

Érico Franco Mineiro Fernando José Silva



Érico Franco Mineiro

Graduação em Desenho Industrial pela Universidade do Estado de Minas Gerais, mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Minas Gerais, doutorado em Design pela PUC-Rio; é professor associado no Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da UFMG.

ericomineiro@ufmg.br

ORCID 0000-0002-0602-1991

Fernando José Silva

Graduação e mestrado em Desenho Industrial pela UNESP, doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais; é professor associado no Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da UFMG.

fernandojsilva@ufmg.br

ORCID 0000-0002-6031-6977

Design paramétrico para customização em massa de cadeiras fixas: fatores humanos e lógica ergonômica em algoritmo

Resumo O objetivo deste trabalho é investigar possibilidades projetuais em design paramétrico voltadas para a qualidade ergonômica na customização em massa de cadeiras fixas. Foi adotada uma abordagem de pesquisa exploratória baseada na triangulação metodológica entre revisão da literatura, pesquisa documental e desenvolvimento experimental. Como resultados observou-se que potencialidades dos configuradores online ainda são pouco exploradas, mas, por outro lado, o desenvolvimento experimental demonstrou a viabilidade de se adotar o design paramétrico como base para se traduzir medidas antropométricas estáticas em um produto individualizado, a partir de uma lógica ergonômica inserida no algoritmo.

Palavras Chave Design paramétrico, Customização em massa, Configuradores online.

Parametric design for mass customization of fixed chairs: human factors and ergonomic logic within the algorithm

Abstract *The objective of this work is to investigate design possibilities in parametric design aimed at ergonomic quality in the mass customization of fixed chairs. An exploratory research approach was adopted based on methodological triangulation between literature review, documentary research and experimental development. As a result, it was observed that the potential of online configurators is still little explored, but, on the other hand, experimental development demonstrated the feasibility of adopting parametric design as a basis for translating static anthropometric measurements into an individualized product, based on an ergonomic logic inserted into the algorithm.*

Keyword *Parametric design, Mass customization, Online configurators.*

Diseño paramétrico para la personalización masiva de sillas fijas: factores humanos y lógica ergonómica en el algoritmo

Resumen *El objetivo de este trabajo es investigar las posibilidades de diseño en diseño paramétrico orientado a la calidad ergonómica en la personalización masiva de sillas fijas. Se adoptó un enfoque de investigación exploratoria basado en la triangulación metodológica entre revisión de literatura, investigación documental y desarrollo experimental. Como resultado, se observó que el potencial de los configuradores online aún está poco explorado, pero, por otro lado, el desarrollo experimental demostró la viabilidad de adoptar el diseño paramétrico como base para traducir las medidas antropométricas estáticas en un producto individualizado, basado en una lógica ergonómica insertada en el algoritmo.*

Palabras clave *Diseño paramétrico, Personalización masiva, Configuradores en línea.*

Introdução, Objetivo e Metodologia

Na contemporaneidade o design e a indústria têm passado por transformações tecnológicas pautadas por mudanças na dimensão digital de seus processos, com isso, despontam novas possibilidades de interrelações entre design, indústria e comércio, decorrentes da digitalização.

De um lado, o design paramétrico amplia as possibilidades de projeto para a customização em massa, uma estratégia promissora para a indústria na transição de economias de escala para economias de escopo, potencialmente mais alinhadas com interesses de usuários e consumidores. De outro lado, na ponta da comercialização eletrônica, configuradores online de produtos permitem que consumidores e futuros usuários participem da especificação de produtos, propiciando que preferências individuais sejam consideradas na configuração de cada produto.

Nesse contexto, cabe à pesquisa em design investigar possibilidades projetuais adequadas para assegurar que as qualidades do design acompanhem as transformações decorrentes da inserção de tecnologias computacionais e se mantenham adequadamente inseridas nas práticas projetuais transformadas.

Partindo desta problemática, o objetivo deste trabalho é investigar possibilidades projetuais em design paramétrico voltadas para a qualidade ergonômica na customização em massa de cadeiras fixas.

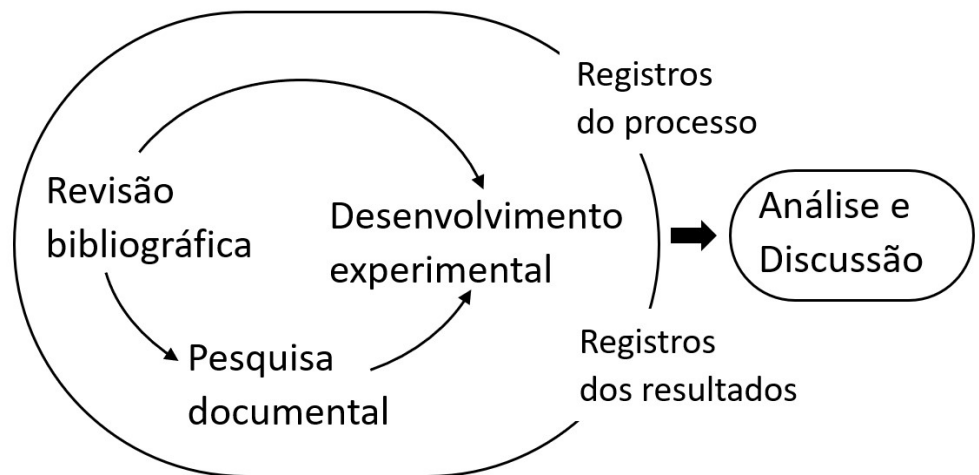
A escolha por cadeiras se deu uma vez que este é um objeto para o qual os parâmetros que determinam sua qualidade ergonômica são razoavelmente bem conhecidos. Além disso, visando limitar a complexidade do desenvolvimento experimental, optou-se por um recorte em cadeiras fixas, ou seja, sem rodízios e sem mecanismos de ajustes.

Para alcançar o objetivo, foi adotada uma abordagem de pesquisa exploratória qualitativa baseada na triangulação metodológica entre: (a) revisão da literatura, tanto para fundamentação teórica quanto para a inserção de uma lógica ergonômica no processo de design; (b) pesquisa documental sobre configuradores online de móveis; e (c) desenvolvimento experimental de um algoritmo de design paramétrico que incorpore a lógica ergonômica citada (Figura 1).

A triangulação metodológica propiciou a produção de resultados práticos fundamentados na literatura e na pesquisa empírica, assim como sua integração em uma discussão sobre as possibilidades para um design paramétrico de alto nível, no qual não se abra mão das qualidades ergonômicas em detrimento das demais qualidades de um produto.

Figura 1: Triangulação metodológica

Fonte: Elaborado pelos autores



A estrutura deste trabalho reflete em parte esta organização metodológica, na seção seguinte é apresentada uma síntese da fundamentação teórica. Na terceira seção se apresenta a pesquisa documental sobre configuradores online. A quarta seção detalha o processo de design paramétrico e demonstra como fatores humanos e uma lógica ergonômica foram inseridos no algoritmo de design. Na última seção, os resultados alcançados são discutidos.

Fundamentação

A adequação ao uso e aos usuários é uma premissa básica da qualidade dos produtos físicos. A ergonomia enquanto área de pesquisa consolidou conhecimentos fundamentais que devem anteceder aplicações de medidas antropométricas e de outros fatores humanos. Nesse sentido, a variabilidade de contextos e de indivíduos é um dos princípios fundamentais da ergonomia (DANIELLOU, 2004). Este entendimento inclui a ideia de que há variações interindividuais e intraindividuais, do que se pode depreender que as características antropométricas de populações de indivíduos variam por fatores como regiões geográficas, bem como ao longo do tempo e mesmo ao longo da vida dos indivíduos.

Deste modo, o valor da aplicação direta em projeto de muitas das tabelas antropométricas é questionável, quando observados os aspectos básicos da estratificação na coleta dos dados, tais como, as regiões geográficas em que os dados foram coletados, o período no tempo em que se deu o levantamento, além das características etárias e ocupacionais dos grupos participantes.

Considerada a variabilidade antropométrica populacional e individual, o requisito ergonômico típico para o design industrial de um móvel visa atender à maior faixa de usuários possível com conforto e segurança, com os designers cientes de que um produto da produção em massa dificilmente conseguiria atender à totalidade de uma população com qualidade ergonômica, incluídos os usuários extremos (mais novos e mais idosos, mais magros e mais obesos, mais altos e mais baixos). Assim sendo, com recorrência são desconsiderados os extremos entre percentis o que termina por excluir parcela significativa da população referenciada.

O design paramétrico, no entanto, viabiliza de fato o design para a customização em massa, podendo ser inseridas no processo de configuração do produto as medidas antropométricas individuais dos futuros usuários de cada objeto.

Em relação às práticas CAD convencionais (Computer Aided Design), as práticas de design paramétrico e computacional representam um movimento que parte de ‘pensar um objeto’ em direção a ‘pensar sobre um campo de opções a se explorar’ (REAS e MCWILLIAMS, 2010).

Esta é uma mudança que coloca de lado o pensamento baseado em modelos e tipologias formais discretas para assumir o design de processos capazes de gerar uma variedade de modelos (KNIPPERS, 2013). Assume-se o algoritmo como objeto de projeto, que deverá incorporar diretrizes e dinâmicas construtivas que serão executadas computacionalmente na produção das formas tridimensionais dos objetos.

O design paramétrico se alinha com a customização como recurso capaz de incorporar dados que correspondam aos requisitos, características ou preferências individuais.

Embora poucos estudos investiguem o design paramétrico de cadeiras e assentos, particularmente em seus aspectos ergonômicos, foram encontrados trabalhos relevantes. Lili, et al. (2010) exploraram a inserção de parâmetros ergonômicos na concepção de um modelo padronizado de cadeira para escritório. Mais recentemente, Marcon, et al. (2021) aplicaram o design paramétrico como recurso intermediário entre a captura de dados dimensionais de almofadas anatômicas individualizadas e a modelagem digital de uma malha que pode ser fabricada digitalmente. Zeng e Qiu (2021) capturaram pontos de pressão em indivíduos assentados que, associados à digitalização tridimensional de posturas de indivíduos assentados, foram usados na concepção de cadeiras individualizadas para impressão 3D. Hamad e Hussein (2020) investigaram a influência do design paramétrico sobre a criatividade no design de móveis, contudo, sem tratar da dimensão ergonômica.

Ainda no sentido da customização, Mintzberg, et al. (2006) partiram da ideia de padronização industrial para evidenciar uma linha de ação estratégica composta por diferentes graus de personalização, que vão da padronização pura à personalização pura, passando pela padronização segmentada (segmentação de consumidores), pela padronização personalizada (escolha de componentes padronizados) e pela personalização sob medida, que equivale a um tipo de alfaiataria em que se faz adaptações dimensionais em projetos já existentes.

Enquanto a sociedade industrial foi marcada pela padronização, a ideia de uma sociedade pós-industrial inclui a valorização das preferências individuais de consumidores e da substituição da economia de escala pela economia de escopo, um movimento em que a demanda orienta aquilo que é oferecido (MINTZBERG, et al., 2006).

Na ponta da fabricação, Xiong, Lu e Lu (2021) apontam que mesmo na customização em massa, a padronização de partes similares pode ser importante para a eficiência produtiva e logística.

Do lado do consumidor, percebe-se o surgimento de um novo tipo de interface digital para a customização em massa, o configurador online, que recebe como entradas os dados para a customização, devolve para o consumidor uma simulação de como ficará seu pedido depois de produzido e entrega para a fábrica as especificações para produção.

Estes configuradores podem cumprir um papel importante na customização em massa, uma vez que são dispositivos aos quais se atribui a interlocução entre as particularidades dos usuários e os sistemas técnicos de configuração dos produtos e de produção.

A compatibilidade e a disponibilidade, propriedades dos objetos que influenciam seu modo de utilização, levam à ideia de uma complexidade distribuída, no sentido de que a complexidade é compartilhada entre usuários e dispositivos técnicos (LEPLAT, 2004). Também nesse sentido, outros autores defendem a ideia de que há um tipo de cognição distribuída, caracterizada pela presença de conhecimentos distribuídos no contexto das tarefas, constituindo apoios cognitivos para usuários (CYBIS, HOLTZ e FAUST, 2007). No escopo temático desta pesquisa, este papel cabe aos configuradores online de cadeiras, que foram objeto de análise em pesquisa documental.

Pesquisa documental: configuradores online de cadeiras

Configuradores online de móveis são ferramentas digitais interativas disponibilizadas por fabricantes de móveis que permitem aos consumidores e futuros usuários testar e gerar variações de especificações de produtos em ambiente virtual, de acordo com suas preferências individuais.

Neste processo, de um lado se oferece possibilidades de escolha aos consumidores e, de outro lado, a indústria pode embarcar nestes configuradores requisitos de fabricação, como limites e restrições dimensionais, de quantidade e variedade formal, de materiais e de acabamentos, por exemplo, automatizando, ao menos em parte, o planejamento de fabricação do produto customizado.

A fim de investigar características destes configuradores atualmente utilizados pela indústria moveleira, desenhou-se uma pesquisa documental baseada em categorias analíticas que serviram para a construção de uma base de dados, posteriormente sumarizada e interpretada (YIN, 2016).

A identificação de configuradores partiu de buscas na internet pela string [“online configurator” + chair] na língua inglesa, uma vez que buscas em português não retornaram resultados significativos. Foram descartados resultados de configuradores de outros produtos, que não cadeiras, bem como um configurador de acesso restrito a clientes cadastrados.

Foram identificados e analisados 16 (dezesesseis) configuradores online. Procurou-se investigar se informações relativas aos usuários, situações de uso e demandas específicas de uso eram solicitadas pelos configuradores no processo de customização.

Além disso, procurou-se evidenciar quais características das cadeiras poderiam ser customizadas e como a customização é propiciada aos consumidores. Considerou-se, por exemplo, se a customização oferecia ajustes discretos (prefixados), contínuos (em uma faixa de valores possíveis) ou opções modulares.

Resultados da pesquisa documental

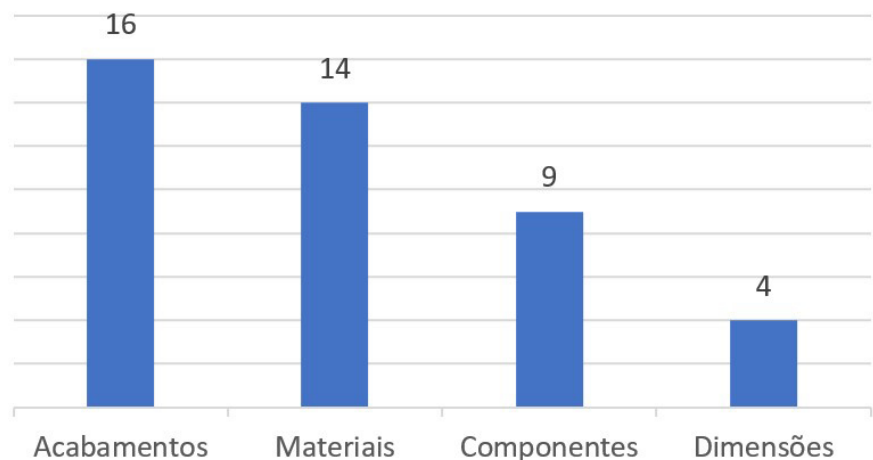
Supreendentemente nenhum dos dezesseis configuradores solicita informações sobre usuários, sejam antropométricas ou de qualquer natureza. Tampouco observou-se solicitações de informações sobre situações de uso ou sobre demandas específicas de uso.

Apenas um configurador faz referência à características dos usuários, mesmo assim, somente se o usuário do configurador solicitar a opção “me ajude a decidir”. Neste caso três tamanhos predefinidos de cadeiras são apresentados junto a recomendações de estatura (mínima e máxima) e peso máximo. O usuário então, após escolher pedir ajuda, precisa traduzir suas informações (estatura e peso) em uma das opções de tamanho predefinidas (A, B ou C). Isto é mais próximo que qualquer um dos configuradores analisados chegou de solicitar informações de usuários, portanto, salvo esta exceção e consideradas suas particularidades, nenhum configurador solicita e nem mesmo processa informações sobre usuários.

Foram identificados quatro aspectos das cadeiras que podem ser customizados: acabamentos (em 100% dos configuradores), materiais (em 87,5% dos configuradores), componentes (56,25%) e dimensões (em 25% dos configuradores), como mostra a Figura 2.

Figura 2: Frequência de atributos customizáveis nos configuradores

Fonte: Elaborado pelos autores



Além disso, observou-se que todas as possibilidades de configuração oferecidas são discretas, exceto a configuração dimensional de um configurador que é modular (Quadro 1, Configurador C). Nos configuradores analisados não foi encontrada nenhuma possibilidade de configuração contínua, ou seja, aquela em que o usuário teria opções de configuração mais livres e menos predeterminadas.

Quadro 1: Representação
anonimizada da base de dados
Fonte: Elaborado pelos autores

Resultados anonimizados	Solicita informações sobre			Propicia customização de			
	Usuários	Situações de uso	Demandas específicas de uso	Acabamentos	Materiais	Componentes	Dimensões
Configurador A	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Discreta
Configurador B	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Discreta
Configurador C	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Modular
Configurador D	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Não
Configurador E	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Não
Configurador F	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Não
Configurador G	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Não
Configurador H	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Discreta	Não
Configurador I	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Discreta
Configurador J	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Não
Configurador K	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Não
Configurador L	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Não
Configurador M	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Não
Configurador N	Não	Não	Não	Discreta	Discreta	Não	Não
Configurador O	Não	Não	Não	Discreta	Não	Discreta	Não
Configurador P	Não	Não	Não	Discreta	Não	Não	Não

Fica evidente que as potencialidades dos configuradores online de cadeiras ainda são pouco exploradas e que as possibilidades de configuração são bastante limitadas, recaindo com frequência sobre acabamentos, escolhas de materiais e componentes opcionais. Os poucos configuradores que oferecem configuração dimensional o fazem com controles discretos predefinidos ou com módulos predeterminados.

A pesquisa documental revela que os configuradores de cadeiras ainda não cumprem o papel esperado de suportes cognitivos para escolhas de usuários, além de não processarem informações relevantes sobre o uso, situações de uso e usuários.

Design paramétrico de cadeiras fixas ergonômicas

Esta seção apresenta o desenvolvimento experimental do algoritmo de design paramétrico como um processo de concepção.

Processo de design paramétrico

O projeto de um algoritmo em design paramétrico requer conhecimentos em geometria, matemática e programação. Em processos de design paramétrico há uma lógica computacional subjacente à produção de modelos que pode ser pensada em analogias a partir de regras e instruções para geração formal (VENÂNCIO, 2025).

Issa (2020) propõe um processo de concepção em quatro etapas: identificar a saída desejada com clareza; identificar passos-chave para alcançar a saída; examinar dados e parâmetros iniciais; definir passos intermediários para completar o algoritmo.

A partir desta dinâmica foi elaborado um processo específico para o desenvolvimento experimental deste trabalho, segundo o qual inicialmente foi determinada uma lógica ergonômica a partir da literatura; em seguida a lógica geométrica foi concebida na forma de um algoritmo; finalmente podem ser inseridas diferentes lógicas formais finais, conforme os materiais que serão empregados na sua fabricação, processos produtivos e as definições formais finais da cadeira.

- i. Lógica ergonômica
- ii. Lógica geométrica construtiva
- iii. Lógica formal final

O algoritmo foi concebido na plataforma Grasshopper, junto ao programa de modelagem tridimensional Rhinoceros. O algoritmo final foi registrado como programa de computador pela Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica – CTIT, da UFMG.

Lógica ergonômica e lógica geométrica construtiva

O propósito inicial do desenvolvimento experimental foi inserir considerações ergonômicas sobre o dimensionamento de assentos em um algoritmo de design paramétrico que, a partir de medidas de indivíduos, produza como saída cadeiras fixas com dimensões adequadas.

Assim, deve-se considerar características específicas dos móveis. Por exemplo, para IIDA (2005), assentos muito altos pressionam a parte inferior das coxas, enquanto assentos muito baixos fazem o corpo deslizar, prejudicando a estabilidade; assentos muito curtos concentram a distribuição do peso, enquanto assentos muito longos criam pressão na parte interna das pernas.

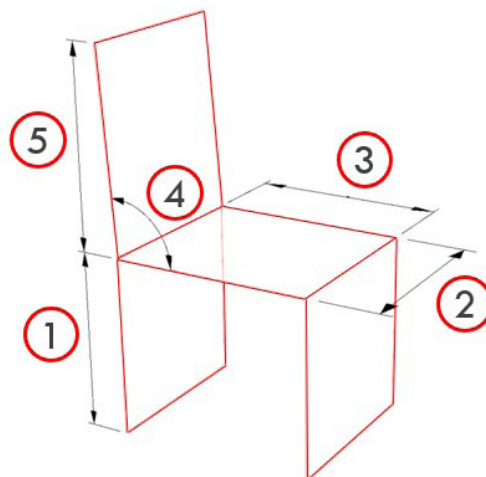
Além disso, o princípio ergonômico da variabilidade pode ser considerado também ao longo do uso dos produtos. O trabalho estático, caracterizado pela contração prolongada da musculatura para manutenção de postura, provoca redução da circulação sanguínea e fadiga muscular mais rapidamente do que o trabalho dinâmico ou alternado (KROEMER e GRANDJEAN, 2005). Assim, a combinação entre esforços estáticos e dinâmicos é desejável, mesmo em situações de repouso e propiciar variações posturais ao longo do uso se torna um dos requisitos projetuais ergonômicos para os móveis de assentar.

Da ergonomia dos postos de trabalho se conhece a necessidade de variação postural por usuários e de mobilidade. O recurso projetual para permitir a mobilidade e a variação de posturas nas dimensões de um produto são as folgas, espaços livres que são definidos pelo acréscimo dimensional às medidas antropométricas (IIDA, 2005).

Figura 3: Variáveis dimensionais escolhidas

Legenda: (1) altura do assento;
(2) largura do assento;
(3) profundidade do assento;
(4) inclinação do encosto;
(5) altura do encosto.

Fonte: Elaborado pelos autores



Os próximos passos para parametrizar uma lógica ergonômica, a partir destes entendimentos, consistiram no estabelecimento de relações entre as entradas do algoritmo e a estrutura dimensional que será produzida por ele, ou seja, entre medidas antropométricas individuais e as dimensões estruturais do produto. Assim sendo, foram selecionadas variáveis dimensionais de cadeiras (IIDA, 2005), indicadas na Figura 3 e variáveis de medidas antropométricas (PANERO e ZELNIK, 2002).

Estas variáveis foram relacionadas matematicamente com as variáveis antropométricas (Quadro 2).

Quadro 2: Relações entre variáveis dimensionais de cadeiras e medidas antropométricas

Fonte: Elaborado pelos autores

Variáveis dimensionais de cadeiras	Relações com medidas antropométricas
Altura do assento	= altura poplíteia (parte inferior da coxa assentado)
Largura do assento	= largura do quadril x 1,15 (medida antropométrica + folga de 15%)
Profundidade do assento	= distância nádega-poplíteia x 0,85 (medida antropométrica com redução de 15%)
Inclinação do encosto	= 5o a 10o
Altura do encosto	= altura dos ombros a partir do assento x 0,80 (medida antropométrica com redução de 20%)

De tal modo foram estabelecidas as seguintes relações: (1) a altura do assento equivale à altura do sulco poplíteo; (2) a largura do assento equivale à largura do quadril acrescida de uma folga de 15% desta medida; (3) a profundidade do assento é definida pelo comprimento entre nádega e sulco poplíteo (atrás dos joelhos) reduzida em 15%; (4) a inclinação do encosto, variável entre 5o e 10o, foi definida a partir de revisão de indicações de autores e normas técnicas (IIDA, 2005, p. 156); (5) a altura do encosto definida pela redução de 20% da altura dos ombros até o assento.

A lógica geométrica foi então criada a partir de novas relações entre elementos geométricos (pontos, linhas e planos) e inserida no ambiente de programação. Deste modo o algoritmo final carrega a lógica ergonômica e esta lógica geométrica construtiva.

Foram selecionados dados das variáveis antropométricas a partir de tabela de antropometria estática de brasileiros (IIDA, 2005, p. 121), com a finalidade exclusiva de demonstrar o funcionamento do algoritmo com medidas humanas. Para tanto, selecionamos os percentis 5% e 95% da população (Quadro 3).

Quadro 3: Exemplos de variáveis antropométricas selecionadas (percentis 5% e 95%)

Fonte: IIDA, 2005.

Entradas antropométricas	Percentil 5%	Percentil 9%
Altura poplíteia	390 mm	465 mm
Largura do quadril	295 mm	358 mm
Distância nádega-poplíteia	435 mm	530 mm
Altura dos ombros a partir do assento	550 mm	645 mm

Neste exemplo de aplicação os dados antropométricos inseridos no algoritmo levaram à produção de duas estruturas distintas, uma para cada conjunto de medidas. Em seguida foram criados dois modelos antropométricos digitais com as medidas antropométricas dos percentis 5% e 95% e estes modelos foram sobrepostos às estruturas produzidas nas vistas lateral e frontal (Figura 4A).

Estes procedimentos foram realizados com precisão dimensional em ambiente computacional, de modo a preservar as medidas com rigor. Da sobreposição dos modelos antropométricos em relação às estruturas produzidas observa-se claramente a adequação das estruturas aos modelos antropométricos.

A relação matemática direta entre altura do assento e altura poplíteia (Quadro 2, Altura do assento) talvez possa ser ajustada pela inserção de um pequeno fator de redução, dado que a parte inferior das coxas se sobrepôs à estrutura do assento da cadeira (Figura 4B). Isto, no entanto, não necessariamente é um problema ergonômico, uma vez que a representação antropométrica do usuário assentado não representa a compressão da massa corpórea esperada a partir da pressão que peso do próprio corpo exerce sobre a parte inferior das coxas na posição assentada.

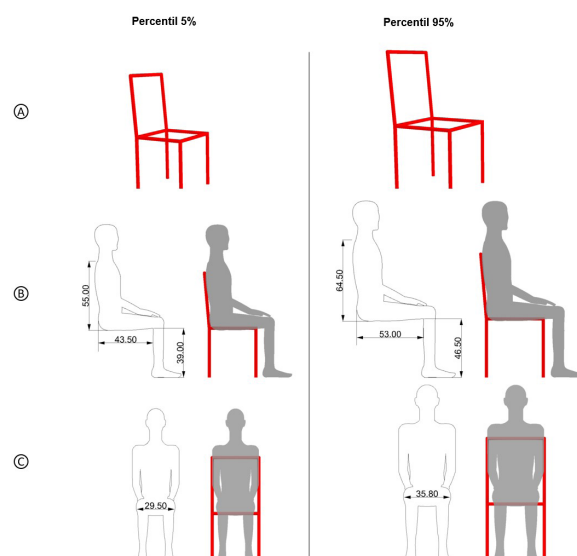
As folgas que haviam sido previstas são visíveis na distância entre pernas e cadeira, na profundidade do assento (Figura 4B) e aos lados do quadril na largura da cadeira, na vista frontal (Figura 4C).

Figura 4: Estruturas geradas e sobreposição com modelos antropométricos

Legenda: Aplicação do percentil 5% à esquerda e 95% à direita.

(A) estruturas geradas pelo algoritmo a partir do conjunto de medidas antropométricas;
(B) modelos antropométricos e sobreposição na vista lateral;
(C) modelos antropométricos e sobreposição na vista frontal.

Fonte: Elaborado pelos autores



Lógica formal final

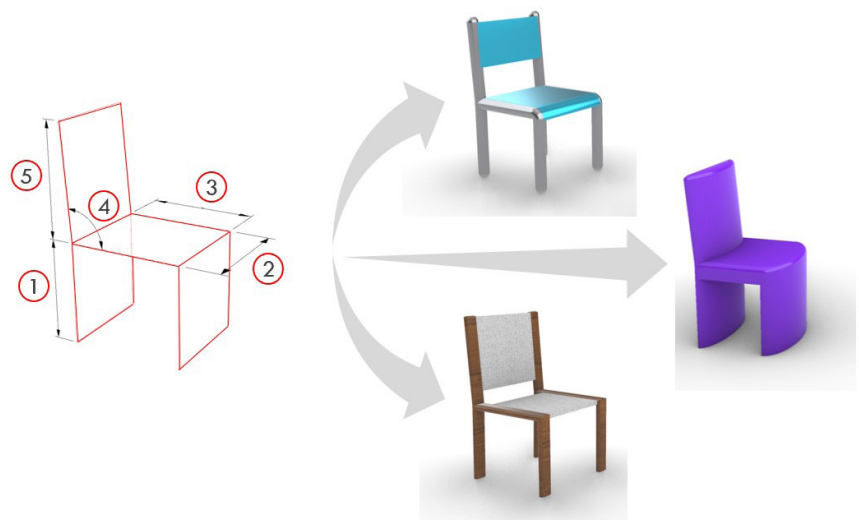
A lógica formal final é a última etapa do processo, que pode ser adaptado para diferentes materiais e processos produtivos. O desenvolvimento desta lógica formal, portanto, depende de informações relacionadas a escolhas de design e de outras, decorrentes do contexto da fabricação.

Neste trabalho geramos três possibilidades de configuração formal final com o propósito de ilustrar algumas das possibilidades de aplicação (Figura 5), com a geração de um modelo tubular em metal, um segundo modelo que poderia ser produzido com polímeros e um terceiro modelo que poderia ser feito com madeira e estofado ou perfis de alumínio e tela sintética.

Figura 5: Exemplos de três

lógicas formais aplicadas

Fonte: Elaborado pelos autores



Estas lógicas formais foram incorporadas no algoritmo como opções iniciais para fabricação. A inserção do algoritmo em um ambiente fabril implica necessariamente em desenvolvimento adicional para ajustá-lo às especificidades do contexto em que será inserido.

Discussão

As etapas de pesquisa alimentaram umas às outras de tal modo que a revisão da literatura informou a etapa de pesquisa documental na escolha dos dados observáveis, apoiando a definição das categorias analíticas e a estruturação da base de dados.

A revisão da literatura informou também o desenvolvimento experimental, em particular na definição de uma lógica ergonômica que foi inserida no algoritmo de design paramétrico.

A pesquisa documental verificou que configuradores ainda não concretizaram seu papel na redução da complexidade para usuários, como previsto pela literatura. Também se observou que configuradores atuais não consideram informações críticas de interesse ergonômico, como informações sobre usuários, sobre situações de uso e sobre demandas específicas de uso.

Os resultados destas duas primeiras etapas orientaram o desenvolvimento experimental. Baseado em dados antropométricos individuais o algoritmo criado produz estruturas dimensionais únicas adequadas a cada usuário.

As aplicações foram demonstradas com dados extraídos de uma tabela de medidas antropométricas, apenas para ilustrar possibilidades de aplicação.

Além disso, três exemplos de configuração formal final foram produzidos para aplicações com diferentes tipos de materiais e processos produtivos, a partir de uma mesma estrutura dimensional; também visando ilustrar possibilidades de aplicação do algoritmo.

Deste modo, entende-se que foram demonstradas possibilidades de aplicação do design paramétrico na configuração de produtos a partir de medidas antropométricas individuais, em um algoritmo que incorpora uma lógica ergonômica fundamentada na literatura.

Deste ponto em diante cabem considerações sobre a fabricação. Se a fabricação de produtos únicos a partir de medidas individuais era impensável na indústria tradicional e em economias de escala, abordagens de fabricação digital propiciam a implementação de uma customização em massa real que pode até mesmo ser individualizada.

Nesse sentido a lógica de fabricação deve ser inserida como uma quarta etapa no processo de design paramétrico, integrada na concepção do algoritmo, em termos de seus requisitos e potencialidades específicas para cada caso.

Mesmo em um contexto de fabricação analógica a inserção do design paramétrico no processo de desenvolvimento pode ser bastante útil para a geração diversificada e controlada de modelos, senão para a configuração de produtos customizáveis, ao menos como recurso facilitador de prototipagem, testes e revisões.

Considerações finais

A partir da triangulação metodológica entre a revisão da literatura, como fundamentação teórica e lógica ergonômica, a pesquisa documental de configuradores online de móveis e o desenvolvimento experimental de um algoritmo para design paramétrico, obteve-se resultados práticos capazes de contribuir com a indústria moveleira.

Dado que design e indústria passam por transformações tecnológicas decorrentes da digitalização, o design paramétrico desponta num momento oportuno em que possibilidades de customização em massa ampliam os interesses de usuários e consumidores em contar com produtos personalizados, tornando possíveis algoritmos capazes de assegurar a qualidade ergonômica dos produtos a partir da inserção de uma lógica ergonômica junto às tecnologias computacionais inseridas no processo, desde sua concepção, potencializando a participação do usuário e permitindo sua customização.

Como sugestões para trabalhos futuros colocam-se: a possibilidade de integrar outras variáveis dimensionais dos móveis; explorar aplicações em outros tipos de móveis; explorar possibilidades de configurações voltadas para especificidades produtivas; inserir aspectos específicos das situações de

uso na lógica ergonômica (por exemplo: uso contínuo ou prolongado, uso esporádico, uso em ambientes externos, entre outros).

Por fim, coloca-se como desdobramento previsível para este trabalho a produção de protótipos e a condução de testes ergonômicos com usuários, metodologicamente estruturados, a fim de validar e refinar o algoritmo concebido.

Referências

CYBIS, W.; HOLTZ, A.; FAUST, R. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações**. São Paulo: Novatec, 2007.

DANIELLOU, F. **A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

ISSA, R. **Essential Algorithms and Data Structures for Computational Design**. 1ª. ed. San Diego, California: Robert McNeel & Associates, 2020.

KNIPPERS, J. **From Model Thinking to Process Design**. Architectural Design, v. 83, Issue 2, p. 74-81, 2013.

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

LILI, Wang; TAO, Shang; ZHENG, Yang; YIXIONG, Li. **The Parametric Design of Office Chairs Based on Ergonomics**. In: 2010 International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering, 2010. Wuhan, China, p. 355-360. DOI: 10.1109/CCIE.2010.96.

LEPLAT, J. **Aspectos da complexidade em ergonomia**. In: DANIELLOU, F. A ergonomia em busca de seus princípios. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MARCON, C. T.; SURIS, B. S.; BRUSCATO, U. M.; OLIVEIRA, M. P.; SILVA, F. P. da. **Uso de parametrização digital no desenvolvimento de assentos personalizados para cadeiras de rodas**. Human Factors in Design, Florianópolis, v. 10, n. 19, 2021. DOI: 10.5965/2316796310192021052.

MINTZBERG, H. et al. **O Processo da Estratégia: conceitos, contextos e casos selecionados**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: G. Gili, 2002.

REAS, C.; MCWILLIAMS, C. **Form+Code in design, art and architecture**. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

VENÂNCIO, R. **Precedentes Algorítmicos: explorando o potencial criativo do reuso e adaptação de modelos paramétricos.** DAT Journal, v. 10, n. 1, p. 69-90, 2025. DOI: 10.29147/datjournal.v10i1.856. Disponível em: <https://datjournal.anhembi.br/dat/article/view/856>. Acesso em: 20 maio. 2025.

XIONG, X.; LU, G.; LU, D. **Research on Children's Customized Furniture Design Based on Group Technology.** Applied Sciences. 2021, 11, 11371. <https://doi.org/10.3390/app112311371>.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa do Início ao Fim.** Porto Alegre: Penso, 2016.

ZENG, S.; QIU, S. **Parametric Design For Industrial Products: Taking Ergonomic Seat Design as an Example.** IN: PROJECTIONS - Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2021. Hong Kong, Volume 1, p. 121-130.

Recebido: 20 de maio de 2025

Aprovado: 19 de outubro de 2025