibilidade.

Sendo assim, para as respostas de controle do gerador, cortador da frente de corte, caçamba traseira e despalhador, que tem duas posições (ligado ou desligado, aberta ou fechada), o ideal seriam mostradores na forma de *leds* no painel, aceso quando ligado e apagado quando desligado e com bom contraste, pois este tipo de mostrador é próprio para percepção rápida e deve ser utilizado com símbolos familiares aos operadores (alternativa 5.2.4 pg.74). Já os níveis de óleo e combustível do gerador, os níveis de energia e o controle de velocidade, o mais recomendado seria mostradores com escalas fixas semi-circulares com ponteiros móveis (mostradores quantitativos analógicos semi-circulares, IIDA, 2005), pois seguem posições análogas ao estado da máquina (alternativa 5.2.1 pg.74).

- Qual o melhor posicionamento dos painéis em relação ao operador?

Resp.: De acordo com IIDA (2005), a visibilidade dos comandos e dos instrumentos marcadores precisa ser muito boa e estar dentro do campo de visão do operador. No entanto, a posição do painel não deve obstruir o acesso à cabine e nem o campo visual da frente de corte. Sendo assim, um local viável seria na lateral direita da cabine, numa altura apropriada para sua visualização e sem as obstruções acima citadas (alternativa 4.7.2 pg.73). Neste painel, os comandos mais utilizados e os mostradores mais requisitados devem estar mais próximos ao operador que os de uso ocasional.

Assento do operador:

- Qual a postura do operador ao dirigir a máquina e operar os comandos? Sentado ou em pé?

Resp.: De acordo com Sanders e McCormick (citados por ROZIN, 2004), a inserção de uma cabine deve permitir ao operador uma boa visão do caminho e do tráfego no ambiente de trabalho, a partir de sua posição sentada (alternativa 4.1.1 pg.73). Comandos na lateral do assento facilitam sua operação nesta posição.

- Há necessidade de regulagem do assento? Quais?

Resp.: Deverá existir facilidade de mudança postural para o operador dentro da cabine, para isso um assento com regulagem de altura e profundidade e que seja giratório com controles posicionados nos braços laterais do assento dará maior flexibilidade e espaço para que ele possa adotar posições confortáveis durante a execução da tarefa. Segundo Arbetsmiljainstitutet (citado por SILVA 2007) o assento deve ter ajuste em altura, distância e comprimento. A inclinação assento/encosto deve ser ajustável de 90 à 110 graus e as variáveis do assento devem ser dimensionadas de acordo com os padrões antropométricos dos trabalhadores (alternativas 6.3.2; 6.3.4 e 6.4.2 pg.75).

- Há necessidade de amortecimento de vibrações do assento?

Resp.: Como é comum em máquinas agrícolas as faixas de frequência de vibração variarem de 2,5 a 6,5 hz, prejudicando o trabalho, concentração, conforto e saúde do operador. Portanto, um sistema de amortecimento sob o assento poderá ser necessário. Outra alternativa seria este sistema estar localizado sob a estrutura externa da cabine da máquina, o que poderia ser uma alternativa mais viável de projeto devido ao fator robustez do mecanismo de amortecimento. Por causa deste fator, o peso do operador influiria menos no bom funcionamento do sistema do que no caso do amortecimento sob o assento (alternativa 6.6.5 pg.75).

- Qual o revestimento mais apropriado para o assento?

Resp.: Até recentemente, costumava-se recomendar estofamentos duros, pois estes seriam mais adequados para suportar o peso do corpo. Os estofamentos muito macios não proporcionam um bom suporte e, além disso, a pressão se distribui para outras regiões das nádegas e das pernas, que não são adequadas para suportar as pressões, causando estrangulamento da circulação sanguínea nos capilares, o que provoca dores e fadiga. Porém, uma situação intermediária, com uma leve camada de estofamento mostrou-se benéfica, reduzindo a pressão máxima em cerca de 400% e aumentando a área de contato de 900 para 1050 cm², sem prejudicar a postura. Portanto, um estofamento pouco espesso, colocado sobre uma base rígida, que não afunde com o peso do corpo, ajudaria a distribuir a pressão e dar maior estabilidade ao corpo, contribuindo para redução do desconforto.(IIDA, 2005).

O autor ainda recomenda que o material para revestir o assento deve ter característica antiderrapante e ter capacidade de dissipar o calor e umidade gerados pelo corpo, não sendo recomendados plásticos lisos e impermeáveis.

De acordo com Silva (citado por ROZIN, 2004), o assento deve ser arredondado e deve apoiar completamente as coxas, porém sem comprimir a parte posterior do joelho. A densidade de espuma do assento é um fator importante para suportar as tuberosidades isquiáticas, sendo recomendado densidade mínima de 50 kg.cm⁻³.

Segundo Berasategui (citado por ROZIN, 2004), em termos de conforto, a espessura do assento deve ser suficiente, com um recobrimento de espuma de 40 a 60 mm na almofada e 30 a 40 mm no encosto, para melhor distribuir o peso do corpo e com uma permeabilidade que mantenha um micro clima de 35° e 70% de umidade entre o corpo do operador e o assento. (alternativas 6.1.1, 6.1.3, 6.2.1, 6.2.3 e 6.5.2 pg.75)

- O assento deverá ser giratório ou fixo?

Resp.: Um assento giratório tende a minimizar movimentos de rotação do tronco do operador, enquanto que um assento fixo poderá dar uma sensação de maior estabilidade da cabine para o operador ao dirigir a máquina, principalmente se a cabine adotar posições móveis. No caso da cabine móvel, os painéis fixados na lateral do operador inviabilizam o giro do assento, o que também se torna desnecessário devido ao fato da cabine girar em torno de seu próprio eixo central, evitando que o operador tenha a necessidade de girar seu tronco para assumir determinados campos de visão (alternativa 3.2.4 pg.72). Na alternativa da cabine fixa, um painel giratório poderia acompanhar o giro do assento.

- Qual a posição do assento dentro da cabine levando-se em conta os dispositivos de comando?

Resp.: Sua posição poderá ser centralizada na cabine se os dispositivos de comando tiverem posição fixa nos braços do assento e em sua lateral.

Isolamento térmico e acústico do operador:

- Quais fontes de ruído e temperatura o operador estará exposto?

Resp.: O operador estará exposto ao ruído do funcionamento dos cortadores da frente de corte, do gerador de energia por motor de combustão interna e dos despalhadores. Quanto à temperatura, a cabine estará exposta ao sol no campo de colheita, assim como à umidade e chuva, repercutindo assim, em seu operador.

- O operador estará exposto a agentes químicos? Quais?

Resp.: Sim, estará exposto à aerodispersóides, como por exemplo, poeira do campo de colheita e resíduos de palhas de cana-de-açúcar.

- Como a cabine poderá ficar isolada do meio externo?

Resp.: Através de um invólucro de material translúcido fixado em uma armação metálica ou de fibra de carbono (alternativa 7.1.5 pg.76).

- É necessário o condicionamento térmico do ar dentro da cabine? Que dispositivos de ventilação podem ser usados?

Resp.: Uma cabine climatizada deve ser a melhor alternativa quando se deseja um conforto térmico do operador (alternativa 7.4.1 pg.76).

- Quais equipamentos de proteção individual o operador terá necessidade de usar dentro da cabine?

Resp.: Caso o isolamento seja suficiente para os agentes físicos e químicos não haverá necessidade de EPI.

- Qual o nível de isolamento que a cabine deve ter em relação à ruído e conforto térmico?

Resp.: Um isolamento total dos ruídos externos e com sistema de climatização seria a alternativa mais viável, apesar de ter um custo bem mais elevado que um isolamento parcial sem climatização e com a vazão dos ruídos (alternativa 7.4.1 pg.76).

- Como será o acesso e decesso da cabine?

Resp.: Na alternativa de um isolamento total, uma porta lateral na esquerda do operador (dentro da cabine), de abrir e fechar lateralmente com interface emborrachada e maçaneta giratória, seria uma alternativa viável para manter o isolamento (alternativas 2.1.1 e 2.4.1 pg.71).

- Quais dispositivos de travamento de portas poderão ser usados?

Resp.: Maçanetas giratórias com haste em forma de alavancas são alternativas viáveis, tanto pelo fator robustez, como em caso da necessidade de aberturas de emergência e também para manter o isolamento (alternativa 2.4.1 pg.71).

- Como será o decesso da cabine em caso de emergência?

Resp.: No caso de cabine fixa no alto do chassi, um teto móvel pode ser útil para saída de emergência em caso de capotagem. Para a alternativa de uma cabine móvel, uma saída através de uma porta de emergência na parte posterior da cabine seria uma alternativa viável. Essas duas alternativas mantêm a cabine isolada do meio externo quando a utilização da saída de emergência não estiver sendo usada.

- Que material poderá ser utilizado no isolamento da cabine com o meio externo, levando-se em conta ruído e temperatura?

Resp.: Carbonato cristalino seria uma alternativa viável devido a sua boa resistência e flexibilidade na moldagem em armações com design curvilíneo e segurança em caso de acidentes pelo fato de não apresentar estilhaços na ocorrência de quebras (alternativa 3.1.2 pg.72).

5.3 – Seleção das alternativas viáveis de projeto

Com base nas respostas das perguntas propostas pela metodologia de Clark e Corlett e dos parâmetros de projeto segundo a equipe de projetos da UNIMAC CANA, estão selecionadas abaixo, a partir dos quadros morfológicos, as alternativas mais viáveis de projeto:

Acessibilidade ao posto de trabalho:

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Porta de acesso	Porta de abertura lateral	
Escada de acesso	Escada fixa com degraus verticais	Escada retrátil com degraus verticais
Piso da plataforma de acesso	Chapas de aço com revestimento antiderrapante emborrachado	
Elementos de apoio para o acesso	Corrimãos de ambos os lados da escada de acesso e plataforma	Corrimãos de ambos os lados da escada de acesso
Dispositivo de acionar/ travar porta de acesso	Maçanetas de giro com alavanca em forma de haste externa à superfície da porta;	

Campo de visão do operador:

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Material da interface transparente	Policarbonato cristalino;	
Dispositivo para visão traseira	Retrovisores laterais;	Cabine giratória;
Tamanho e posição das aberturas das janelas	Janelas amplas laterais, traseiras e frontais, acima e abaixo da linha de cintura do operador na posição sentada;	
Inclinação da janela frontal	Esférica	

Dimensionamento do espaço de trabalho:

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Altura da cabine	Será de 1800 mm, considerando o acesso do maior usuário;	
Largura da cabine	Será de 1200 mm, considerando painel lateral e projetado para o maior usuário com encostos laterais;	
Comprimento da cabine	Será de 1200 mm, considerando o assento e o espaço para o maior usuário, respeitando o tamanho da plataforma da máquina;	Será de 1200 mm, considerando o assento e o espaço para a acomodação do maior usuário;
Posição do assento	Ligeiramente descentralizado transversalmente (devido painel lateral) e com regulagem longitudinal;	
Compartimento para bagagem	Sem compartimento para bagagem	
Posicionamento dos dispositivos de controle	<p>Joystick no apoio para o braço esquerdo: controle de direção e velocidade da máquina;</p> <p>Joystick no console lateral direito: abrir e fechar caçamba traseira;</p> <p>Botões liga/desliga no console lateral direito: acionar máquina e seus implementos;</p>	<p>Joystick no apoio para o braço esquerdo: controle de direção e velocidade da máquina;</p> <p>Joysticks no console lateral direito: abrir e fechar caçamba traseira e rotacionar a cabine.</p> <p>Botões liga/desliga no console lateral direito: acionar máquina e seus implementos;</p>
Posicionamento de painéis	No console lateral ao assento;	

Controle da máquina:

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Dispositivo para dirigir a máquina	Joystick	
Tipos de painéis de controle	<p>Para as respostas de controle do gerador, cortador da frente de corte, caçamba traseira e despalhador que tem duas posições (ligado ou desligado, aberta ou fechada), mostradores na forma de leds no painel, aceso quando ligado e apagado quando desligado e bom contraste utilizado com símbolos familiares</p> <p>Para os níveis de óleo e combustível do gerador, os níveis de energia e o controle de velocidade, mostradores com escalas fixas semi-circulares com ponteiros móveis (mostradores quantitativos analógicos semi-circulares), seguindo posições análogas ao estado da máquina.</p>	
Dispositivos de controle dos implementos	<p>Alavanca para abrir e fechar caçamba traseira;</p> <p>Botão liga/desliga para acionar/desacionar cortadores da frente de corte e despalhadores;</p>	<p>Alavanca para abrir e fechar caçamba traseira ;</p> <p>Botão liga/desliga para acionar/desacionar cortadores da frente de corte e despalhadores;</p> <p><i>Joystick</i> para rotacionar a cabine em volta da máquina e em torno de si mesma.</p>
Dispositivo para acionamento da máquina	Botão liga/desliga para acionar gerador e <i>joystick</i> para movimentar e direcionar a máquina;	
Dispositivos de emergência ou de segurança	Botão liga/desliga para parada rápida dos despalhadores e cortadores em casos de acidentes.	

Assento do operador:

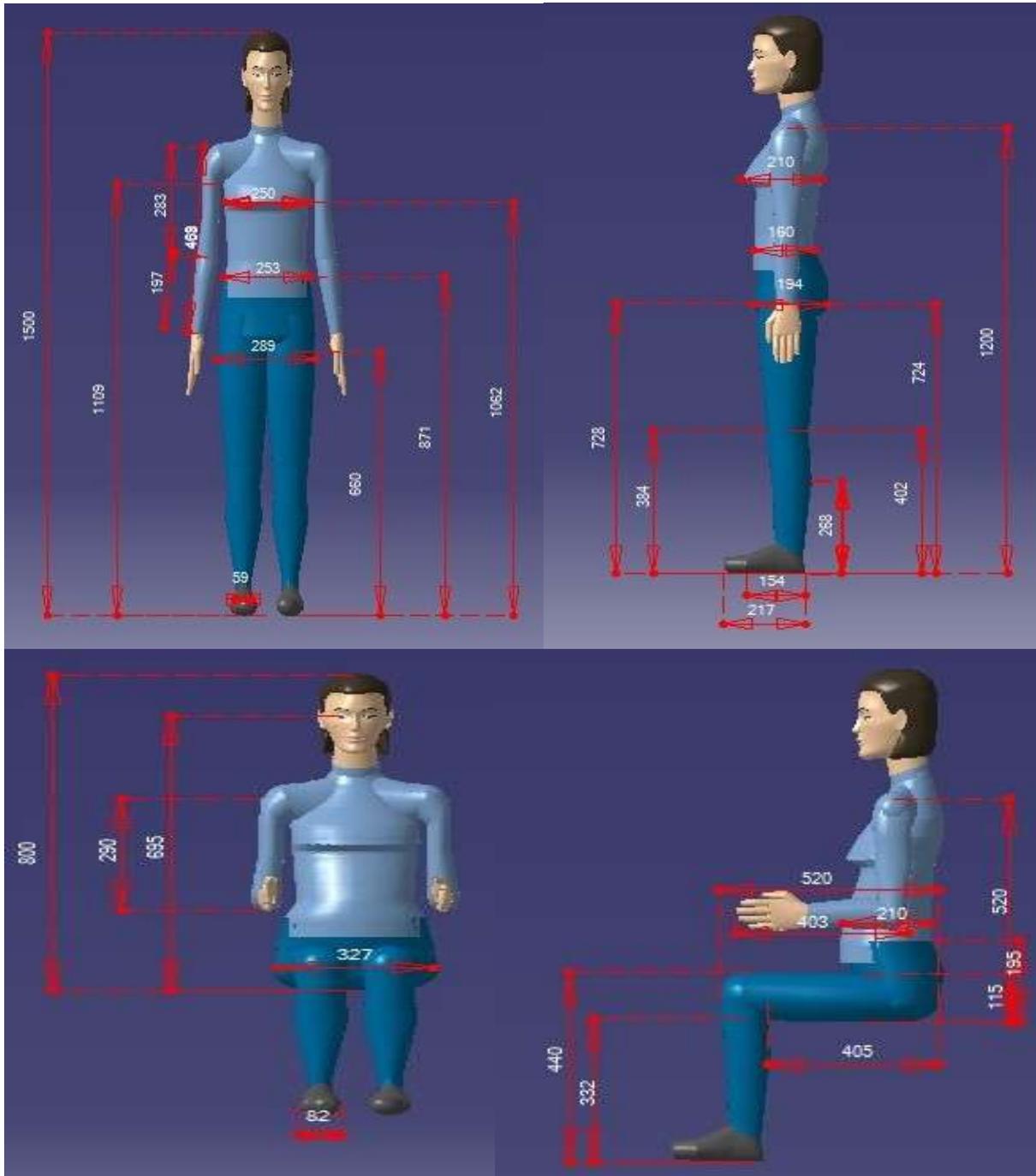
PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Característica física do assento	Forrado com espuma de espessura de 50 mm com densidade de 50 Kg . cm ⁻³ ;	
Característica física do encosto	Forrado com espuma de espessura de 50 mm com densidade de 50 Kg . cm ⁻³ ;	
Regulagem do assento	Regulagem de altura a partir do chão da cabine (mín. 310 e máx.450 mm), regulagem de profundidade a partir da carcaça frontal (mín. 546 e máx. 693 mm) e regulagem de apoio para o braço (altura mín.238 e máx. 245 mm);	
Regulagem do encosto	Regulagem de inclinação do encosto entre 90 à 110°;	
Revestimento do assento/encosto	Tecido impermeabilizante;	
Sistema de amortecimento do assento	Amortecimento na cabine;	

Isolamento térmico e acústico:

PARÂMETROS DO SISTEMA	ALTERNATIVAS SELECIONADAS	
	CABINE FIXA	CABINE MÓVEL
Material externo da estrutura da cabine	Fibra de carbono;	
Revestimento térmico	Sem revestimento;	
Revestimento acústico	Sem revestimento;	
Dispositivos de ventilação	Sistema de ar condicionado.	

5.4 – Seleção de manequins virtuais para as simulações

Com o objetivo de auxiliar no dimensionamento da cabine e realizar simulações do campo visual do operador em relação aos operadores da frente de corte e da própria máquina, foram configurados os manequins do menor usuário (5% feminino), usuário médio (50% masculino) e maior usuário (95% masculino) a partir de dados antropométricos retirados do software ergokit. As Figuras 21, 22 e 23 exibem esses valores, respectivamente:



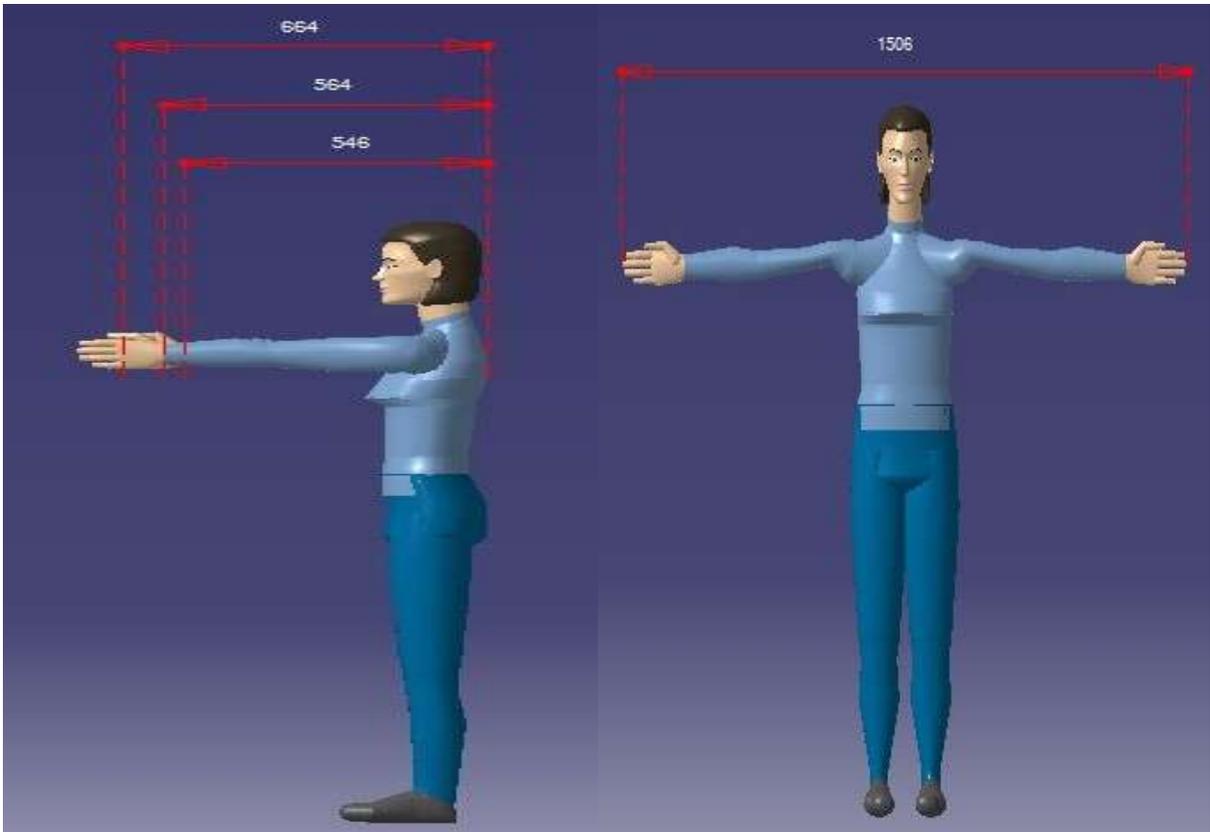
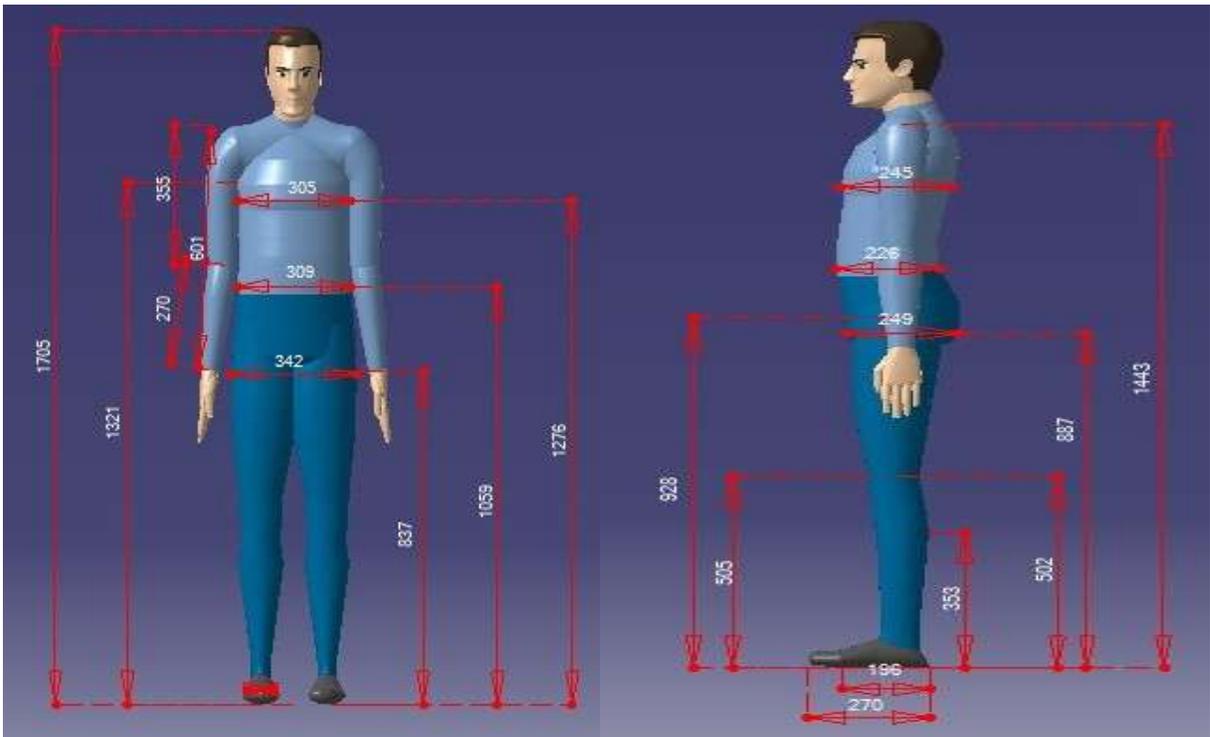


Figura 21 – Percentil 5% feminino (menor usuário)



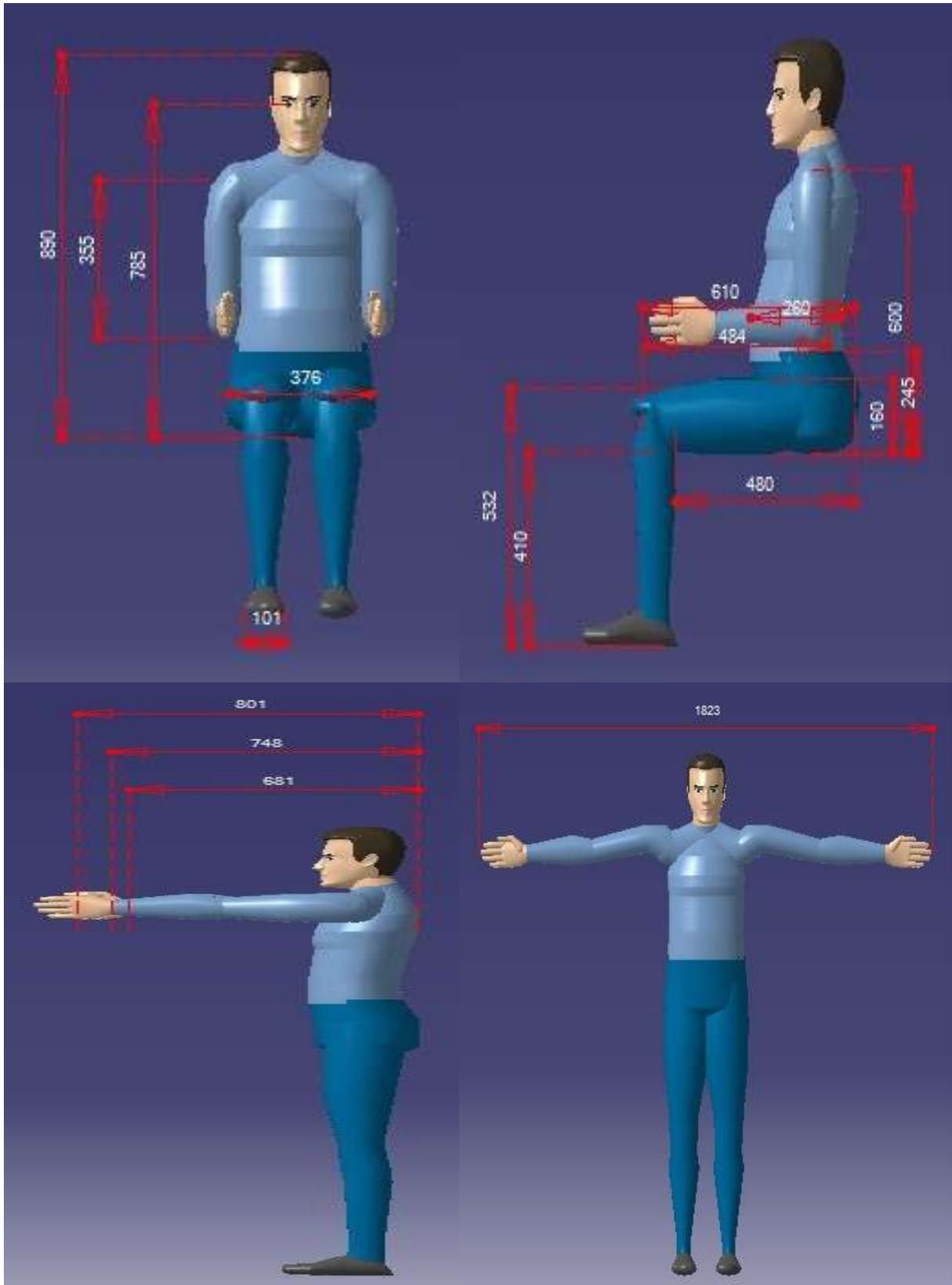
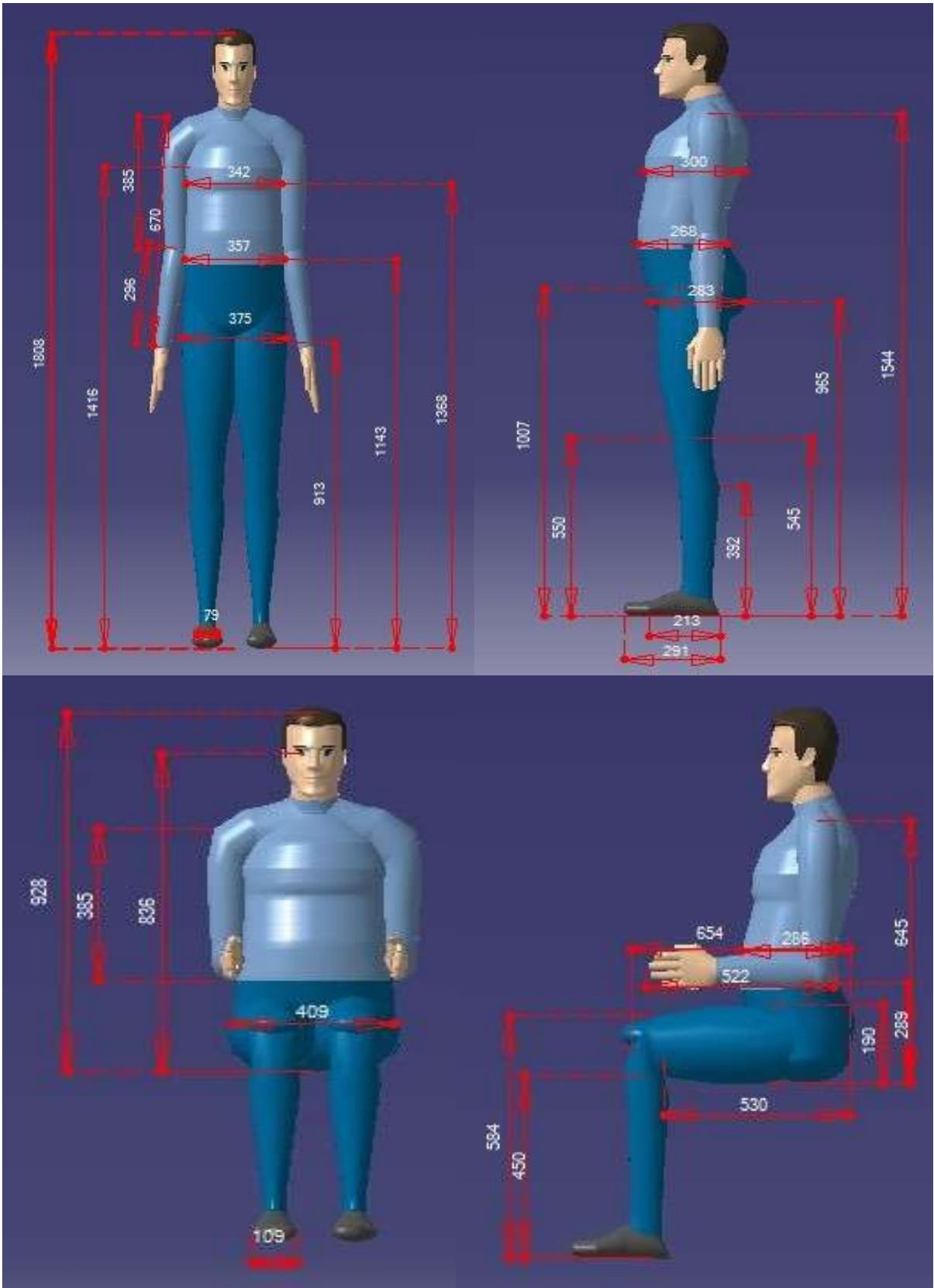


Figura 22 – Percentil 50% masculino (usuário médio)



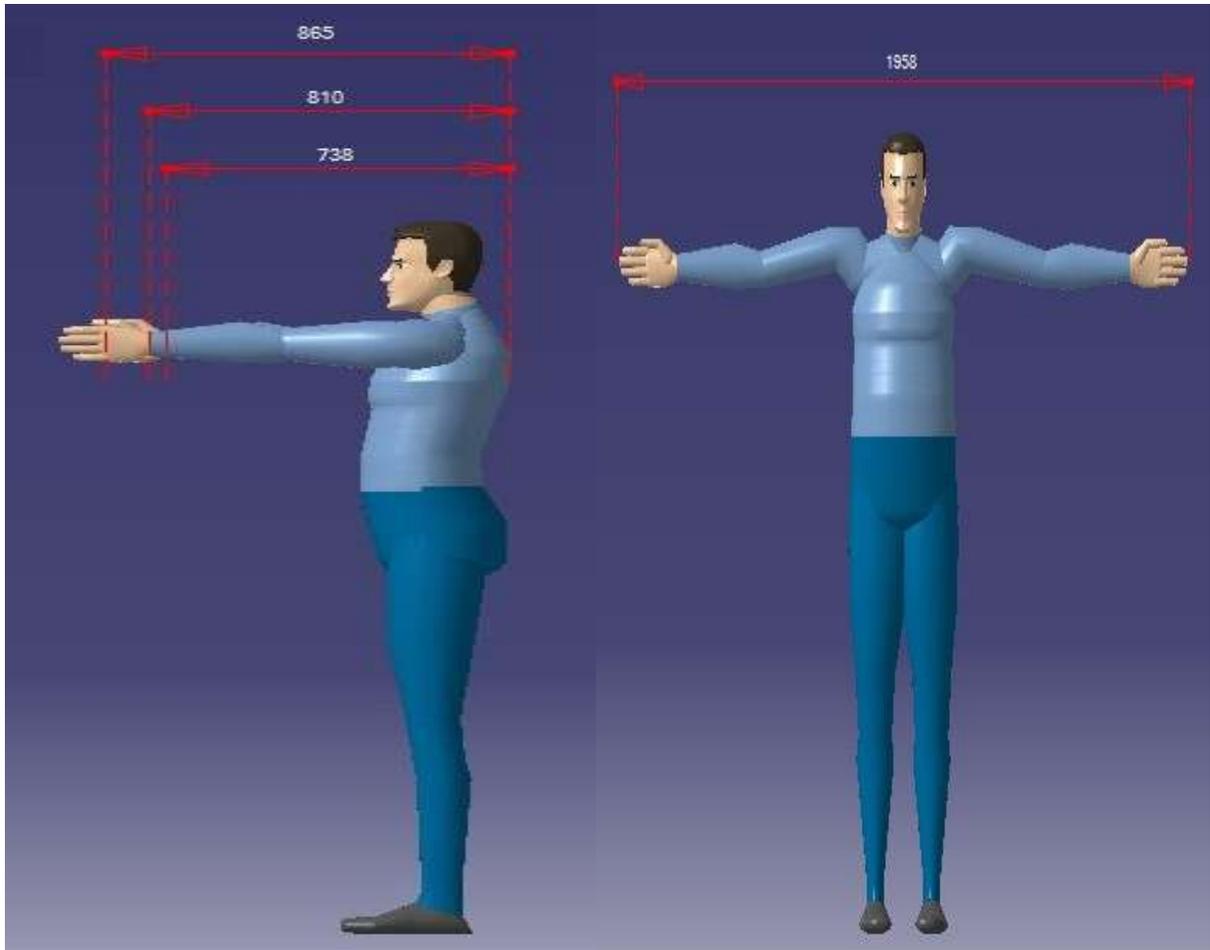


Figura 23 – Percentil 95% masculino (maior usuário)

5.5 – Dimensionamento e *layout* da cabine e assento

A partir das recomendações contidas na revisão bibliográfica, das escolhas das alternativas nos quadros morfológicos através da metodologia de Clark e Corlett, dos parâmetros de projeto estipulados pela equipe da UNIMAC CANA e das medidas antropométricas referendadas na amostra da população SERPRO contido no software Ergokit, as Figura 24 e 25 apresentam o dimensionamento da cabine e seu *layout*. Esta configuração é a mesma para as alternativas de cabine fixa ou móvel em relação à máquina.

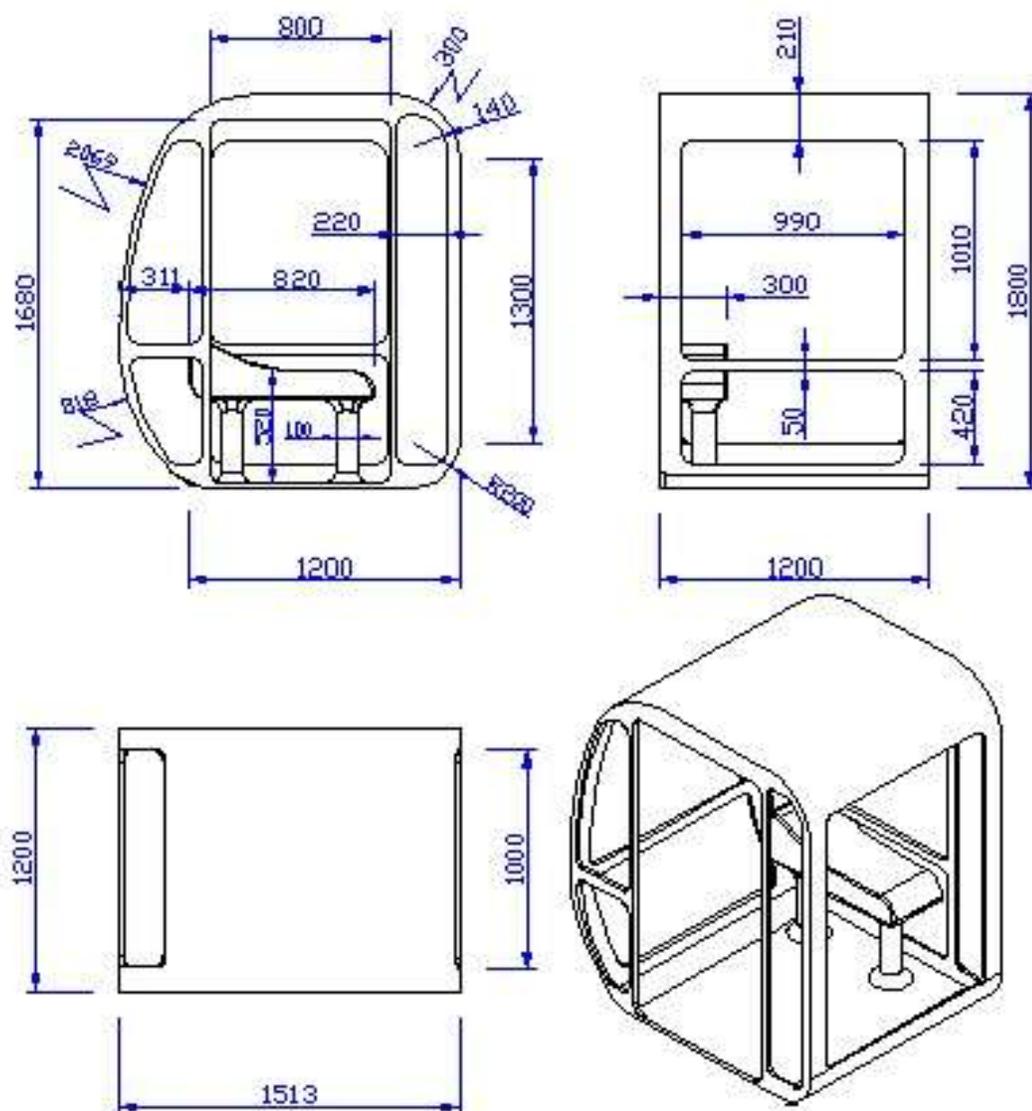


Figura 24 – Dimensionamento da cabine da UNIMAC CANA com o painel.



Figura 25 – Layout da cabine da UNIMAC CANA

A Figura 26 apresenta as dimensões do assento, com suas respectivas regulagens de altura e inclinação do encosto, além da regulagem do apoio para o braço na altura e profundidade, contendo o joystick de controle da máquina:

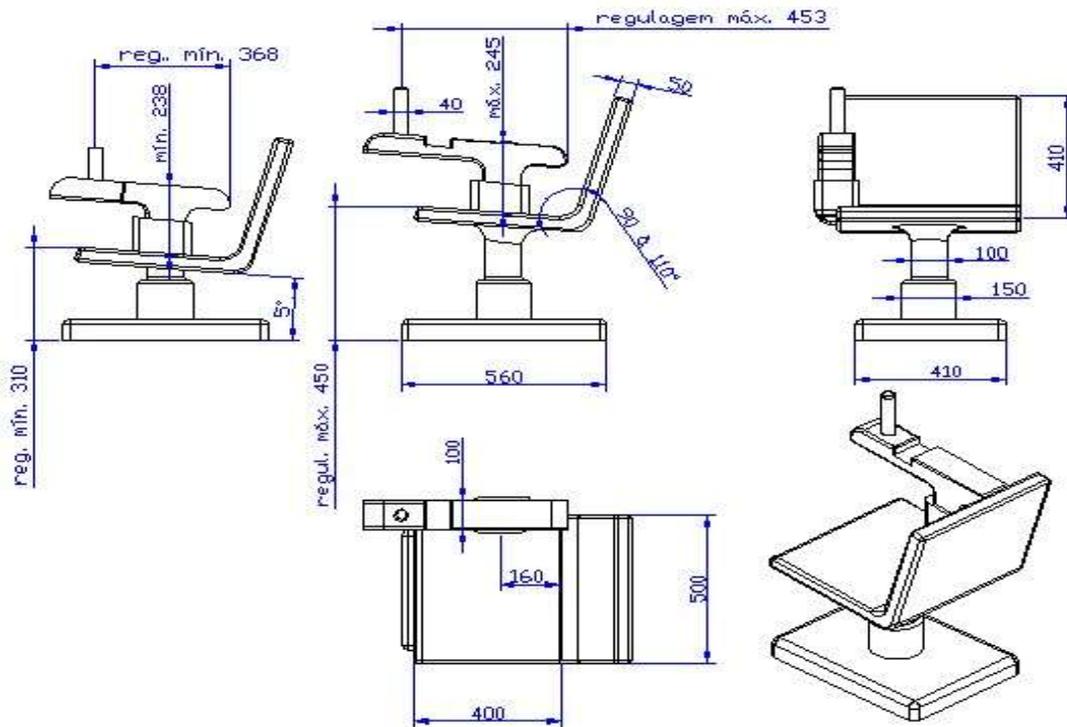


Fig. 26 – Dimensionamento do assento com regulagens de altura e inclinação do encosto



Figura 27 – Layout do assento e seu apoio de braço com regulagem

A Figura 27 revela o modelo do assento.

A regulagem de profundidade do assento em relação à carcaça frontal da cabine e sua localização transversal são mostradas na Figura 28:

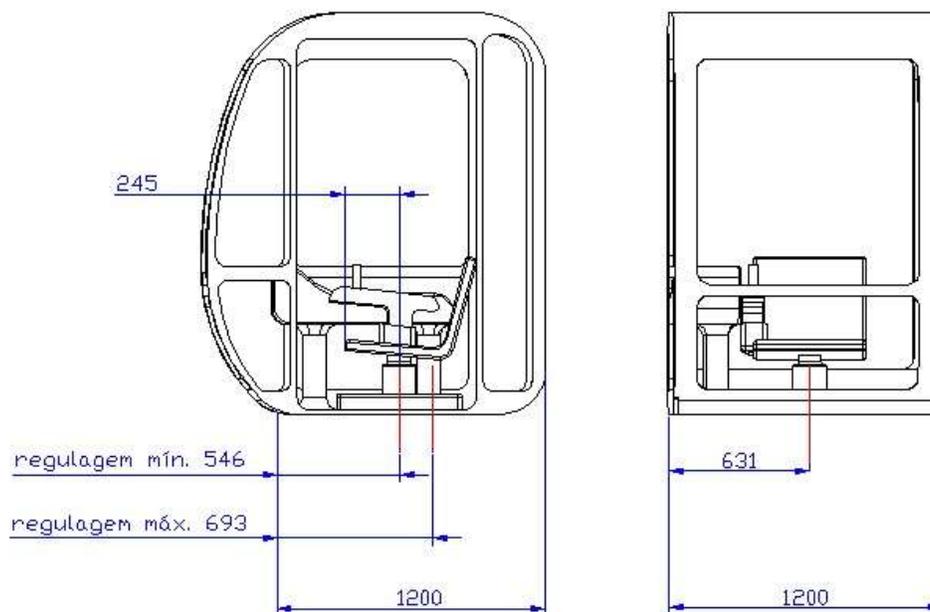


Figura 28 – Regulagem de profundidade do assento

A Figura 29 mostra o layout da montagem do assento dentro da cabine:

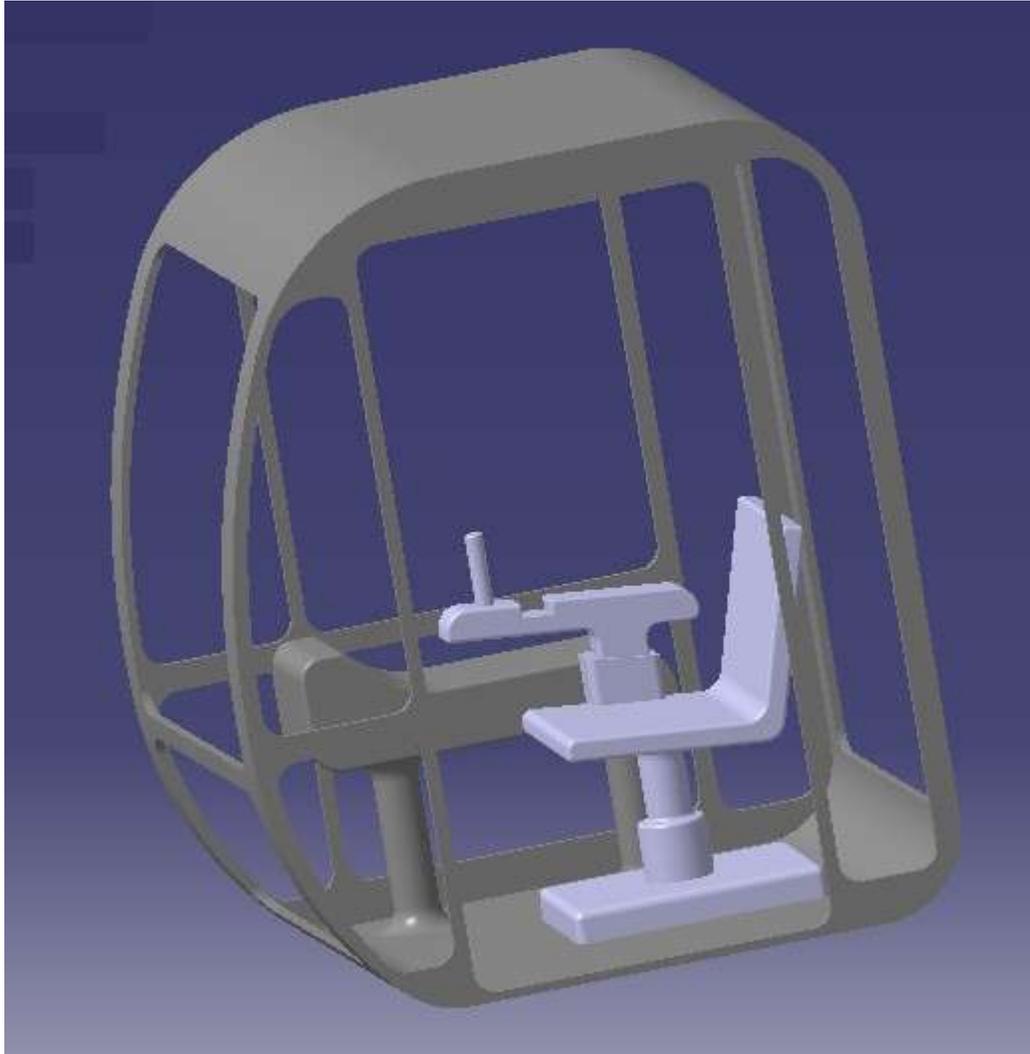


Figura 29 – Layout da montagem do assento dentro da cabine

5.6 – Verificação do espaço de trabalho e das áreas de alcance do operador

Através da inserção dos manequins dentro da cabine e sobre o assento com suas respectivas regulagens, verificou-se a compatibilidade entre as dimensões estipuladas neste trabalho com seus respectivos usuários, levando-se em conta para isso o menor (5% feminino), o médio (50% masculino) e o maior (95% masculino) usuário da população amostrada pelo software Ergokit.

A Figura 30 mostra o manequim do maior usuário (95% masculino) inserido na cabine, onde as regulagens de profundidade e altura do assento são máximas, a regulagem da inclinação do encosto é de 100° e a regulagem de altura e profundidade do apoio de braço contendo o *joystick* de controle de direção e velocidade da máquina também são máximas:

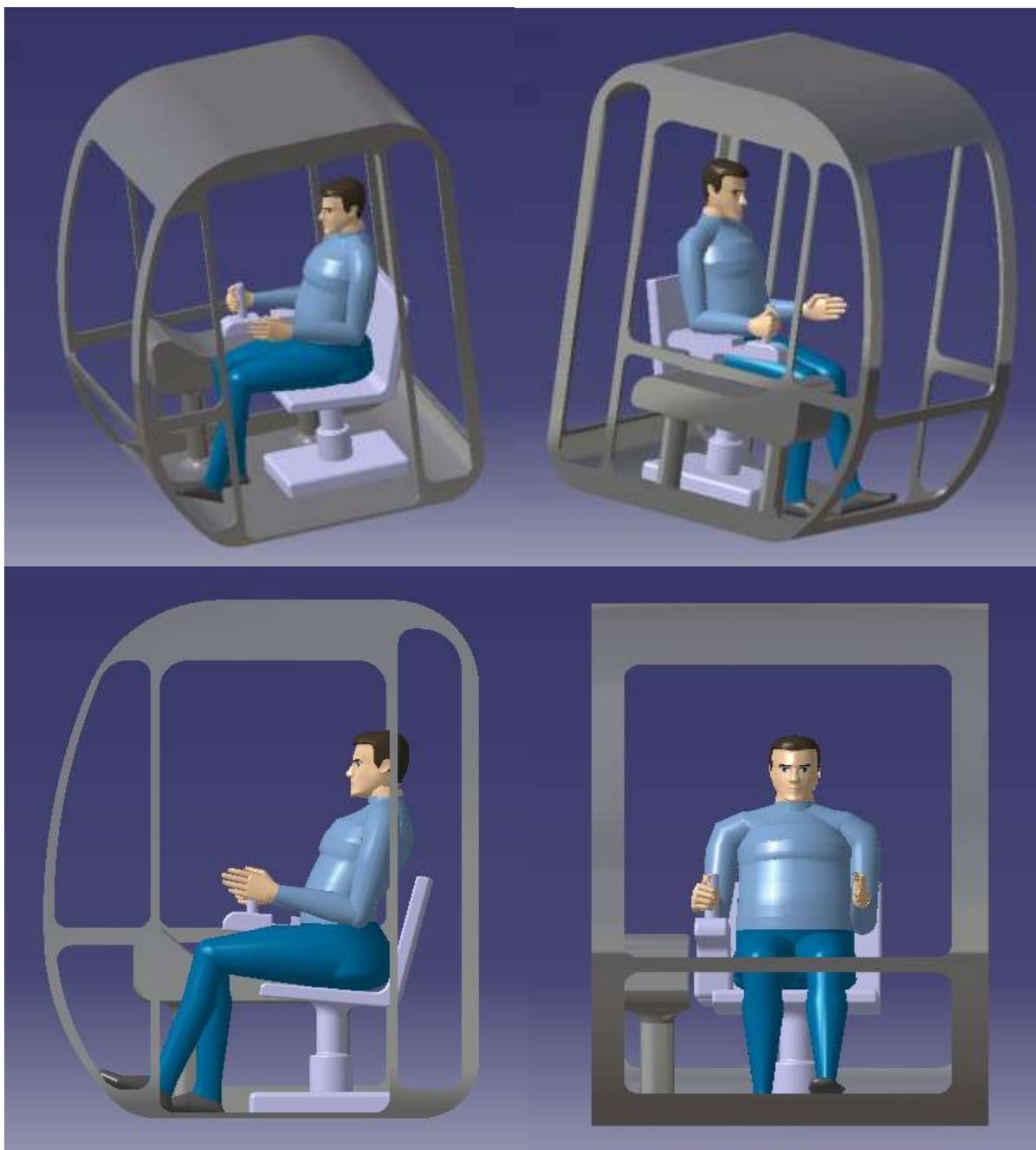


Figura 30 – Maior usuário inserido na cabine

A Figura 31 mostra a zona de alcance do maior usuário (95% masculino) em relação ao painel de comando lateral fixo dentro da cabine:

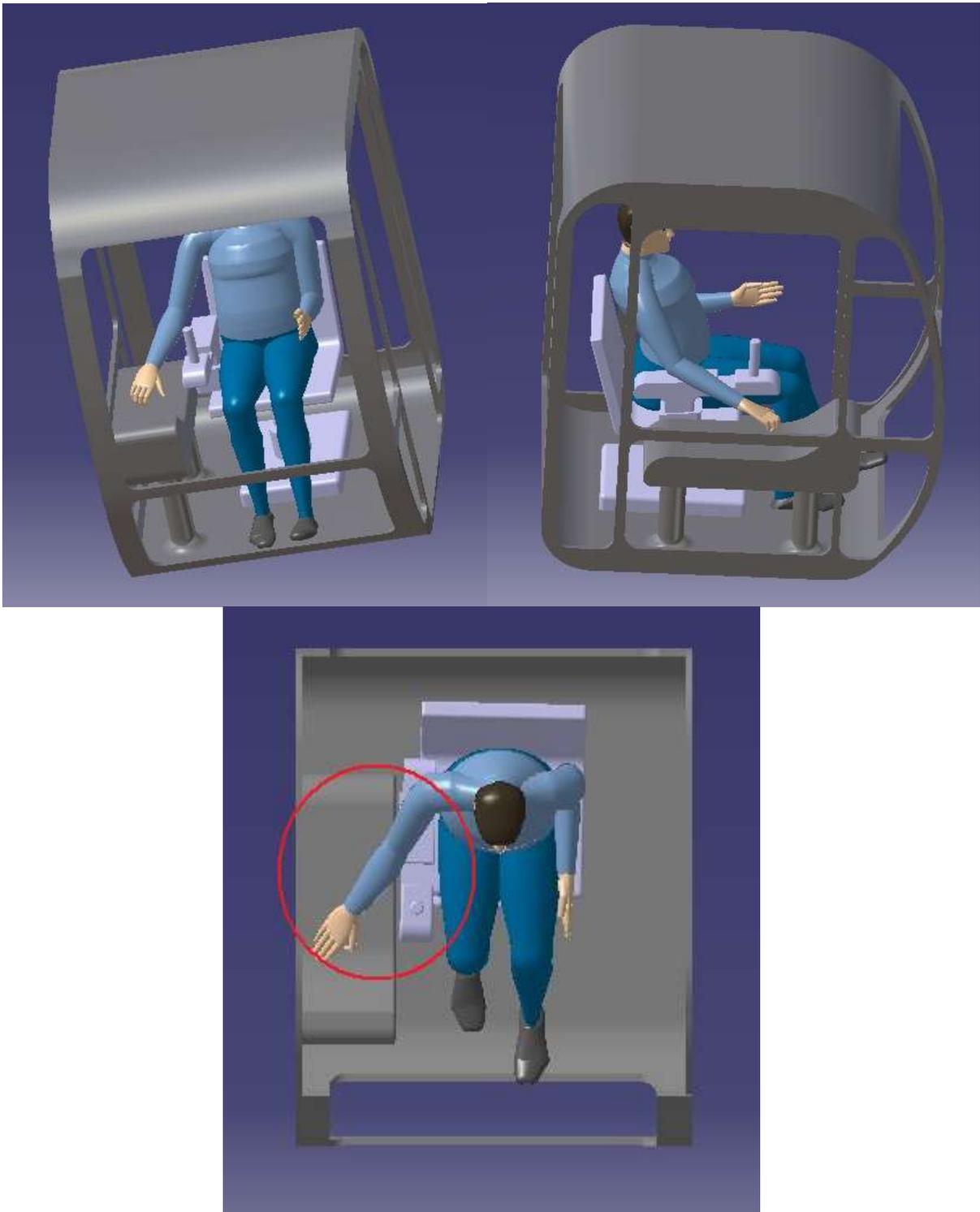


Figura 31 – Zona de alcance do maior usuário

A Figura 32 mostra o manequim do usuário médio (50% masc.) inserido na cabine, onde as regulagens de profundidade e altura do assento são intermediárias, a regulagem da inclinação do encosto é de 100° e a regulagem de altura e profundidade do apoio de braço contendo o joystick de controle de direção e velocidade da máquina são intermediárias:

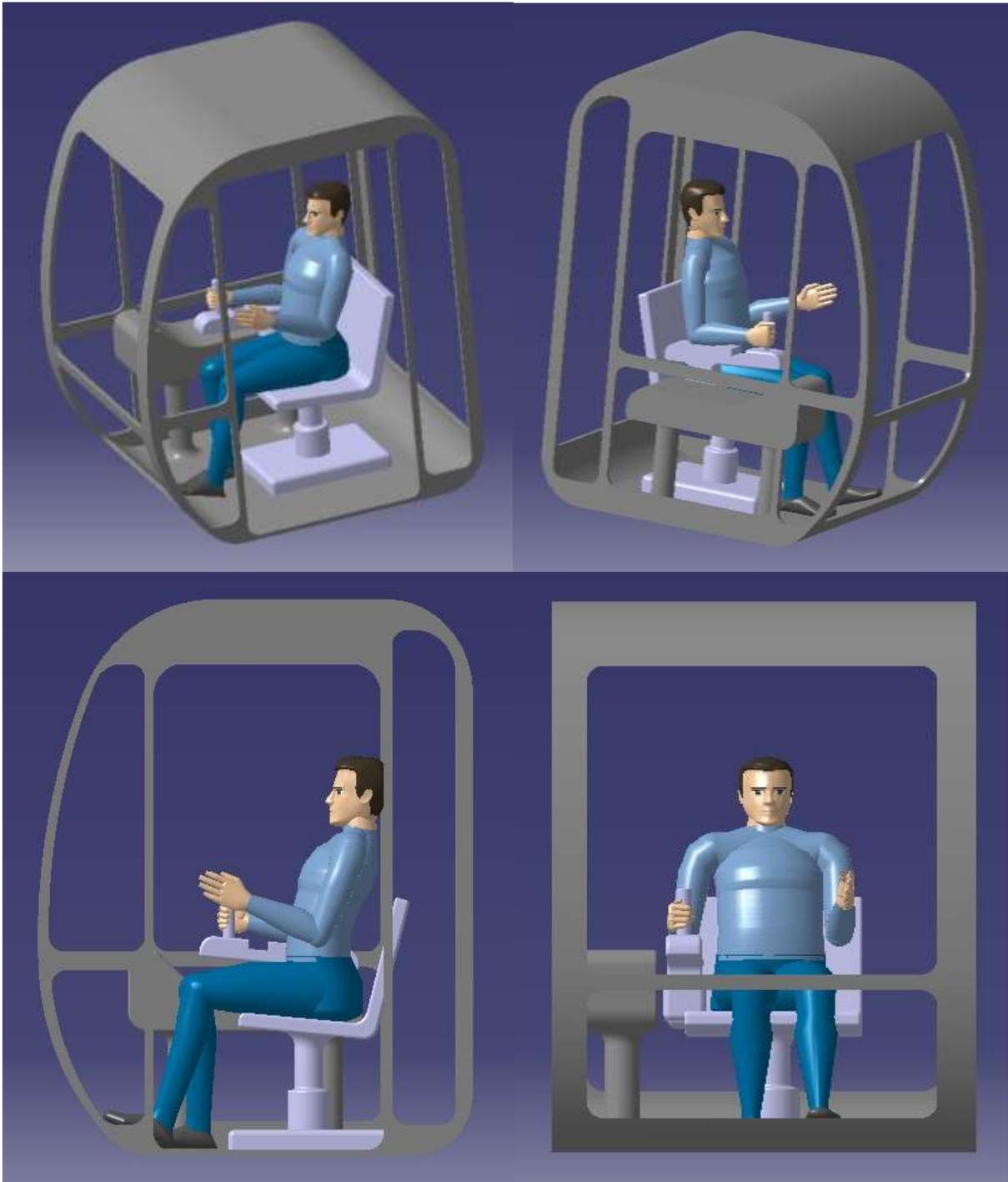


Figura 32 – Usuário médio inserido na cabine

A Figura 33 mostra a zona de alcance do usuário médio (50% masculino) em relação ao painel de comando lateral fixo dentro da cabine:

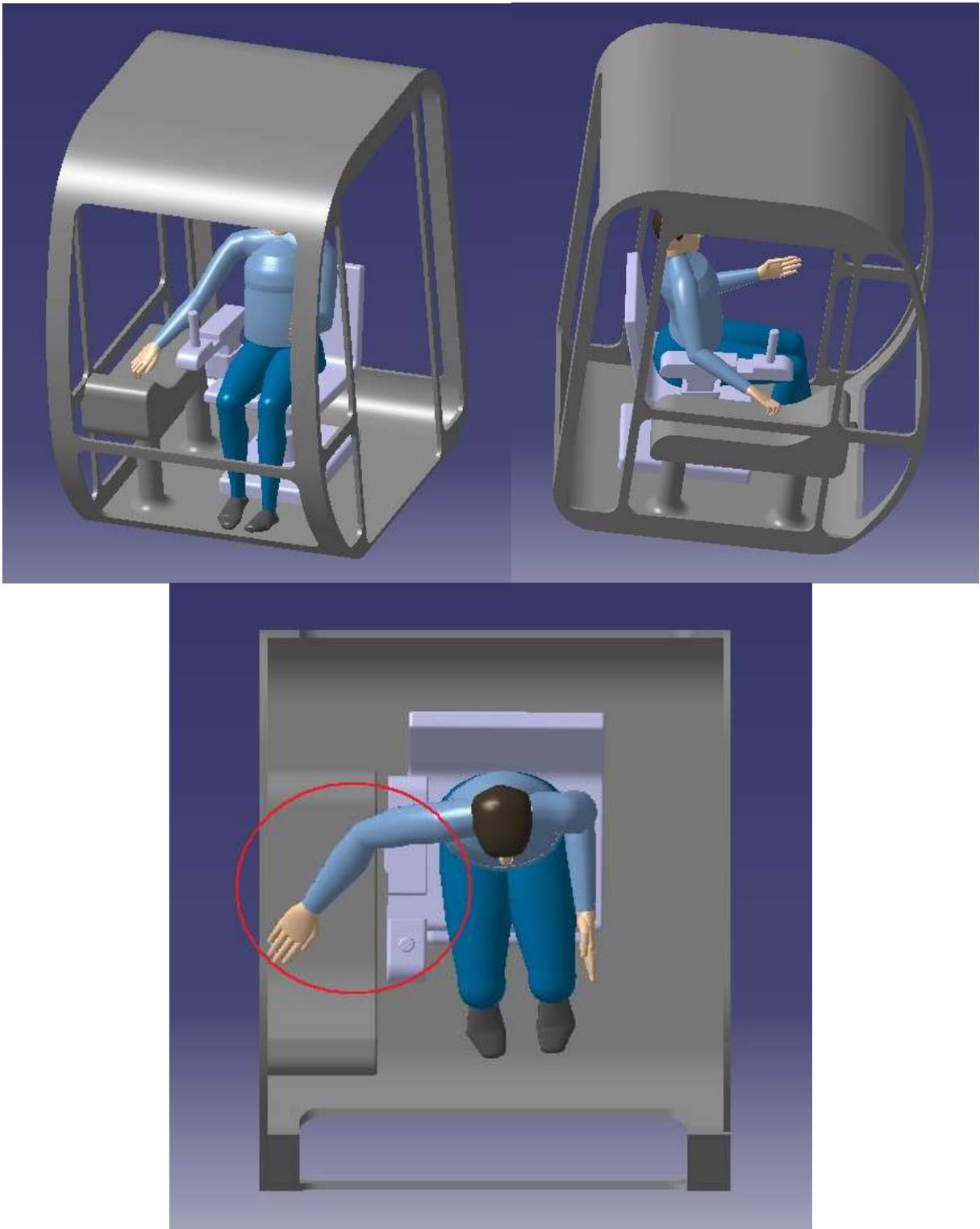


Figura 33 – Zona de alcance do usuário médio

A Figura 34 mostra o manequim do menor usuário (5% feminino) inserido na cabine, onde as regulagens de profundidade e altura do assento são os limites mínimos, a regulagem da inclinação do encosto é de 100° e a regulagem de altura e profundidade do apoio de braço contendo o joystick de controle de direção e velocidade da máquina também são mínimas:

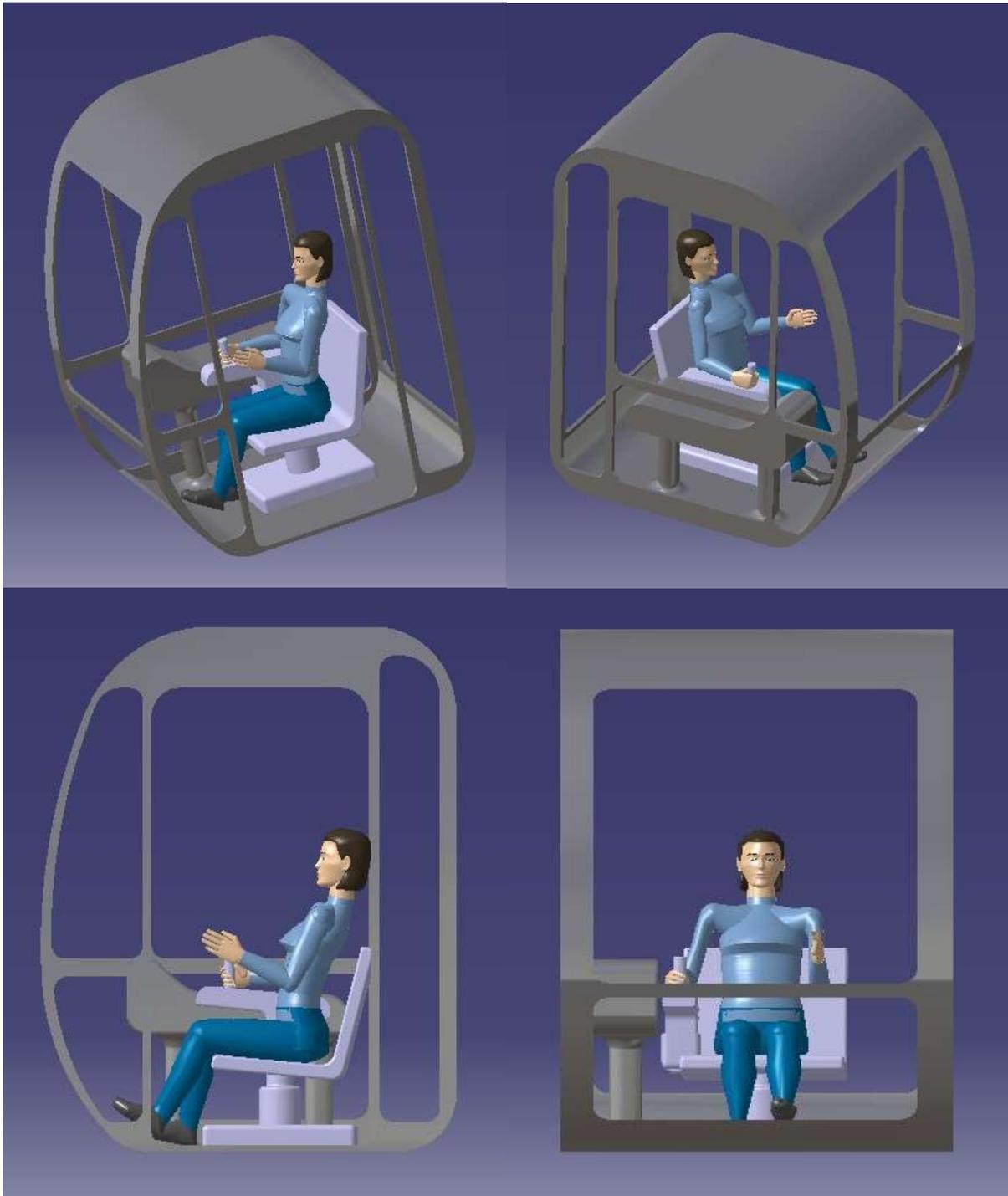


Figura 34 – Menor usuário inserido na cabine

A Figura 35 mostra a zona de alcance do menor usuário (5% feminino) em relação ao painel de comando lateral fixo dentro da cabine:

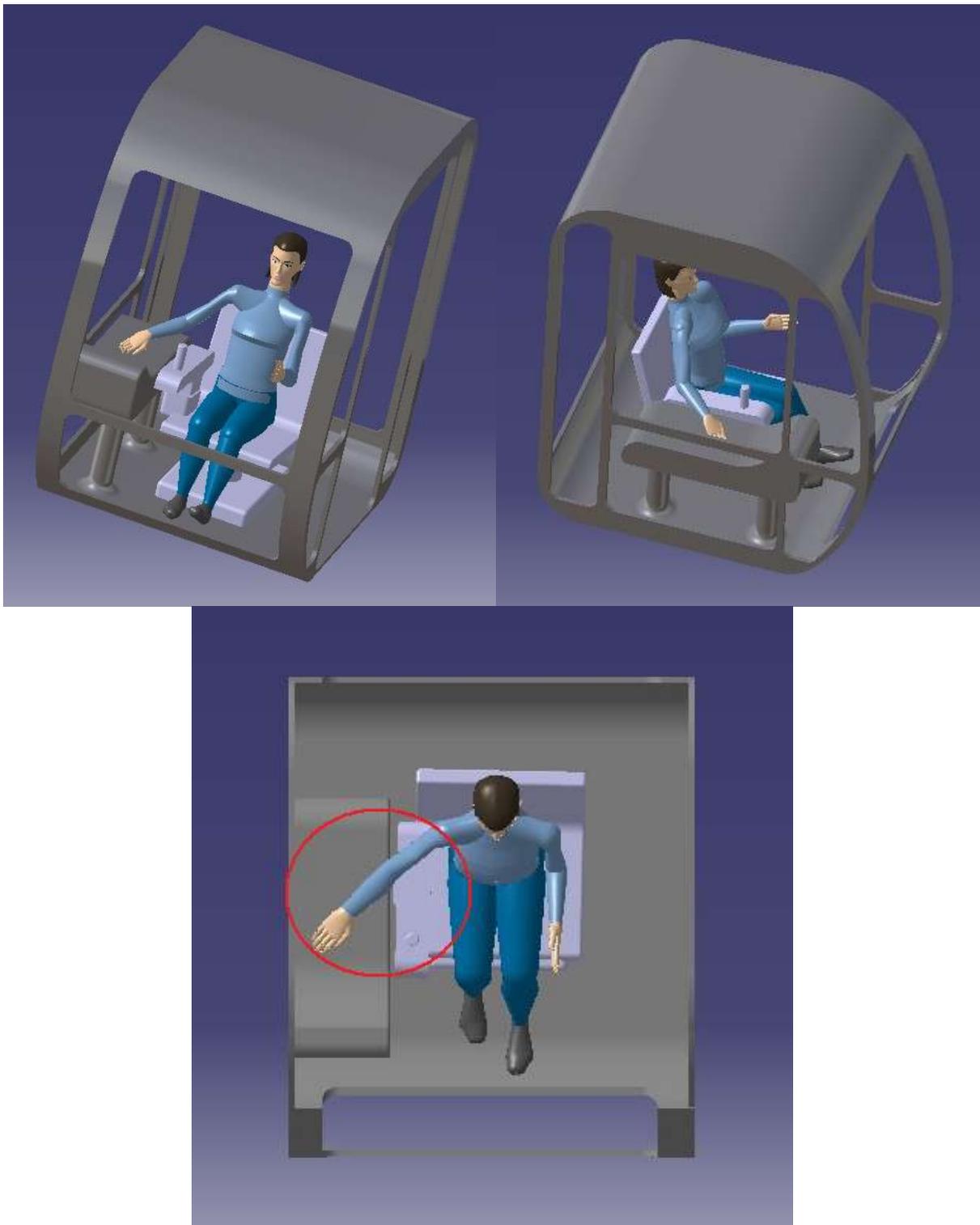


Figura 35 – Zona de alcance do menor usuário

As inserções dos manequins dentro da cabine exibem a compatibilidade entre o dimensionamento da cabine, assento e painel de comando — com suas respectivas regulagens — com a população da amostragem, através dos percentil 5% feminino, 50% masculino e 95% masculino.

5.7 – Posições da cabine em relação à máquina e os campos visuais do operador

Neste trabalho foram propostas duas alternativas de posicionamento da cabine em relação à máquina UNIMAC CANA. A primeira delas propôs uma cabine fixada sobre a plataforma acoplada em cima dos despalhadores e do conjunto moto-gerador. A segunda proposta corresponde a uma cabine móvel que gira em torno desta plataforma, traçando um semi círculo ao redor da máquina, além de girar em torno de seu próprio eixo.

As duas alternativas serão mostradas a seguir. As simulações dos campos visuais dos operadores em ambos os casos foram realizadas através do software CatiaV5R19 da Dassault, objetivando posterior discussão sobre as alternativas.

Uma das opções de campo visual simulado pelo Catia é o ambinocular, ou seja, obtido através da fusão da visão dos dois globos oculares em um só enfoque que abrange a visão central mais a periférica em um ângulo de 120°, como mostra a Figura 36.

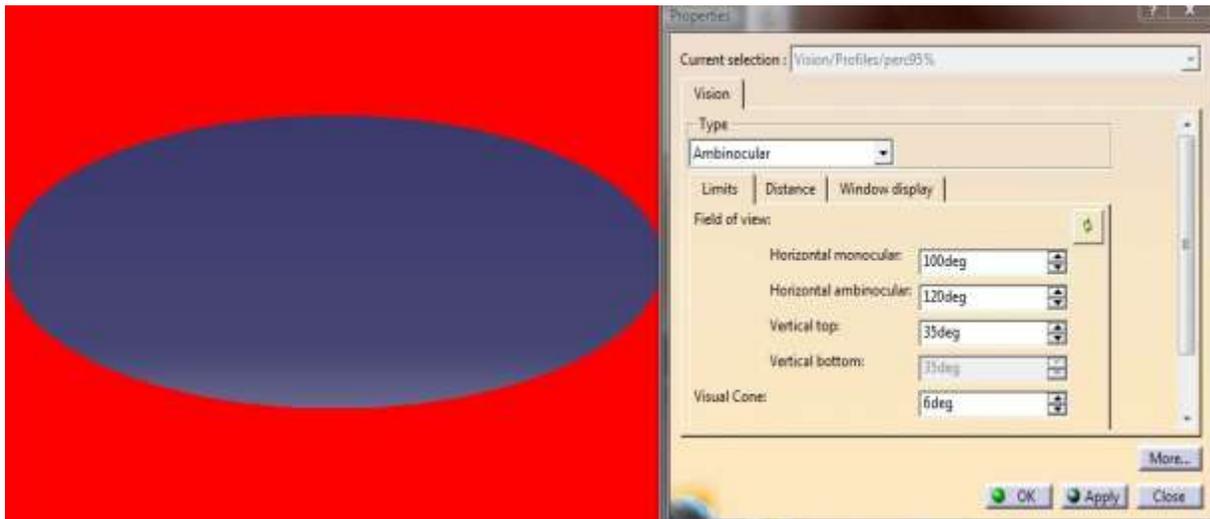


Figura 36 – Campo visual ambinocular gerado pelo Catia

5.7.1 – Cabine fixa

As Figuras 37 e 38 mostram a posição da cabine fixa em cima da máquina UNIMAC CANA, com seus respectivos operadores, representados pelo manequim percentil 50% masculino, tanto dentro da cabine quanto na frente de corte:

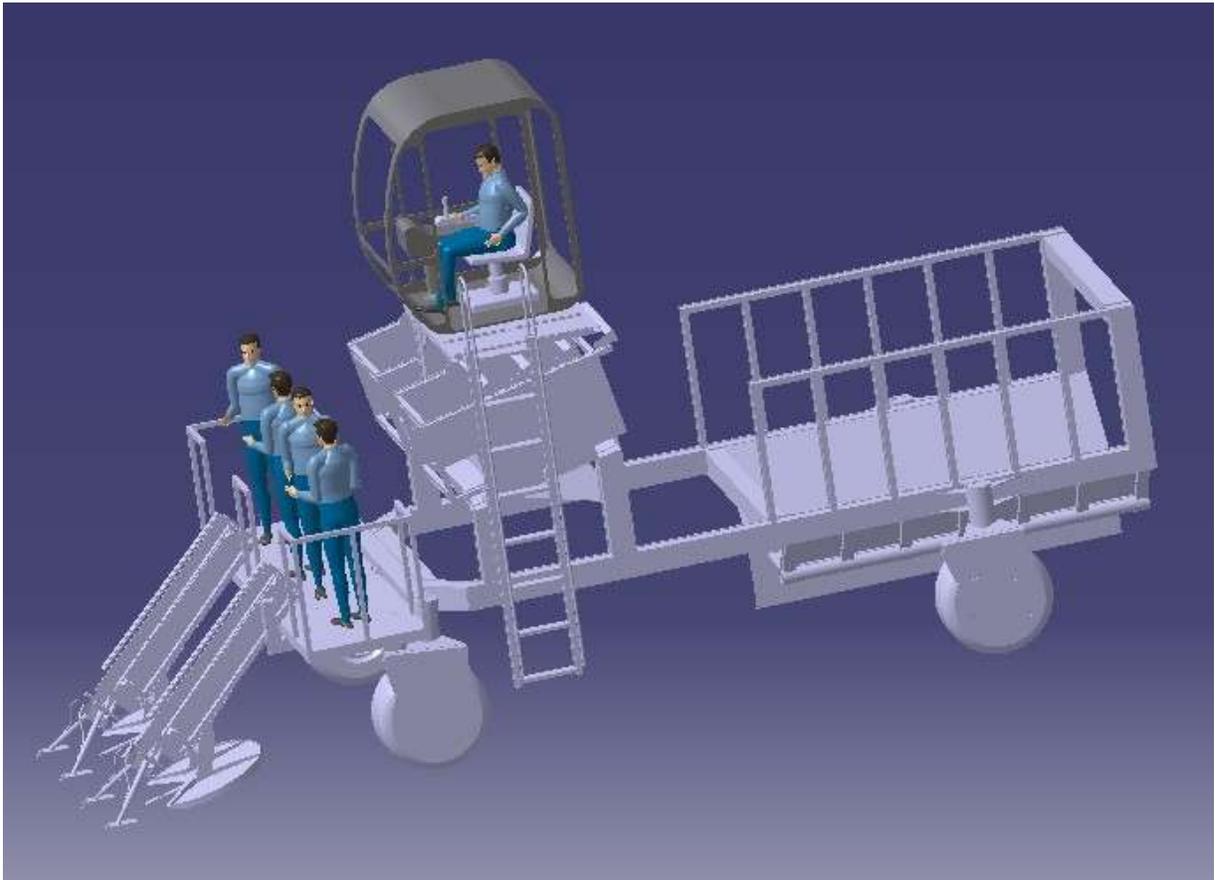


Figura 37 – Cabine fixa na máquina em perspectiva

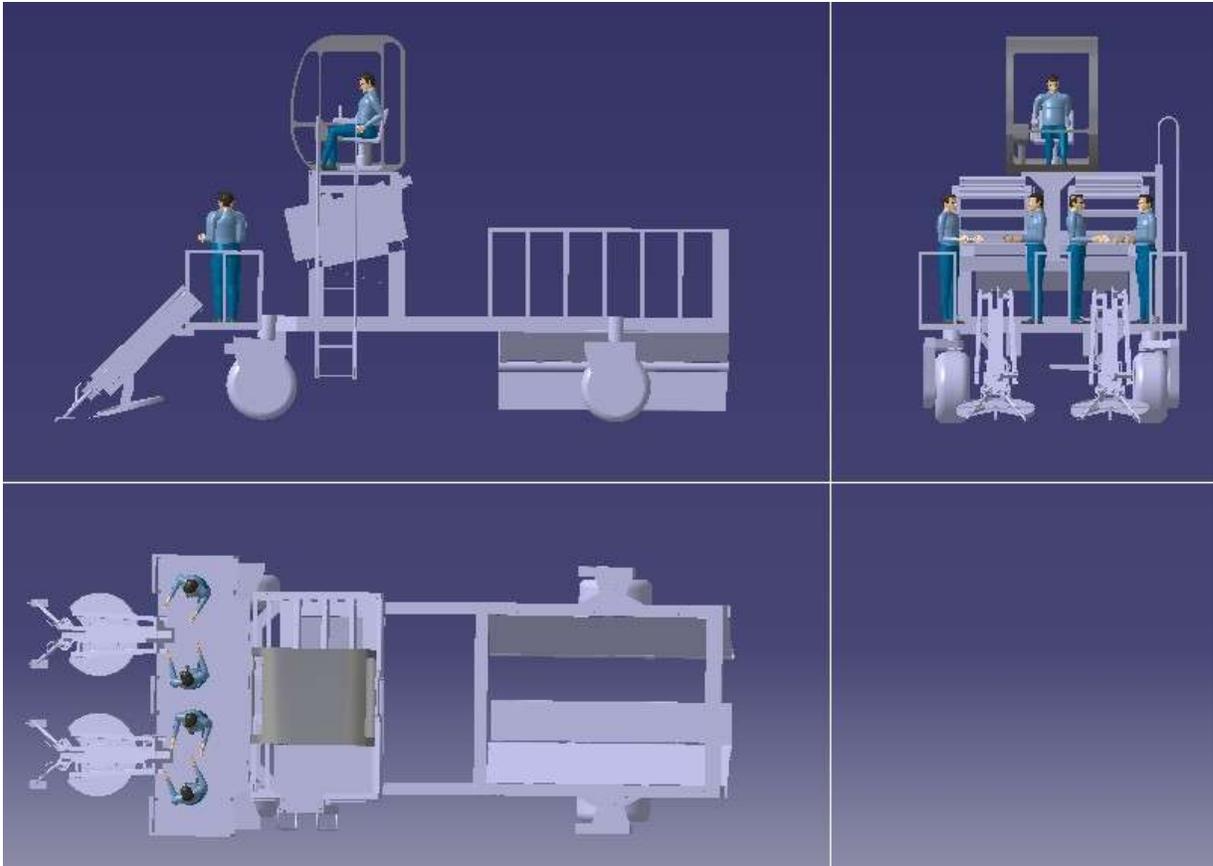


Figura 38 – Cabine fixa da máquina em suas projeções ortogonais

A seguir, a Figura 39 simula o campo visual do operador de dentro da cabine, representado pelo manequim 50% masculino na posição sentada, com seu tronco perpendicular em relação à plataforma da máquina. Ele deve focar os trabalhadores da frente de corte e ao mesmo tempo as fileiras de plantio de cana-de-açúcar e o painel de comando.

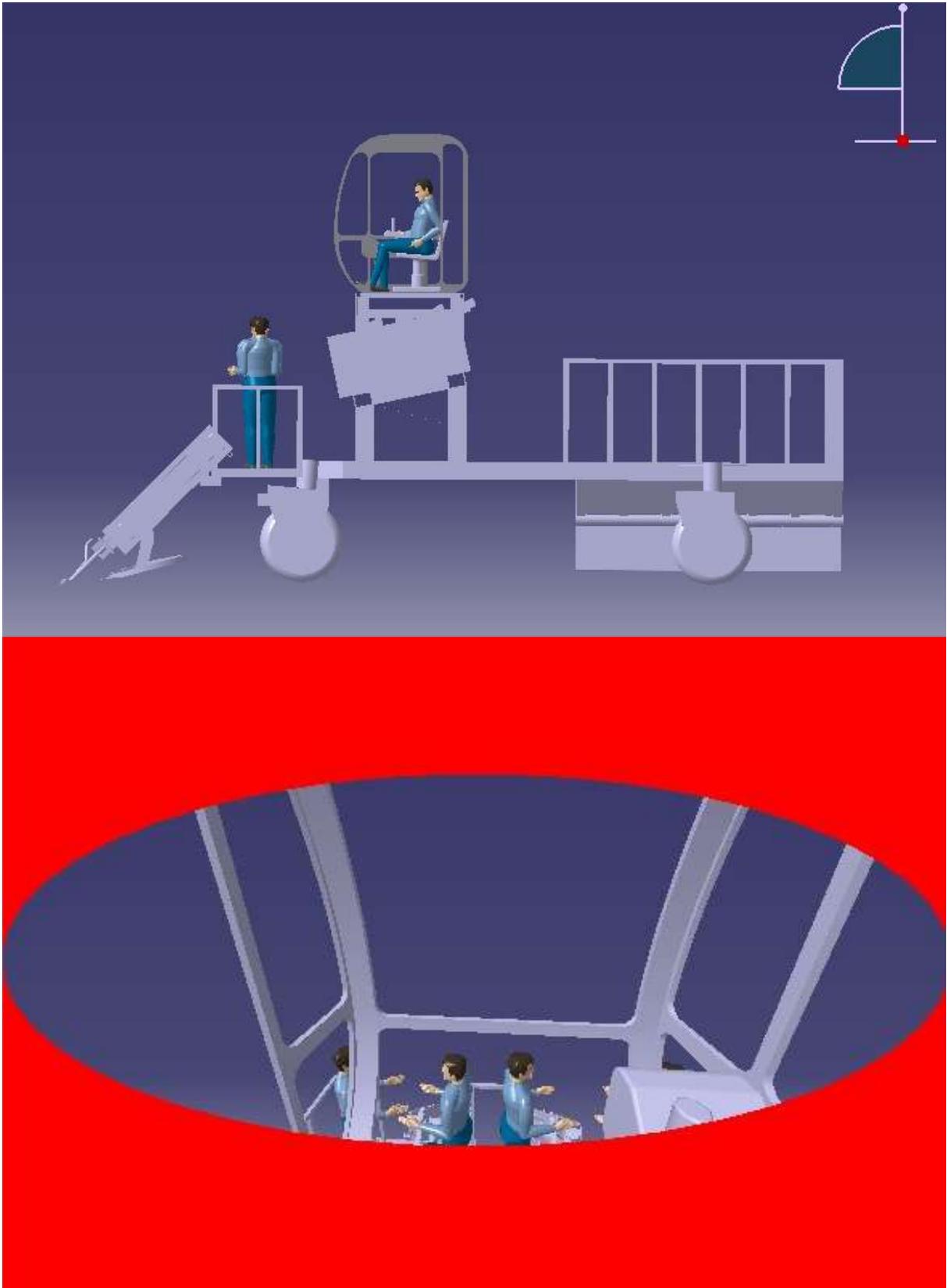


Figura 39 – Simulação do campo visual do operador na cabine fixa

Pela simulação acima se verificou que o operador teve uma visão parcial dos trabalhadores da frente de corte, que acabaram, por sua vez, obstruindo o campo visual das fileiras de plantio. Além disso, o painel de controle obstruiu sua visão lateral inferior direita, impedindo que o operador tivesse uma boa visualização dos trabalhadores da frente de corte, particularmente o da extremidade direita. Para o operador assumir o campo de visão mostrado na Figura 39, sua cabeça inclinou-se 15° com a linha do horizonte e seu tronco e abdômen permaneceram perpendiculares com o assento da cabine.

5.7.2 – Cabine móvel

As Figuras 40, 41, 42 e 43 mostram as posições extremas da cabine móvel ao redor da máquina UNIMAC CANA com seus respectivos operadores, representados pelo manequim percentil 50% masculino, tanto dentro da cabine quanto na frente de corte:

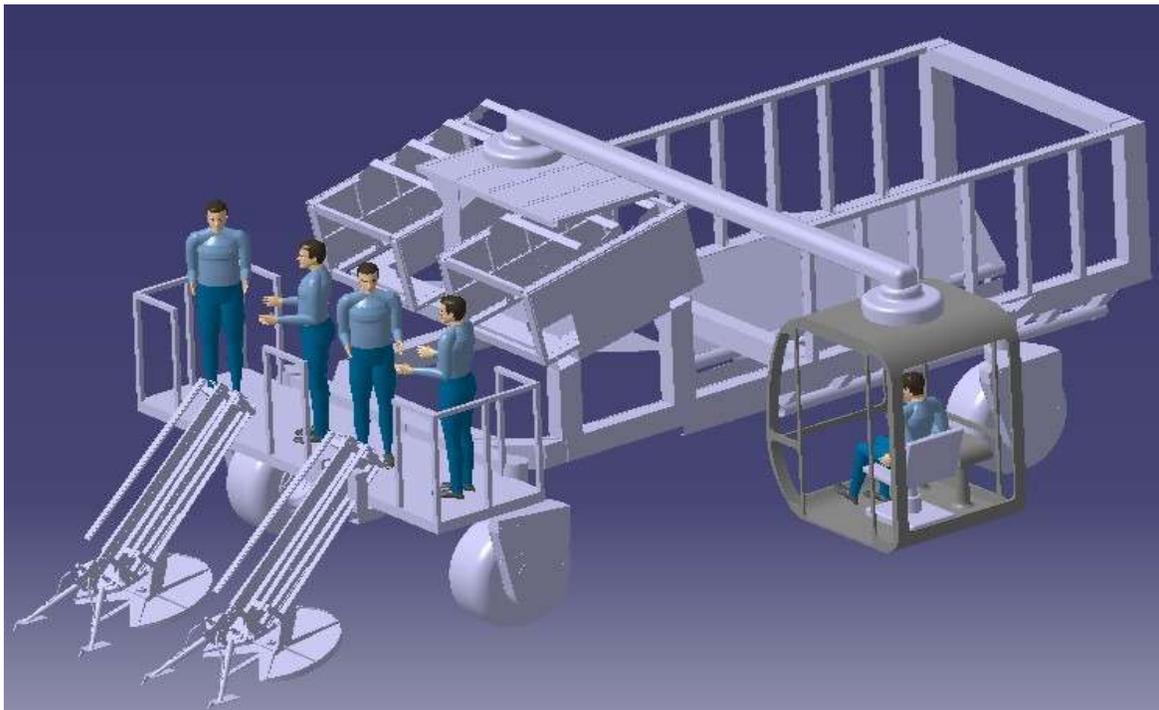


Figura 40 – Posição extrema lateral esquerda da cabine móvel

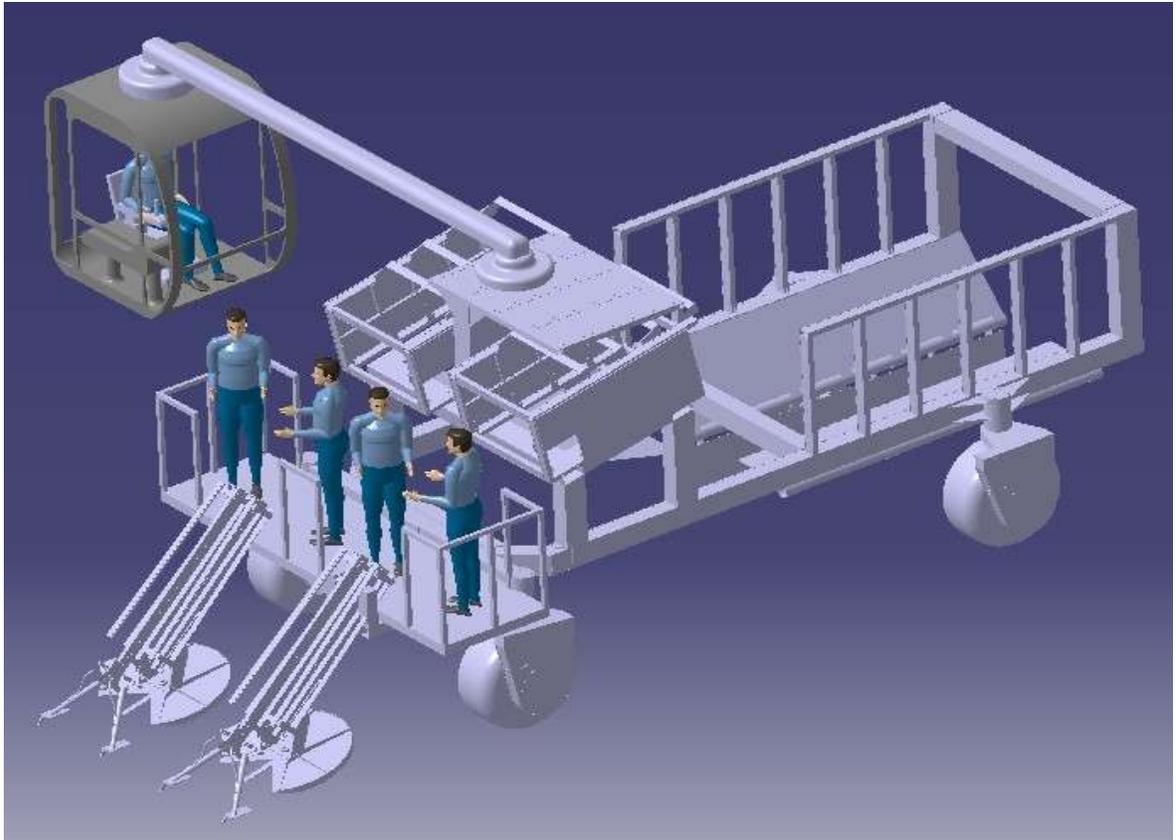


Figura 41 – Posição extrema lateral direita da cabine móvel

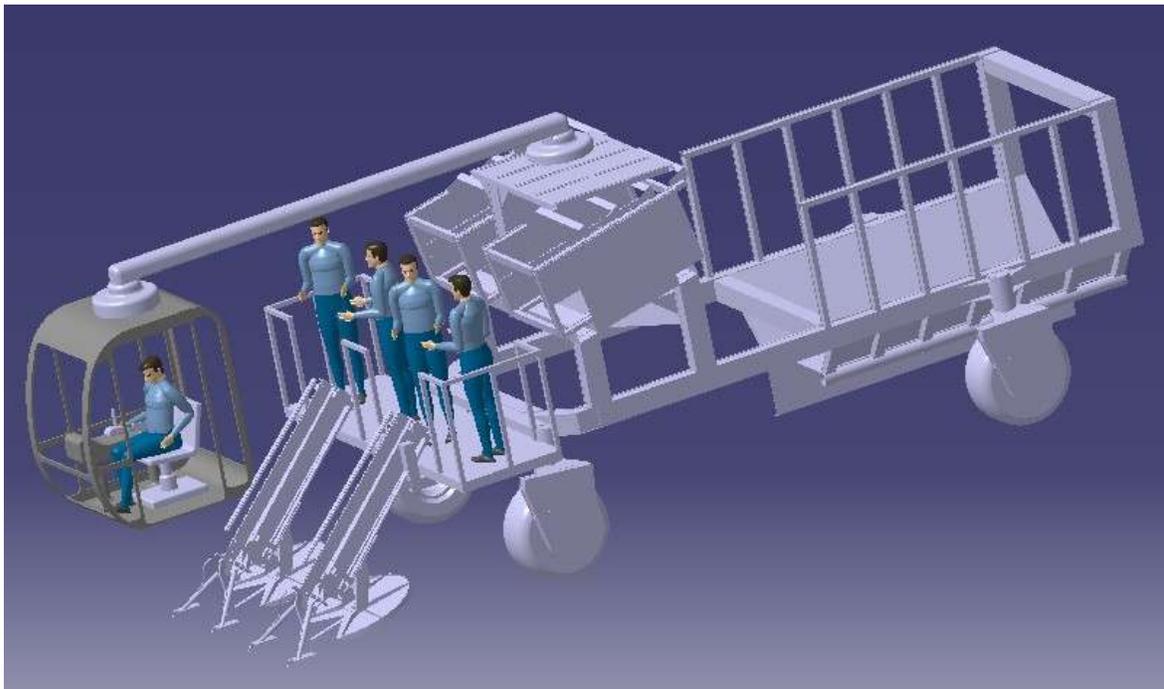


Figura 42 – Posição extrema frontal da cabine móvel.

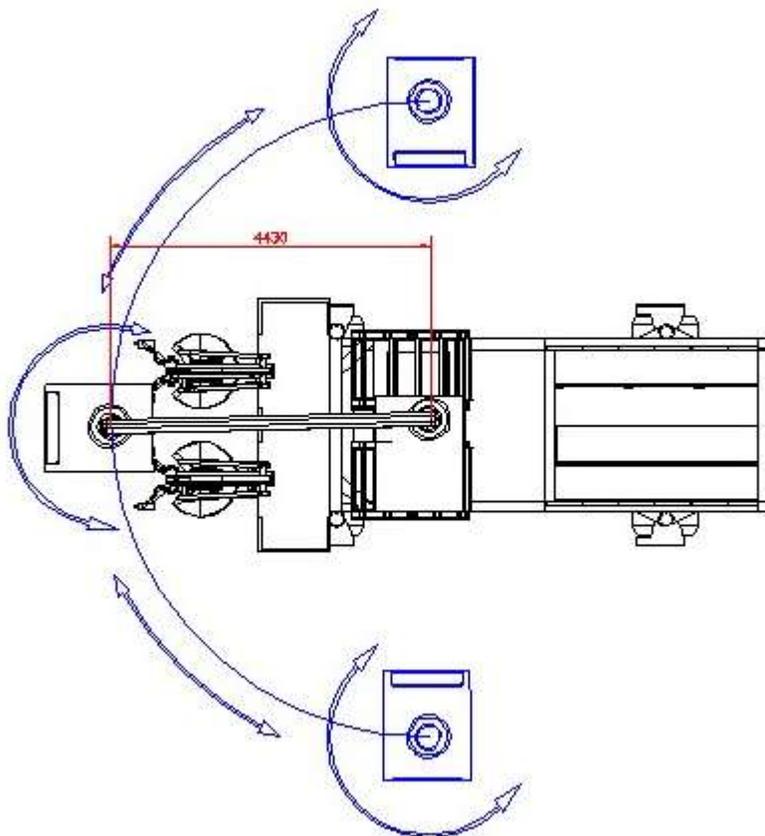


Figura 43 – Movimento da cabine em relação à máquina

De acordo com a Figura 43, a cabine pode rotacionar em torno de seu próprio eixo central e em relação ao centro da plataforma da máquina em um percurso que completa um semi círculo. Sua posição extrema frontal mostrada pela Figura 42 é viável quando o operador vai dirigir a máquina até o campo de plantio e as posições extremas mostradas pelas figuras 40 e 41 são posições adotadas da cabine para trabalho de colheita. Posições intermediárias à estes extremos podem ser adotadas conforme o operador se sentir mais confortável para comandar a máquina e melhorar seu campo de visão. Podemos observar também na Figura 43 que o comprimento da haste que deve apoiar a cabine a partir da plataforma da máquina é de 4430 mm.

Na Figura 44 é adotada uma posição intermediária da cabine e na Figura 45 mostrada qual será o campo visual do operador da cabine nesta situação.

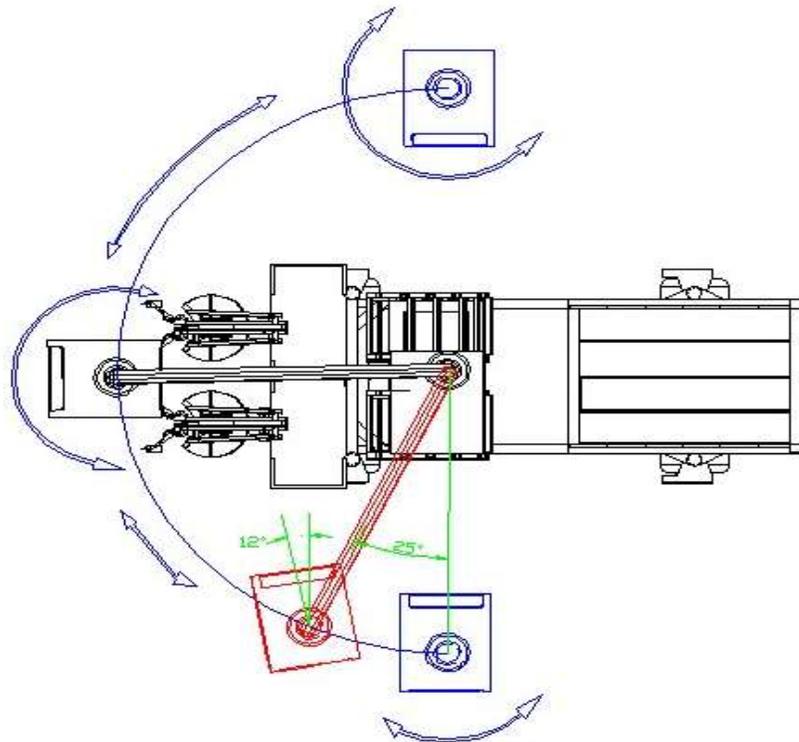
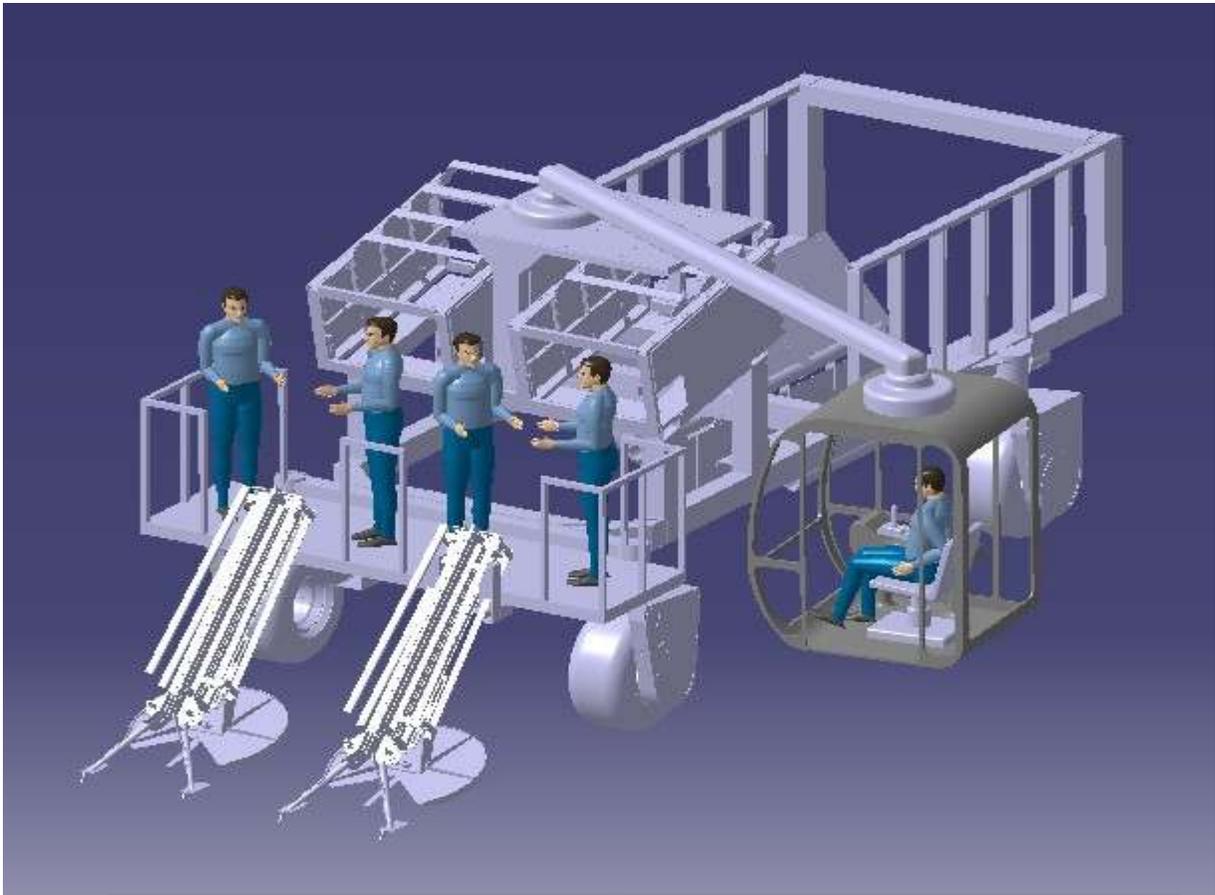


Figura 44 – Posição intermediária da cabine

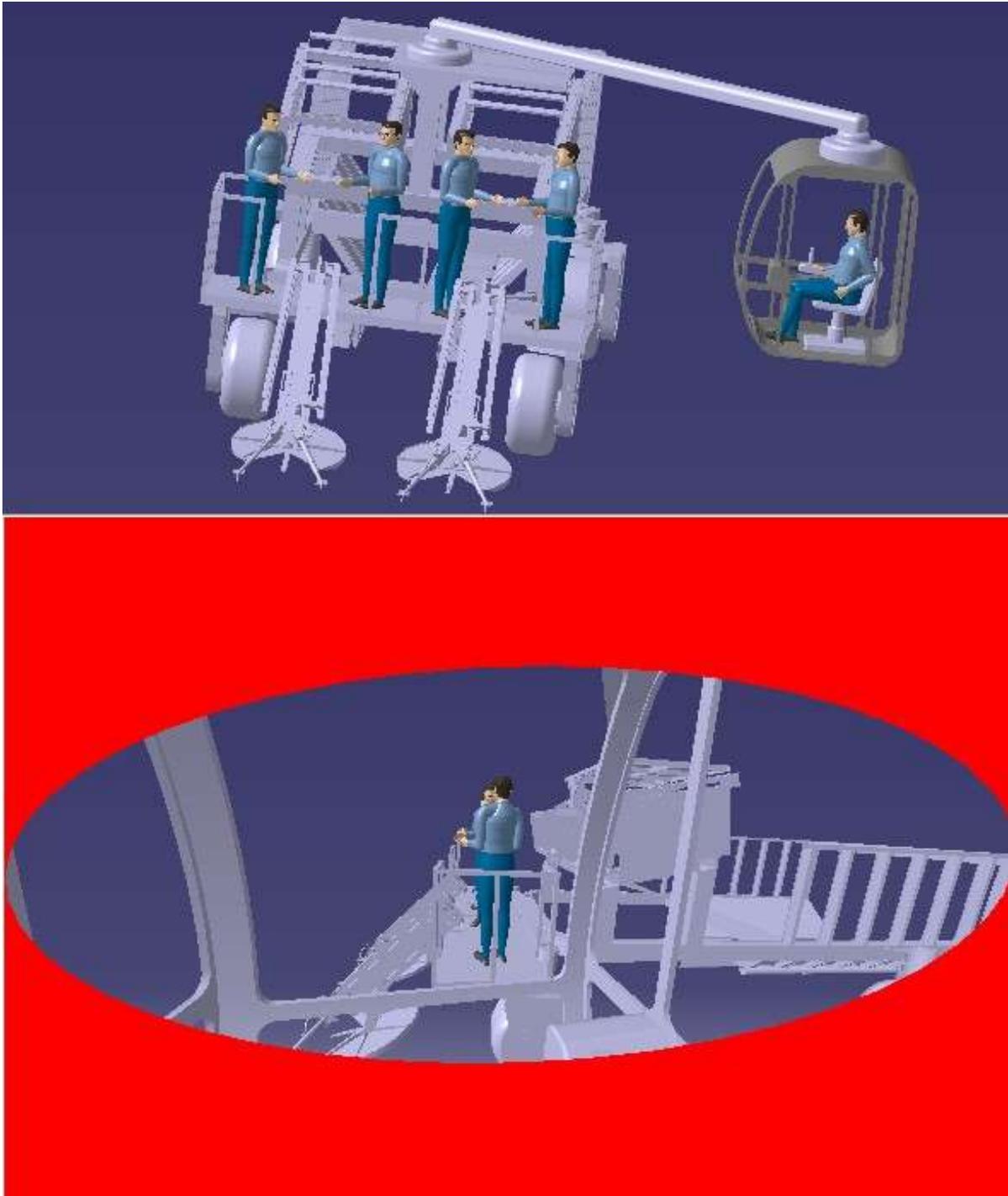


Figura 45 – Campo de visão do operador na posição intermediária

Pela simulação acima se verifica que o operador consegue visualizar ao mesmo tempo a frente de corte, os operadores e seu trabalho na entrada dos despalhadores e também a parte traseira da máquina com sua caçamba transportadora.

Para o operador adotar esse campo visual sua cabeça deve inclinar-se 9° com a linha do horizonte e 20° de rotação para sua direita, levando-se em conta que ele está assumindo uma posição perpendicular do tronco e abdômen em relação ao assento da cabine.

5.8 - Discussões

Através das simulações observamos que na alternativa de uma cabine fixa o campo visual do operador da cabine ficou prejudicado pela altura em que a cabine se encontra em relação ao solo. Ele não consegue visualizar completamente a tarefa dos operadores da frente de corte e nem o contato deles com a entrada dos despalhadores, o que é essencial para a segurança desses trabalhadores.

Além disso a visão das fileiras de cana-de-açúcar ficou obstruída pelos trabalhadores da frente de corte e o operador da cabine deve assumir uma inclinação da cabeça em torno de 15° em relação a seu tronco para conseguir visualizar a frente da máquina. Esta posição pode ser desconfortável quando adotada por um longo período de tempo.

Uma alternativa para melhorar o campo de visão da frente de corte do operador da cabine nessa situação seria a ampliação da plataforma frontal da máquina na qual os trabalhadores ficam sobrepostos, conforme especifica o trabalho de mestrado de Renato Pezzin Junior (PEZZIN, 2010), onde se sugere a ampliação da largura da plataforma de trabalho de 960 mm para 3000 mm.

Em relação à parte posterior da máquina, só pode ser vista através de retrovisores ou quando o operador adotar posições de rotação do tronco, o que seria desconfortável. Um assento giratório seria uma alternativa viável se não fosse o painel fixado na lateral da cabine, o que impediria o giro da cadeira. Essa posição de painel foi concebida neste projeto para não obstruir o campo visual frontal do operador.

Na alternativa de uma cabine móvel, o campo de visão do operador pode adotar diversas posições, tantas quantas a movimentação da cabine em relação à máquina proporcionar.

Quando a cabine adota uma posição extrema frontal, o operador tem a visão necessária para conduzir a máquina até o campo de plantio. Já em trabalho de colheita, uma posição móvel adotada ao lado da máquina, como mostra a Figura 45 (pág.124), proporciona

um campo visual ao operador que inclui ao mesmo tempo, as fileiras de cana-de-açúcar, o trabalho dos operadores da frente de corte e a parte posterior da máquina com a caçamba transportadora.

O operador da cabine ainda tem a opção de modificar o giro da cabine de forma a melhorar esse campo de visão e adaptá-lo ao que lhe for mais confortável.

Comparando as duas alternativas de projeto verificou-se que a alternativa da cabine fixa é mais simples e barata e pode ter uma eficiência maior em relação à dirigibilidade da máquina por entre as fileiras de cana-de-açúcar.

A alternativa da cabine móvel requer um investimento maior pelo acréscimo do dispositivo que faz a cabine se movimentar, contudo proporciona um melhor campo visual para o operador em relação à frente de corte e o trabalho nela executado, privilegiando os trabalhadores deste posto no quesito segurança.

Também as posições adotadas pelo operador da cabine sugerem uma menor inclinação da cabeça em relação ao tronco e uma flexibilidade maior das posturas adotadas para conduzir a máquina na medida em que a cabine se movimenta, diminuindo assim o constrangimento de assumir posições fixas por longo período de tempo.

Além desta vantagem, a cabine móvel ainda proporciona uma visão da parte posterior da máquina sem que o operador tenha que utilizar espelhos retrovisores ou rotacionar o tronco, facilitando assim a atividade de manobrar a máquina em situações de descarregamento da caçamba traseira, operação que acontece regularmente de 10 em 10 minutos.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu seu objetivo dimensionando um habitáculo para acomodar o operador da UNIMAC CANA de forma confortável e segura. O dimensionamento abrangeu o posicionamento do assento, do painel e dos dispositivos de controle da máquina dentro da cabine.

Através de simulações do espaço de trabalho em conjunto com as áreas de alcance e do campo visual do operador, utilizando o *software* Catia e os manequins com dados antropométricos, foi possível fazer a verificação deste dimensionamento e garantir que a cabine acomodasse de forma satisfatória os possíveis operadores.

Foram geradas para este *layout* de cabine, duas alternativas de projeto, uma com a cabine na posição fixa em relação à máquina e outra, adotando posições móveis.

Essas alternativas foram expostas e discutidas por esse trabalho, apresentando suas vantagens e desvantagens, ficando a critério da equipe de projetos a possibilidade de adotar uma destas alternativas de projeto.

Sob o ponto de vista da ergonomia e visando a segurança dos trabalhadores da frente de corte, este trabalho sugeriu a alternativa da cabine móvel para o equipamento proposto.

7. REFLEXÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Existem algumas questões de projeto que podem ser utilizadas em estudos futuros e que não foram contempladas neste trabalho. Entre elas, como se dará a comunicação entre o operador da máquina e os trabalhadores da frente de corte, já que essa interface é importante tanto para situações relacionadas à segurança, como para controlar a demanda de colheita imposta pela máquina em relação à tarefa realizada na célula de trabalho.

A velocidade de avanço da UNIMAC CANA, além de estar sincronizada com a tarefa dos trabalhadores da frente de corte, também deve estar sincronizada com o trabalho dos despalhadores. Daquí poderiam surgir as seguintes questões:

- Quem controlará a velocidade de avanço da máquina? O operador da cabine de controle ou os trabalhadores da célula de trabalho?
- Quem controlará a demanda da colheita? O trabalho dos operadores da frente de corte ou as velocidades impostas pela máquina e despalhadores?

Através de questionamentos como esses, dispositivos de controle podem ser projetados e riscos de danos à saúde dos trabalhadores podem ser minimizados.

Outra questão para reflexões futuras é o caso da utilização da cabine e seus instrumentos de controle por operadores canhotos. Como isso poderia afetar o *layout* dos dispositivos de controle e a posição de painéis? Qual a relevância dessa questão?

Esse trabalho sugeriu painéis fixos localizados na lateral direita da cabine e *joysticks* localizados no apoio de braço na lateral direita do assento. Uma alternativa de projeto seria esse apoio de braço ser removível e com possibilidade de encaixe na lateral esquerda.

Finalmente, esse trabalho sugeriu uma alternativa de cabine móvel em relação à UNIMAC CANA, com movimento semicircular da cabine ao redor da máquina e movimento de rotação da cabine em relação ao seu próprio eixo de centro. Neste último caso, um movimento pantográfico da cabine seria uma alternativa mais viável? Ou seja, a cabine sempre voltada para o campo de visão frontal da máquina poderia melhorar aspectos de dirigibilidade do equipamento?

Estudos e soluções a questões como essas podem aumentar a lista de alternativas viáveis de projeto e, com isso, contribuir para otimizar aspectos de projeto na concepção da UNIMAC CANA, juntamente com sua unidade de controle e implementos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONÇO, A. dos S. **Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. 221p. Tese (Doutorado em Projetos de Sistemas Mecânicos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ASIMOW, M. **Introdução ao projeto: Fundamentos do projeto de engenharia**. São Paulo: Mestre Jou, 1968.

BARGER, E. L.; LILJEDAHN, J. B.; CARLETON, W. M.; MCKIBBEN, E. G.. **Tratores e Seus Motores**. São Paulo: Blucher Ltda, 1963.

BACK, Nelson. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.

BAXTER, M. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

CHAPANIS, Alphonse. **A engenharia e o relacionamento homem-máquina**. São Paulo: Ed. Atlas, 1972.

CLARK, T.S.; CORLETT, E.N.. **The ergonomics of workspaces and machines: A design manual**. London and Philadelphia: Taylor & Francis Ltda, 1984.

CORRÊA, Ila Maria. **Diagnóstico das condições de segurança no uso de tratores agrícolas**. 77p. Relatório Técnico Final – Centro Avançado de Pesquisa tecnológica do Agronegócio de Engenharia e Automação, Instituto Agrônomo de Jundiaí, São Paulo, 2002.

DANIELLOU, François. A ergonomia na condução de projetos de concepção de sistemas de trabalho. Cap. 21, p.: 304-315. In FALZON, P. **Ergonomia**. São Paulo: Ed. Blucher, 2007.

DANIELLOU, François. Métodos em Ergonomia de Concepção: A análise de situações de referência e a simulação do trabalho. p.: 29-33. In DUARTE, Francisco. **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro: Editora Lucerna, 2002.

DEBIASI, Henrique; SCHLOSSER, José Fernando; PINHEIRO, Eder Dornelles. Características Ergonômicas dos Tratores Agrícolas Utilizados na Região Central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.006, p.1807-1811, nov-dez, 2004.

DEDINI, F. G. **Metodologia e sistemática de projetos**. Campinas: Edição Própria (Apostila), 2002.

DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia. Florianópolis: UFSC, 1996.

DUL, Jan & WEERDMEEESTER, Bernard. **Ergonomia Prática**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

ERGOKIT – **Manual de Aplicação dos dados Antropométricos** - Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Rio de Janeiro: 1995.

FALZON, P. **Ergonomia**. São Paulo: Ed. Blucher, 2007.

FONTANA, Gustavo. **Avaliação Ergonômica do projeto interno de cabines de Forwarders e Skidders**. 79p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2005.

GRANDJEAN, Etienne. **Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2ª Ed. São Paulo: Blucher, 2005.

LAVILLE, Antoine. **Ergonomia**. São Paulo: EPU, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

LIMA, F.; MARÇAL, Jackson Filho. Prefácio á edição brasileira. Cap.2, p.: XI. In DANIELLOU, François. **A Ergonomia em busca de seus princípios: Debates Epistemológicos**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2004.

PALMER, Colin. **Ergonomia**. 1ª Ed. em português. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Getúlio Vargas, 1976.

PEZZIN, Renato Junior. **Adequação de equipamento de auxílio à colheita da cana-de-açúcar segundo preceitos da ergonomia e da segurança do trabalho**. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas – SP, 2010.

ROZIN, Dinorvan. **Conformidade do posto de operação de tratores agrícolas nacionais com normas de ergonomia e segurança**. 187p. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – Rs, 2004.

RUSSO, Suzana; ILGNER Norberto; BUZZATO Marlise. **Verificação Dimensional de Máquinas Agrícolas com Relação ao Perfil Antropométrico do Agricultor na Área de Abrangência de Santo Ângelo**. In: Seminário Institucional de Iniciação Científica. 4, 1998, Santiago. URI, 1998. P. 19-19.

SILVA, Carla Bento. **Perfil Antopométrico de operadores e Avaliação ergonômica de colhedoras de cana-de-açucar**. 80p. Tese (Doutorado em Fitotcnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2007.

SILVEIRA, Gastão Moraes. **Os Cuidados Com o Trator**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Globo, 1988.

THOMSON, William T. **Teoria da vibração com aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. **Subprodutos da cana-de-açúcar. Diversidade, flexibilidade e adequação às necessidades do meio ambiente.** <http://www.unica.com.br>, 28/06/2008.

WISNER, Alain. **Por Dentro do Trabalho** – Ergonomia: Método e técnica. São Paulo: FTD : Oboré, 1987.

WISNER, Alain. Questões Epistemológicas em ergonomia e em análise do trabalho. p.: 29-55
In DANIELLOU, François, **A Ergonomia em busca de seus princípios:** Debates Epistemológicos. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2004.