

# Análise funcional e operacional de equipamentos de Movimentação Passiva Contínua para a reabilitação do cotovelo e antebraço

Aline Marian Callegaro <sup>a</sup> (alinemc@producao.ufrgs.br); Carlos Fernando Jung <sup>a</sup> (carlosfernandojung@gmail.com); Carla Schwengber ten Caten <sup>a</sup> (tencaten@producao.ufrgs.br)

<sup>a</sup>Laboratório de Otimização de Produtos e Processos (LOPP)/Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS – BRASIL

## Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que teve por finalidade analisar seis equipamentos de Movimentação Passiva Contínua (CPM – *Continuous Passive Motion*), existentes no mercado internacional, destinados a procedimentos terapêuticos para a reabilitação do cotovelo e antebraço de pacientes. Estes equipamentos podem auxiliar na redução de edemas, no ganho da Amplitude de Movimento (ADM) no pós-operatório, no pós-trauma de lesões articulares e na cicatrização avascular da cartilagem. O método de trabalho utilizado contempla a Análise Funcional e Operacional que possibilitou identificar, classificar e avaliar as características de uso, os ajustes e controles, as diferenças e vantagens e desvantagens destes equipamentos. Como resultado foi possível constatar que os seis modelos analisados não atendem à demanda fisiológica da ADM passiva dos movimentos de Flexão/Extensão da articulação do cotovelo. Entretanto, todos atendem à demanda fisiológica da ADM passiva dos movimentos de Pronação/Supinação do antebraço. O trabalho contribui para futuras pesquisas aplicadas ao desenvolvimento de novos produtos.

*Palavras-chave: análise funcional; análise operacional; movimentação passiva contínua; cotovelo; antebraço; desenvolvimento de produto.*

## 1 Introdução

Os equipamentos de Movimentação Passiva Contínua (CPM – *Continuous Passive Motion*) são destinados à realização do movimento passivo contínuo do cotovelo e antebraço para reabilitação de lesões. Este procedimento terapêutico utilizado na reabilitação de pacientes pode auxiliar na redução de edemas, no ganho da Amplitude de Movimento (ADM) no pós-operatório, no pós-trauma de lesões articulares e na cicatrização avascular da cartilagem (HEBERT *et al.*, 2003). No processo de reabilitação, o aumento da ADM é o primeiro passo para uma satisfatória recuperação de lesões (MAVROIDS *et al.*, 2005).

Culhane *et al.* (2001, 2006) afirmam que a reabilitação das lesões do cotovelo e antebraço é complexa, pois além do tempo envolvido, sendo dificultada pela reduzida mobilidade, geometria e grandes tensões em torno da articulação. Estudos demonstram a utilização da CPM com sucesso para reabilitar traumas e processos de reconstituição dessas articulações, sendo que seus princípios são aplicados e facilmente aparentes nos protocolos padrões de reabilitação (O'DRISCOLL e GIORI, 2000).

Os equipamentos de CPM para cotovelo surgiram no final da década de 70. Em 1978 foi obtida a primeira carta patente de equipamento de CPM para a reabilitação do joelho e cotovelo (NICOLSI e TURNER, 1978). Seis anos depois, Saringer (1984) patenteou um aparelho portátil para CPM aplicado à flexão do cotovelo e pronação/supinação (P/S) do antebraço. Neste equipamento foi instalado um motor para viabilizar um movimento contínuo rítmico, lento e alternado, aplicável ao conjunto articular.

Após 1984, os equipamentos desenvolvidos enfatizaram a flexão/extensão (F/E) do cotovelo, em detrimento da P/S do antebraço (SIEGLER *et al.*, 1992; KAISER *et al.*, 1992; SINGER e TRICKEY,

1993; BONUTTI e ZITZMANN, 1995). Somente em 1998 dois equipamentos patenteados foram destinados exclusivamente à P/S do antebraço (CULHANE e SARINGER, 1998; SARINGER e CULHANE, 1999).

Schnapp e Mays (2000) desenvolveram um equipamento diferenciado em relação aos existentes, pois, além do movimento passivo, realiza exercícios ativos e passivos da mão, punho e antebraço. Johnson (2001) inovou ainda mais através do desenvolvimento de um dispositivo, em resposta à necessidade de uma órtese para membros superiores, destinado a pessoas com deficiência e/ou fraqueza muscular ou lesão. O equipamento é eletrônico com cinco graus de liberdade de movimento: três no ombro, um no cotovelo e um no antebraço. Opera em três modos de comando: robô de apoio, CPM e como dispositivo de resistência para fortalecimento.

No Canadá e Estados Unidos, vários outros equipamentos que desempenham a função de CPM para cotovelo e/ou antebraço foram desenvolvidos e patenteados por Culhane *et al.* (2001, 2006); Zhang (2002); Mason (2004); Beny e Oster (2004); Mason e Howard (2004, 2006); Ou *et al.* (2004; 2006) e seu desenvolvimento estudado por Mândru *et al.* (2005); Mavroids *et al.* (2005); Akshay *et al.* (2007); Lee *et al.* (2008).

No Brasil, até o ano de 2001 apenas um equipamento de CPM para cotovelo e/ou antebraço foi desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (MAZZER, 2001) e, somente em 2010 foi publicado o primeiro estudo sobre o desenvolvimento de equipamento para CPM por Callegaro (2010).

Rozenfeld *et al.* (2006) e Jung, Caten e Ribeiro (2010) afirmam que a análise de produtos similares e concorrentes pode auxiliar no levantamento de informações sobre a posição mercadológica atual dos produtos disponíveis no mercado, tecnologias utilizadas, recursos operacionais e funcionais existentes para viabilizar a identificação de necessidades e oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos.

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que teve por finalidade analisar seis equipamentos de Movimentação Passiva Contínua (CPM – *Continuous Passive Motion*), existentes no mercado internacional, destinados à realização do movimento passivo contínuo do cotovelo e antebraço em procedimentos terapêuticos utilizados para a reabilitação de pacientes. O método de trabalho utilizado contempla a Análise Funcional e Operacional que possibilita identificar, classificar e avaliar as características de uso, os ajustes e controles, as diferenças e vantagens e desvantagens de produtos. O trabalho está organizado de seguinte forma: a seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos, a seção 3 a análise e, a seção 4 traz as conclusões do estudo.

## 2 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi baseada nos princípios metodológicos propostos por Bonsiepe *et al.* (1984), Bertoncello e Gomes (2002), Jung e Caten (2009) e Jung, Caten e Ribeiro (2010) para análise e desenvolvimento de produtos.

Foram selecionados os seguintes modelos de equipamentos de CPM para as análises: (i) Kinetec – 6080 Elbow CPM; (ii) Otto Bock – E3 CPM Device, (iii) E2 Elbow CPM Machine; (iv) Artromot® E2 – Compact Elbow COM - Chattanooga Group, (v) Jace Systems E640 Elbow CPM - JACE Systems<sup>TM</sup>, e (vi) Kinex KE2 Elbow CPM - Kinex Medical Company.

A seleção foi baseada na disponibilidade deste tipo de equipamento aplicado a CPM do cotovelo e antebraço que realizam a F/E passiva do cotovelo e/ou P/S passiva do antebraço, no mercado internacional, ver Figura 1.

Foi realizada uma Análise Funcional para identificar e classificar as características físicas dos sistemas e subsistemas, aspectos funcionais e relações das funções de equipamentos de CPM. O ponto de partida foi estabelecer critérios para avaliação das funcionalidades. Posteriormente, foram determinados os principais sistemas utilizados nos equipamentos e atribuídas notas em função dos critérios estabelecidos.

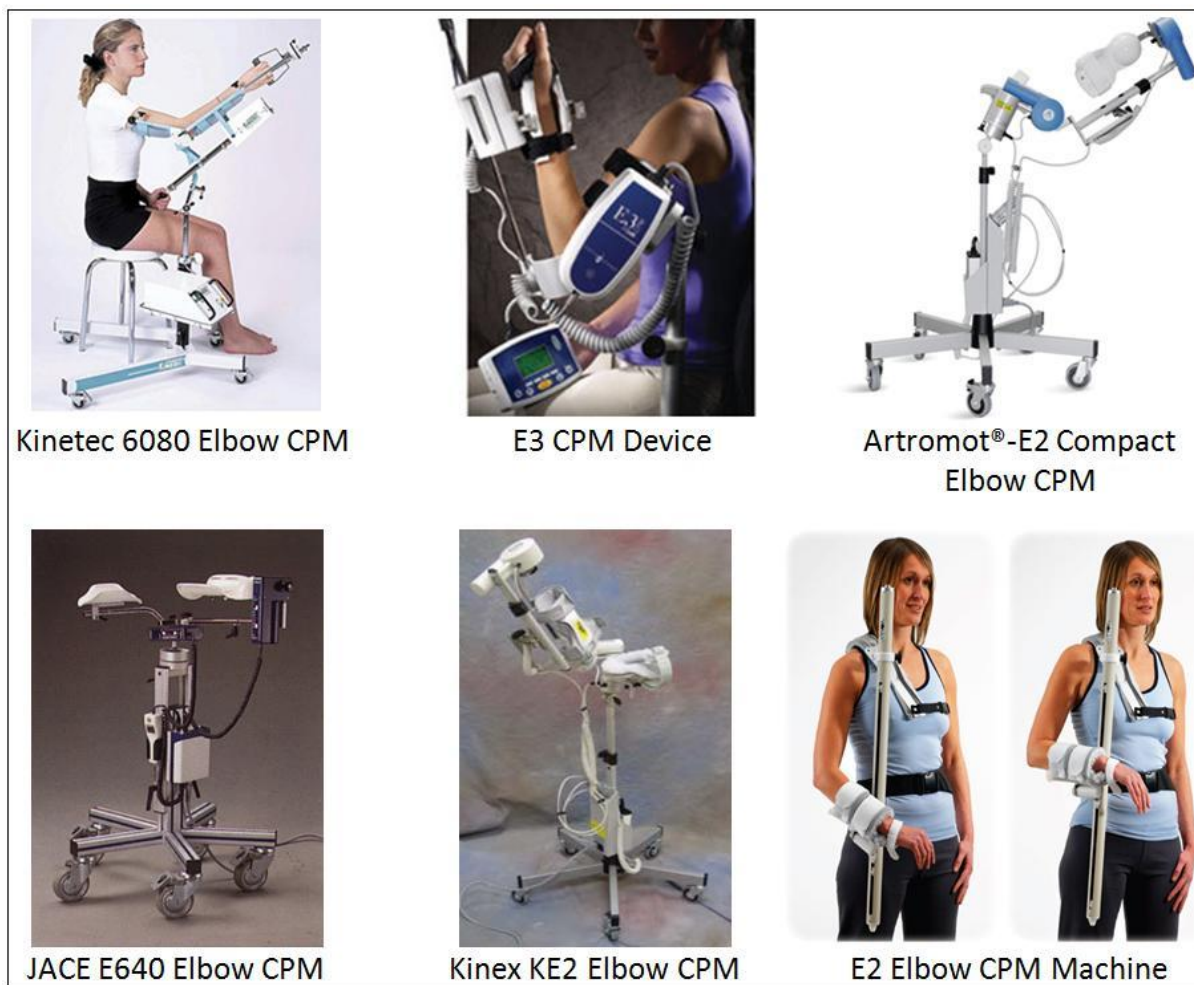


Figura 1. Modelos comerciais de equipamentos de CPM selecionados para as análises.

Esta análise também contemplou o estudo dos fatores que relacionam o produto ao meio, conforme Gomes (2002), baseados em cinco características específicas que demarcam o produto, a saber: (i) funcionalidade, (ii) ergonomia, (ii) manutenção, (iv) materiais e (v) estética.

Na sequência, foi efetuada uma Análise Operacional com o objetivo de comparar os equipamentos em relação ao controle e ajustes dos movimentos passivos contínuos disponíveis em cada equipamento

### 3 Análise

#### 3.1 Análise Funcional

Bonsiepe *et al.* (1984) afirmam que a análise funcional auxilia a reconhecer e compreender as características de uso do produto, incluindo aspectos ergonômicos – macroanálise e as funções técnico-físicas de cada componente ou subsistema do produto – microanálise. Esta análise foi dividida em macro e microanálise.

As características dos modelos de equipamentos de CPM foram classificadas utilizando a seguinte pontuação: (i) a nota 0, corresponde a ausência da característica em estudo, (ii) a nota 2, a melhor situação encontrada, e (iii) a nota 1, corresponde a uma posição intermediária.

Inicialmente, os modelos foram analisados de acordo com as partes gerais de cada equipamento e, na sequência, realizada a análise dos componentes destas partes.

Para a macro e microanálise, as partes gerais intrínsecas ao equipamento foram divididas em: (i) base de apoio, (ii) haste de sustentação, (iii) regulagem do ângulo de posicionamento do ombro, (iv) suporte para o braço, (v) suporte para o antebraço, e (vi) *joystick* ou braçadeira para o punho (ver Tabela 1).

Para cada parte geral foram atribuídas notas que seguem os seguintes critérios:

i) *base de apoio* – se não existe uma base, a sustentação do equipamento é dificultada, transferindo esta função para o próprio corpo do paciente, podendo interferir no relaxamento do membro superior no qual são realizados os movimentos passivos. Assim, atribui-se a nota 0 quando ela é inexistente, nota 1 quando existe e não possui rodas e travas, pois as rodas facilitam o deslocamento do equipamento, enquanto as travas permitem a execução segura das funções desempenhadas pelo equipamento em posição estática, prevenindo acidentes por deslocamento do dispositivo. Logo a maior nota, que corresponde a 2, é atribuída ao equipamento que possui rodas com travas;

ii) *haste de sustentação* – é atribuída nota 0 se não existe, nota 1 se existe e nota 2 se possui regulagem de altura, o que possibilita uma maior aplicabilidade seja em cadeiras para pacientes com diferentes estaturas ou em leitos de diferentes alturas;

iii) *regulagem do ângulo de posicionamento do ombro* – o equipamento recebe nota 0 se não possui ajuste de posicionamento para o ombro, ou seja, sem regulagem do ângulo do ombro, nota 1 se permite fixação em até três angulações e nota 2 se possibilitar mais que três angulações diferentes;

iv) *suporte para o braço* – o equipamento recebe nota 0 para este quesito se não o possuir, nota 1 se o possuir e nota 2 se ele for ajustável antropometricamente, pois pode ser utilizado por pessoas que possuem comprimento do braço fora da média, ou seja, mais nos extremos da curva de normalidade;

v) *suporte para o antebraço* – o equipamento recebe nota 0 para este quesito se não possuir, nota 1 se o possuir e nota 2 se ele possuir ajuste antropométrico. A nota máxima, assim como na parte anterior é justificável pela maior adaptabilidade a pessoas que não estão dentro de uma média, utilizada para construir um suporte fixo, mas pode ser utilizada inclusive por indivíduos que se encontram mais distante da média;

vi) *joystick ou braçadeira para punho* – o equipamento recebe nota 0 para este quesito se não possuir *joystick* ou braçadeira para punho, nota 1 se possuir *joystick* e nota 2 se possuir braçadeira para punho. Pois nesta última opção, o paciente não necessita segurar um *joystick* o que solicita uma contração muscular e dificulta a movimentação passiva contínua, para a qual o braço e antebraço precisam estar relaxados. Ainda, a braçadeira para punho, apresenta faixas reguláveis que facilitam a adaptação antropométrica.

**Tabela 1.** Critérios para avaliação das partes gerais dos equipamentos.

Partes gerais dos equipamentos	Critérios para Pontuação		
	Nota 0	Nota 1	Nota 2
Base de apoio	Inexistente	Presente com rodas sem travas	Existente, rodas com travas
Haste de sustentação	Inexistente	Presente sem regulagem	Existente com regulagem
Posicionamento do ombro	Inexistente	Regulável até 3 angulações	Regulável mais de 3 angulações
Suporte para o braço	Inexistente	Presente	Ajustável
Suporte para o antebraço	Inexistente	Presente	Ajustável
<i>Joystick</i> ou braçadeira para o punho	Inexistente	<i>Joystick</i>	Braçadeira para o punho

Com base nesta classificação foram atribuídas as notas para avaliação das partes gerais de cada equipamento em análise, ver Tabela 2.

Constata-se que os modelos E3, Artromot® E2 e JACE E640 receberam a maior nota com um total de 11 pontos, sendo classificados em primeiro lugar conforme esta análise, em contrapartida, o modelo E2 recebeu a menor pontuação para suas partes gerais com apenas 4 pontos, permanecendo na última colocação. O resultado obtido pelo modelo E2 pode ter sido em função das suas características mais simplificadas em relação aos demais como: (i) ser portátil com fornecimento de energia por fonte

recarregável, (ii) não possuir base de apoio, (iii) controle de posicionamento do ombro, e (iv) suporte para o braço ou *joystick*. O modelo Kinetec 6080 recebeu 10 pontos ficando em 2º lugar e o modelo E3, 9 pontos obtendo o 3º lugar.

**Tabela 2.** Avaliação das partes gerais dos equipamentos.

Partes gerais	Modelos dos Equipamentos de CPM					
	Kinetec 6080	E3	Artromot® E2	JACE E640	Kinex KE2	E2
Base de apoio	2	1	2	2	2	0
Haste de sustentação	2	2	2	2	2	1
Posicionamento do ombro	2	2	2	2	2	0
Suporte para o braço	1	1	1	1	1	0
Suporte para o antebraço	2	2	2	2	2	1
<i>Joystick</i> ou braçadeira para o punho	1	2	2	2	2	2
Pontuação	10	10	11	11	11	4
Classificação	2º	3º	1º	1º	1º	4º

Os cinco primeiros modelos de equipamentos recebem pontuações semelhantes, pois suas partes gerais são muito similares. Por exemplo, existem diferenças peculiares como o caso do equipamento E3 que não possui uma base de sustentação com rodas, mas sua haste de sustentação pode ser fixada na braçadeira de uma cadeira ou em uma base de sustentação fixa. Diferente do E2 que só pode ser sustentado pelo próprio paciente.

Todos os modelos, com exceção do E2, possibilitam posicionamento angular variável ao ombro, suporte do braço sem ajuste antropométrico, ao contrário do suporte do antebraço que é ajustável ao comprimento do segmento em todos os modelos que está presente.

Apenas um dos equipamentos possui *joystick* para o paciente segurar com a mão durante a execução do movimento passivo contínuo de P/S. Função semelhante é desempenhada pelo suporte do antebraço que envolve o punho como uma órtese, no qual o antebraço é fixado por faixas com velcro e possibilita a fixação distal do antebraço para que possa ser realizada a P/S, sem que o paciente precise exercer contração muscular.

O estudo das características que relacionam o produto ao meio foi baseado na proposta de Bertonecello e Gomer (2002) que estabeleceram esta relação a partir de cinco características específicas do produto: a saber: (i) funcionalidade, (ii) ergonomia, (iii) manutenção, (iv) materiais, e (v) estética.

Essas características foram classificadas pela seguinte pontuação: (i) ruim, que equivale a uma nota 0; (ii) média, equivalente a uma nota 1, e (iii) boa, que corresponde a nota 2 (ver Tabela 3).

**Tabela 3.** Critérios para avaliação das características específicas dos equipamentos.

Características	Critérios para Pontuação		
	Nota 0	Nota 1	Nota 2
Ergonomia	Ruim	Média	Boa
Funcionalidade	Ruim	Média	Boa
Manutenção	Ruim	Média	Boa
Materiais	Ruim	Média	Boa
Estética	Ruim	Média	Boa

A ergonomia está relacionada à adaptação e uso do produto (BERTONCELLO e GOMES, 2002) e vinculada a macroanálise, logo é possível identificar que os modelos analisados neste estudo possuem nota muito próxima à máxima. A maioria dos equipamentos recebe uma pontuação total de 10 e 11, sendo que a máxima que poderia ser atribuída é 12. A única exceção é o modelo E2 Elbow CPM Machine que possui nota total 4, abaixo da média. Desta forma, pode-se afirmar que a ergonomia é satisfatória na maioria dos produtos, podendo ser atribuída uma nota geral 2 – boa (Tabela 4).

**Tabela 4.** Avaliação das características específicas dos equipamentos.

Características	Modelos dos Equipamentos de CPM					
	Kinetec 6080	E3	Artromot® E2	JACE E640	Kinex KE2	E2
Ergonomia	2	2	2	2	2	1
Funcionalidade	2	2	2	2	2	2
Manutenção	1	1	1	1	1	1
Materiais	1	1	1	1	1	2
Estética	0	2	1	1	1	2
Pontuação	6	8	7	7	7	8
Classificação	3º	1º	2º	2º	2º	1º

A funcionalidade dos equipamentos de CPM para cotovelo e antebraço analisados também pode ser caracterizada como boa, pois a maioria deles apresenta regulagens para adaptações antropométricas ao indivíduo e ao meio em que ele pode utilizar o equipamento – leito, cadeira, sofá. Neste sentido todos os equipamentos analisados apresentam nota 2, para as características de funcionalidade, visto que todos possuem esta mesma estrutura e podem ser transportados de um ambiente a outro, são adaptáveis ao meio, com os mesmos ajustes antropométricos. Porém, o equipamento *E2 Elbow CPM Machine* se destaca por ser portátil, fator que o diferencia dos demais, especialmente em função de leveza e da possibilidade de ser utilizado em pé. Porém sua nota permanece equivalente aos demais, pois é preciso considerar que o paciente é quem suporta o peso do equipamento, em contrapartida aos outros modelos analisados que mesmo sendo mais pesados possuem base para suporte.

A manutenção de todos os equipamentos receberam nota 1, que equivale a uma pontuação média, pois são relativamente modulares, possuem dois motores: um responsável pelos movimentos de F/E do cotovelo e outro pela P/S do antebraço. No entanto, os suportes do braço e antebraço são integrados e ambos indispensáveis ao movimento de flexão/extensão do cotovelo, enquanto que a braçadeira do punho está conectada ao suporte do antebraço. Assim, a movimentação passiva contínua no antebraço depende da correta fixação do braço, para garantir somente o movimento ao longo do eixo longitudinal do antebraço. As peças são relativamente simples, entretanto, possuem motores elétricos que podem aumentar o custo do equipamento e respectiva manutenção.

A nota 1 atribuída aos materiais dos cinco modelos de equipamentos Kinetec 6080, E3, Artromot® E2, Jace E640 e Kinex KE2 justifica-se pelas vantagens e desvantagens dos materiais utilizados nos equipamentos que podem ser atribuídas as características de cada modelo.

Foram levadas em consideração, para a análise do suporte do braço, antebraço e o *joystick* que entram em contato com a pele humana, as características dos materiais que podem ficar em contato com o braço, antebraço, punho e mão. Também a resistência adequada para a realização dos movimentos aos quais as partes são submetidas e o peso que deve ser compatível com o esforço humano em situações em que o indivíduo sustenta o equipamento (AGNELLI e TOYODA, 2003). Todos os equipamentos utilizam metal na estrutura destas partes, plásticos e/ou tecidos nos locais que entram em contato com o corpo humano, sendo que o tipo de plástico não é especificado nos manuais técnicos.

Segundo Agnelli e Toyoda (2003), os plásticos mais eficazes para a confecção de órteses, neste caso, para a fabricação destas partes gerais são os termoplásticos, pois possibilitam conforto e praticidade. Para estes autores os termoplásticos, principalmente o prolipoleno, são materiais que proporcionam leveza, resistência e plasticidade em nível ótimo, por isso são amplamente utilizados na confecção de órteses e próteses.

Já a base de apoio, haste de sustentação e regulagem de posicionamento do ombro que não entram em contato com a pele podem ser constituídos por aço, aço inoxidável e alumínio. Sendo que o aço, de maneira geral, possui excelentes propriedades mecânicas: resistem à tração, à compressão, à flexão, e como é um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado. O aço inoxidável é um tipo de aço, uma liga à base de ferro com alta ductilidade e rigidez, largamente utilizado em aparelhos ortopédicos (AGNELLI e TOYODA, 2003) e endopróteses por ser resistente à corrosão (VILLAMIL *et al.*, 2002). Possui como principais desvantagens o elevado peso específico, pouca

flexibilidade do material (AGNELLI e TOYODA, 2003) e custo mais elevado do que o aço comum (FERRAZ, 2003).

O alumínio possui altas propriedades de resistência mecânica e leveza, largamente utilizados em máquinas e equipamentos. É um metal não-ferroso de cor branco-prateado, dúctil, maleável, bom condutor de calor e eletricidade, com baixo custo de produção (BRASILICO, 1989).

Neste sentido, a nota 1 atribuída neste caso justifica-se por apresentarem aço que eleva o peso dos equipamentos. A exceção é o modelo E2 Elbow CPM Machine que é constituído por materiais em alumínio, plástico e tecido.

Por fim, a estética destes equipamentos é a característica que mais difere, pois o modelo Kinetec 6080 recebe uma nota 0, Artromot® E2, JACE E 640 e Kinex KE2 recebem nota 1, que equivale a uma classificação média, enquanto os modelos E3 e E2 Elbow CPM Machine recebem pontuação máxima, já que são os que apresentam melhor estética. A estética destes equipamentos está relacionada ao tamanho, portabilidade e a uma adequada interface para o controle de operações.

Se analisadas as cinco características específicas que demarcam o produto em conjunto, pode-se identificar que o modelo E3 e E2 Elbow CPM Machine, produzidos pela mesma empresa, apresentam posição em destaque, por um ponto de diferença dos modelos Artromot® E2, Jace E640 e Kinex KE2. Estes, por sua vez, possuem apenas um ponto a mais que o kinetec 6080 que ocupa a última colocação na análise conjunta das características que relacionam o produto ao meio.

### 3.2 Análise Operacional

Esta análise foi baseada nas características dos ajustes e controles que atendem as necessidades dos profissionais que trabalham na área da saúde e nas necessidades fisiológicas do paciente que utiliza o equipamento para sua reabilitação.

Neste sentido, a ADM de F/E e P/S se não for ajustável recebe nota 0 (ver Tabela 5), se for ajustável mas sem possibilitar que o equipamento opere até os limites de ADM fisiológicos, recebe nota 1. Os mecanismos ajustáveis e capazes de operar até os extremos fisiológicos da ADM recebem nota máxima que corresponde a 2.

**Tabela 5.** Critérios para avaliação das características operacionais dos equipamentos.

Características operacionais dos equipamentos	Critérios para pontuação		
	Nota 0	Nota 1	Nota 2
ADM de F/E	Não ajustável	Ajustável (não atinge os limites)	Ajustável (atinge os limites)
ADM de P/S	Não ajustável	Ajustável (não atinge os limites)	Ajustável (atinge os limites)
Velocidade	Não ajustável	Ajustável	Ajustável com programação
Tempo	Não ajustável	Ajustável	Ajustável com programação
Pausa	Não possui	Possui	Programável
Sequências de movimentos	Não Possui	Pré-programadas	Pré-programadas e programáveis
Armazenamento de dados	Não armazena	Armazena, mas não podem ser reutilizados	Armazena e podem ser reutilizados
F/E e P/S	Independentes	Independentes ou sincronizadas	Independentes e/ou sincronizadas
Controle para o paciente	Não possui	Possui apenas para parar e inverter carga	Possui com todos os comandos

Em relação aos parâmetros de velocidade e tempo, o equipamento que não os possuem recebem nota 0, àqueles que disponibilizam os ajustes destes parâmetros é atribuída nota 1 e àqueles que possibilitam o ajuste inclusive com programação recebem nota 2.

A função de “pausa” é classificada com nota 0 se o equipamento não possui este parâmetro, nota 1 se o equipamento possui e nota 2 se pode ser programada como integrante de uma sequência de movimentos. Esta “sequência de movimentos” pode não estar presente no modelo analisado que, desta forma, recebe nota 0 ou estar presente com pré-programações limitadas – nota 1. Se o equipamento

possuir pré-programações flexíveis que podem ser alteradas e construídas inúmeras outras sequências de movimentos pelo próprio operador – nota 2.

Se os dados puderem ser armazenados e reutilizados o equipamento recebe nota 2, mas se possibilitar apenas armazenamento e não reutilização, a nota recebida é 1 e se não possuir nenhuma destas alternativas, a nota é 0.

Em relação aos movimentos de F/E e P/S, eles podem ser realizados somente de forma independente, o que corresponde a uma nota 0, de forma independente e sincronizada – nota 1 ou ainda de forma independente e/ou sincronizada, operação que recebe nota máxima 2.

Logo, se o equipamento não disponibiliza o controle de parâmetros ao paciente, este recebe nota 0, mas se possibilita que o paciente pare a máquina em caso de desconforto ou qualquer outro motivo, atribui-se nota 1. Se o equipamento permitir ao paciente controlar todos os parâmetros do sistema operacional é conferida nota 2.

Com base nestes critérios foram atribuídas as notas aos seis modelos em análise sobre as condições para operação destes equipamentos. Para isso, teve-se por base as informações disponíveis na rede internacional de computadores e aquelas enviadas pelas empresas, após solicitação (ver Tabela 6).

É possível identificar que nenhum dos seis modelos de equipamentos analisados possibilita a execução do movimento passivo contínuo de F/E do cotovelo até os limites fisiológicos da ADM passiva das articulações em estudo. O máximo que disponibilizam (modelos E3, Artromot® E2 e Kinex KE2) é 140-145° de flexão do cotovelo, que segundo Kapandji (2007) corresponde à amplitude de flexão ativa do cotovelo, mas não à passiva, que chega até 160°, partindo da extensão fisiológica em amplitude zero. Já a ADM de P/S é disponibilizada em completo pelos modelos Kinetec 6080, Artromot® E2, JACE E640 e o Kinex KE2. Amplitude que, segundo Kapandji (2007) ocorre na articulação radioulnar proximal e distal do antebraço, cuja supinação é de 90° e a pronação é de 85°, ou segundo Kendall *et al.* (1995), de 90°.

**Tabela 6.** Avaliação das características operacionais dos equipamentos.

Características	Modelos dos Equipamentos de CPM					
	Kinetec 6080	E3	Artromot® E2	JACE E640	Kinex KE2	E2
ADM de F/E	1	1	1	1	1	1
ADM de P/S	2	1	2	2	2	1
Velocidade	2	2	2	1	2	1
Tempo	2	2	2	1	2	0
Pausa	0	2	1	0	1	0
Sequências de movimentos	0	0	0	0	0	0
Armazenamento de dados	0	0	0	0	0	0
F/E e P/S	2	2	2	2	2	1
Controle para o paciente	1	2	2	2	2	2
Pontuação	10	12	12	9	12	6
Classificação	2º	1º	1º	3º	1º	4º

A característica de controle de velocidade está disponível em todos os equipamentos, porém o controle de velocidade programável está presente em apenas quatro modelos, a saber: Kinetec 6080, E3, Artromot® E2, Kinex KE2. A característica de ajuste do tempo apenas não está presente no modelo E2. Este ajuste existe nos demais além de serem programáveis, porém sem ser passível de programação no modelo Jace E640. A pausa, por fim, só pode ser programada no modelo E3, controlada sem programação nos modelos Artromot® E2 e Kinex KE2 e não está disponível nos equipamentos Jace E640 e E2. Nenhum dos modelos analisados possibilita ao operador a programação de sequências de movimentos.

A realização dos movimentos de F/E e P/S pode ser de forma independente e/ou sincronizada em cinco dos modelos: Kinetec 6080, E3, Artromot® E2, Jace E640 e Kinex KE2. O modelo E2 somente possibilita os movimentos de forma sincronizada.



O paciente só não tem acesso ao controle de todos os comandos no modelo Kinetec 6080, porque eles são realizados na caixa de comandos fixa ao equipamento, mas ele pode acessar a caixa e desligar o equipamento com o membro superior que não estiver em CPM. Nenhum dos modelos estudados explicita que possibilite armazenamento de dados.

Assim, os equipamentos que receberam melhores pontuações em relação as suas operações são os modelos E3, Artromot® E2e Kinex KE2, seguidos respectivamente pelos modelos Kinetec 6080, Jace E640 e E2. Sendo que a última colocação novamente foi atribuída ao modelo E2, um equipamento diferenciado dos demais como já constatado na análise funcional anteriormente realizada. A análise operacional reforça estas diferenciações e revela que este modelo apresenta operações simplificadas, enquanto que o E3, Artromot® E2 e Kinex KE2 apresentam recursos operacionais superiores aos demais.

O Kinex KE2 possui ainda dois modos que podem ser operados: alongamento progressivo estático e alongamento dinâmico (*Standard Static Progressive Stretch Mode* e *Dynamic Stretch Mode*), porém não possibilita que estes programas sejam modificados pelos usuários. O mesmo ocorre com o modelo E3 que disponibiliza um modo de relaxamento-alongamento progressivo (*Progressive Stretch Relaxation – PSR*) que não pode ser alterado.

## 4 Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de uma pesquisa que teve por finalidade analisar seis equipamentos de Movimentação Passiva Contínua (CPM – *Continuous Passive Motion*) destinada à realização do movimento passivo contínuo do cotovelo e antebraço em procedimentos terapêuticos utilizados para a reabilitação de pacientes. Estes equipamentos podem auxiliar na redução de edemas, no ganho da Amplitude de Movimento (ADM) no pós-operatório, no pós-trauma de lesões articulares e na cicatrização avascular da cartilagem.

As análises funcional e operacional possibilitaram a compreensão das características de uso, dos ajustes e controles, das diferenças e das vantagens e desvantagens de seis modelos de equipamentos de CPM existentes no mercado internacional.

Foram analisados os equipamentos para CPM: (i) Kinetec – 6080 Elbow CPM; (ii) Otto Bock – E3 CPM Device, (iii) E2 Elbow CPM Machine; (iv) Artromot ® E2 – Compact Elbow COM - Chattanooga Group, (v) Jace Systems E640 Elbow CPM - JACE Systems<sup>TM</sup>, e (vi) Kinex KE2 Elbow CPM - Kinex Medical Company.

As análises também permitiram identificar que nenhum dos equipamentos de CPM obteve pontuação máxima segundo os critérios de pontuação estabelecidos neste trabalho. Os equipamentos apresentam características que mesmo sendo semelhantes em alguns aspectos, diferem em outros, como no modelo E2 Elbow CPM Machine, o único portátil que obteve a menor pontuação na macro e microanálise, mas uma das melhores quando considerados as características que relacionam este produto ao meio.

Foi constatado que os seis modelos analisados não atendem à demanda fisiológica da ADM passiva dos movimentos de F/E da articulação do cotovelo. Entretanto, atendem à demanda fisiológica da ADM passiva dos movimentos de P/S do antebraço

Os resultados sugerem a realização de futuras pesquisas que tenham por finalidade desenvolver e propor inovações tecnológicas em equipamentos de CPM destinados à reabilitação do cotovelo e antebraço.

## Referências

Agnelli L.B., Toyoda C.Y. Estudo de materiais para a confecção de órteses e sua utilização prática por Terapeutas Ocupacionais no Brasil, *Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar*, v. 11, n. 2, pp. 83-94, 2003.

- Akshay M. *et al.* Design and Implementation of a Mechatronic Device for Wrist and Elbow Rehabilitation, *Proceeding i-CREATE '07 Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology*, ACM New York, pp. 212-215, 2007.
- Beny L., Oster L. *Splint for passive motion of an upper limb*. AbilityOne Corporation (Bolingbrook, IL). United States Patent n. US006676612, January 13, 2004.
- Bonsiepe G., Kellner P., Poessnecker H. *Metodologia experimental: desenho industrial*. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.
- Bonutti P. M., Zitzmann G. E. *Orthosis with distraction through range of motion*. Effingham, III. United States Patente n. US005395303A, March, 7, 1995.
- Brasílico E.A. *Estimação e simulação dinâmica de um modelo econométrico para o mercado de alumínio no Brasil*, Dissertação de Mestrado, Escola de Pós-Graduação em Economia da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1989.
- Callegaro A.M. *Desenvolvimento de um Equipamento Computadorizado de Movimentação Passiva Contínua para Cotovelo e Antebraço*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- Culhane J.J., Saringer J.H. *Continuous passive motion device for upper extremity forearm therapy*. Canadian Intellectual Property Office. CA2216863C, September 26, 1997.
- Culhane J.J. *et al.* *Combination pro/supination and flexion therapeutic mobilization device*. Orthorehab Inc Pub n. WO/2001/068028. International Application n. PCT/CA2001/000321, September 20, 2001.
- Culhane J.J. *et al.* *Combination pro/supination and flexion therapeutic mobilization device*. United States Patent n. US7101347B2, September 5, 2006.
- Ferraz H. O Aço na Construção Civil, *Revista eletrônica de Ciências*, n. 22, Out/Nov/Dez 2003.
- Hebert S. *et al.* *Ortopedia e traumatologia: princípios e prática*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 1631 p.
- Johnson G.R. *et al.* The design of a five-degree-of-freedom powered orthosis for the upper limb, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part H – Journal of Engineering in Medicine*, v. 215, n.3, pp.275-284, 2001.
- Jung, C. F., Caten C.S.T. A Method of R&D Electronic Product for Application by Independent Engineers, Designers and Inventors. *Anais ... XV ICIEOM - International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Salvador, BA: ABEPRO, 2009.
- Jung, C.F., Caten, C.S.T., Ribeiro J.L.D. A Method of R&D Electronic Product for Application by Independent Engineers, Designers and Inventors, *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, v. 7, pp. 153-173, 2010.
- Kaiser R.T. *et al.* *Continuous Passive Motion Exercise Apparatus*. Ottawa, C1305380, July 21, 1992.
- Kapandji A. I. *Fisiologia articular*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007, 346 p.
- Kendall F. P., McCreary E. k., Provance P. G. *Músculos provas e funções*. 4. ed. São Paulo: Manole, 1995, 422 p.
- Lee C.S. *Shoulder and Elbow Continuous Passive Movement*. World Intellectual Property Organization n. WO2008/066310A1. June 5, 2008.
- Mândru D. *et al.* Device for Upper Limb Kinethotherapy. *Annals of the Oradea University*, Fascicle of Management and Technological Engineering, v. XIV (IV), 2005, ISSN 1583-0691, CNCSIS "Clasa B".
- Mason J.T. *Continuous passive motion device for a shoulder or elbow*. Breg, Inc. (Vista, CA). United States Design Patent n. D486870S. November 1, 2002. February 17, 2004.

- Mason J.T., Howard M.E. *Continuous passive motion device for rehabilitation of the elbow or shoulder*. United States Patent Application Publication n. US20040087880A1, May 6, 2004.
- Mason J.T., Howard M.E. *Continuous passive motion device for rehabilitation of the elbow or shoulder*. Assignee: Breg, Inc. Vista, CA (US). United States Patent n. US7108664B2, September 19, 2006.
- Mavroids C. *et al.* Smart portable rehabilitation devices, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 2, n. 18, 2005.
- Mazzer P.Y.C.N. *Desenvolvimento de um aparelho de movimentação passiva contínua para o cotovelo*, Dissertação (Mestrado em Bioengenharia), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- Nicolosi J.P., Turner M.M. *Physical Therapy Apparatus and Method*. United States Patent n. 4089330, May 16, 1978.
- O’driscoll S.W., Giori N.J. Continuous passive motion (CPM): theory and principles of clinical application, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v. 37, n. 2, pp. 179-188, 2000.
- Ou Y-J. *et al.* *Continuous passive motion exercise system with driven monitoring*. Industrial Technology Research Institute (Hsin Chu Hsien, TW). United States Patent Application n. 20040127821, July 30, 2004.
- Ou Y-J. *et al.* *Continuous passive motion exercise system with driven monitoring*. Industrial Technology Research Institute (Hsin Chu Hsien, TW). United States Patent n. US007090650, August 15, 2006.
- Rozenfeld H. *et al.* *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para melhoria do processo*. São Paulo: Ed. Saraiva, 2006.
- Saringer J.H. *Device for imparting continuous passive motion to human joints*. United States Patent n. 4487199, December 11, 1984.
- Saringer J. H., Culhane J. J. *Continuous passive motion device for upper extremity forearm therapy*. Assignee: Orthologic Corp. (Phoenix, AZ). United States Patent n. US5951499A, September 14, 1999.
- Schnapp M., Mays K.S. *Rehabilitative Apparatus for Treating Reflex Sympathetic Distrophy*. United States Patent n. US006149612A, November 21, 2000.
- Siegler S. *Joint Flexibility Determining Apparatus and Method*. World Intellectual Property Organization. WO/1993/002621, February 18, 1993.
- Silveira A. O polipropileno na confecção de órteses e próteses, *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 16, n. 2, pp. 47-50, 1981.
- Singer R.D., Trickey E.A. *Electronic range of motion apparatus, for orthosis, prosthesis, and CPM machine*. United States Patent n. US005252102A, October 12, 1993.
- Villamil R.F.V. *et al.* Aços inoxidáveis em implantes ortopédicos: fundamentos e resistência à corrosão, *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 37, ns. 11/12, pp. 471-476, 2002.
- Zhang L-Q. *Dispositif D’etirement Intelligent Portable*. World Intellectual Property Organization. WO/2002/096274, December 05, 2002.