

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP) AO DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO DE GRAVAÇÃO A LASER

André Luiz Barbosa Marinho
Instituto Federal de Rondônia, Campus Calama - Porto Velho, Rondônia
andre.marinho@estudante.ifro.edu.br

João Victor Magalhães Euzébio
joao.magalhaes@estudante.ifro.edu.br

Artur Vitorio Andrade Santos
artur.santos@ifro.edu.br

Esther Nunes Alves
esthernunes453@gmail.com

Ariadny Milena Silva Oliveira
ary.milena06@gmail.com

Resumo: O trabalho apresenta a aplicação do processo de desenvolvimento de produto (PDP) ao desenvolvimento de uma máquina de Comando Numérico Computadorizado (CNC) de gravação Laser. Através do PDP, o objetivo é a estruturação do processo de criação do maquinário a ser utilizado no Instituto Federal de Rondônia e também em pequenas empresas e ambientes de prototipagem. Devido aos fins práticos do projeto proposto, foi utilizado da pesquisa exploratória com o objetivo de gerar conhecimento dirigido à solução do problema específico. A partir da abordagem do PDP, foi levantado os requisitos dos clientes e de produto, posteriormente utilizado do diagrama de Mudge e diagrama de pareto para selecionar os principais requisitos a serem empregados na máquina. Da priorização dos requisitos do cliente podemos destacar a necessidade de ser acessível, portanto, de baixo custo e possuir sistema open-source, possibilitando replicação por parte de terceiros, através do link disponibilizado para download. Para estruturação do projeto, foi empregado a Matriz Morfológica para levantamento e caracterização dos itens a serem utilizados e aplicado o Modelo V, dividindo o projeto em mecânico, eletroeletrônico e computacional. Na parte mecânica, temos a utilização de software CAD para modelagem do projeto, análise estrutural do mecanismo e definição dos parâmetros da máquina laser. A estrutura mecânica foi desenvolvida baseada em Impressão 3D para atendimento do baixo custo e replicação por terceiros. A eletroeletrônica é baseada em Arduino e Shield CNC, através de firmware open-source GRBL para controlar a movimentação da máquina. Por fim, foi utilizado o LaserGRBL para possibilitar o controle da máquina e definição da potência do laser. Ao final do desenvolvimento, obteve-se uma máquina de gravação a laser com dimensões da área de gravação de 270x270mm, utilizando laser de Diodo, materiais de baixo custo e impressão 3d. Dos 5 requisitos de projetos definidos, 4 foram atingidos de forma satisfatória, sendo que ao final, a precisão da máquina CNC de gravação a laser foi verificada em relação ao desvio padrão do erro de paralelismo e repetibilidade da máquina.

Palavras-chave: CNC; Gravação Laser; Desenvolvimento de Produto e Impressão 3D.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os processos produtivos estão altamente presentes nos meios industriais, nas fábricas e nas indústrias. Neste quesito, Marodin (2018) observa uma prática bastante comum dentre empresas, que é de alocar um excesso de recursos para o chão de fábrica de suas indústrias, entretanto empregar menos recursos para seus processos de desenvolvimento de produtos. Marodin (2018) afirma, ainda, que devido ao cenário do mercado de produtos é implicada uma situação de alta competitividade para entre as empresas, o que as força a repensarem seus processos produtivos para tornarem-se mais eficientes e eficazes. Uma forma de alcançar um outro patamar neste panorama de competição é através da inovação, de acordo com Hu (2017), utilizando-se da inovação, empresas conseguem alcançar melhores desempenhos.

Para tanto, um termo ganha relevância significativa no mercado: o processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Conceituado, por Ulrich e Eppinger (2011), como um acumulado de tarefas e estratégias elaboradas com o intuito de transformar um conceito de um produto em um produto acabado e real, inicia-se com a visão de mercado e oportunidades

surgindo, findando com a produção do produto e, consequentemente, processos de pós-vendas. Ulrich e Eppinger (2011), incrementam ao dizer que o desenvolvimento de produtos não é um processo geral e semelhante para todas as empresas, mas sim um processo particular, ou seja, o processo de desenvolvimento de produtos é característico da realidade de onde é aplicado e implementado. Machado (2007), argumenta que no PDP além do fluxo de materiais, há o fluxo de informações no decorrer dos processos.

Machado (2007), afirma que o PDP é um know-how que toda empresa deve possuir à sua disposição, para tal que é um diferencial para empresas que priorizam o feedback de um cliente. Machado (2007), observa que o desenvolvimento de produtos, de acordo com analistas, é o que pode garantir a sobrevivência de corporações financeiras em ambientes competitivos.

O presente trabalho propõe a confecção de uma máquina de comando numérico computadorizado (CNC) de baixo custo, por meio de metodologia e estruturação de desenvolvimento de produto, tendo em vista o alto custo de aquisição de maquinário, ultrapassando, muitas vezes, valores acima de dez mil reais. Além disso, máquinas CNC de porte industrial têm estruturas complexas e vultosas, não sendo ideal para muitos centros de pesquisas e ensino.

No trabalho de Ambrizal (2017), a máquina construída possui área útil de trabalho de quarenta e quatro centímetros e meio no eixo x e trinta e nove centímetros e meio no eixo y, para o controle da máquina utilizou do software K-cam, o corpo do maquinário foi construído em perfis de alumínio formando um cubo de dimensões 30x50x40 cm. Na obra de Koprda (2020), montou-se uma máquina para ser equivalente com outras de porte industrial, o custo de fabricação ficou em torno de 236 €, o que na conversão atual seria R\$ 1.296,76, sua área de trabalho é de 210 x 290 mm e alcançou resultados satisfatórios para níveis comerciais e industriais, porém a autora não recomenda a comercialização do maquinário e diz que o mesmo seria mais bem utilizado para fins educacionais.

2. METODOLOGIA

Para o processo de desenvolvimento de produtos, adota-se 5 fases com características e objetivos diferentes para estruturação. Estas etapas não são padronizadas e variam de aplicação para aplicação. É mostrado na Fig. 1 um exemplo de processo de 5 etapas para o desenvolvimento de um produto (Da Amaral, 2006).



Figura 1 - Fases de desenvolvimento de produto proposto por Da Amaral (2006)

Da Amaral (2006) argumenta que no início do desenvolvimento o grau de incerteza é alto e que vai diminuindo com o passar das fases, porém que esta hesitação do primeiro momento implica em alterações no produto em fases posteriores, elevando o custo significativamente, visto que quanto mais avançado no processo se está, maior será o gasto.

Ao finalizar uma fase do processo de desenvolvimento de produtos, deve-se aplicar uma revisão e aprovação formal dos respectivos resultados. Para tal, adota-se o termo do vocabulário inglês, gate, que significa portão ao traduzir-se literalmente. A figura do gate simboliza a passagem de uma fase para outra e, portanto, que o produto daquela referida fase foi aprovado. A utilização desse sistema de portões foi uma evolução no desempenho de empresas. Previamente, o requisito para avanço de fase é o cumprimento das atividades planejadas, sem qualquer tipo de avaliação do que fora obtido (Da Amaral, 2006).

Na etapa de projeto informacional, objetiva-se desenvolver as especificações-meta do produto, que são um conjunto de informações, precisas e completas, que compreendem os requisitos de produto, mas associados a valores-meta. Portanto, parâmetros quantitativos e mensuráveis que o produto abarcará. Nota-se que o levantamento de informações errôneas nesta etapa pode resultar em uma problematização errada e, consequentemente, uma solução desnecessária (Da Amaral, 2006).

Santos (2018) argumenta que para obter-se os requisitos de produtos, deve-se previamente realizar a priorização dos requisitos de clientes, para aferir quais devem ter mais destaque e importância, isto para ter-se o desejo do cliente em uma linguagem favorável à figura do engenheiro. Para tal, usa-se o Diagrama de Mudge, um aparato utilizado para comparação de funções, de duas em duas, a fim de ordenar-se pela relevância (Rocco e Silveira, 2008). No Quad. 1 observam-se as necessidades dos clientes levantadas. Os clientes neste primeiro trabalho foram as necessidades de professores, alunos e para aplicação de empresas de pequeno porte.

Quadro 1. Necessidades dos clientes

Ciclo de Vida do Produto	Lista de Necessidades	Ordem
Funcionalidade	Sistema simplificado	1
	Alta precisão de gravação	2
	Gravação Laser em diversos materiais	3

Produção	Baixo custo de montagem	4
	Replicabilidade	5
	Fácil manutenção	6
	Realizar cortes em materiais diversos	7
Reciclagem	Uso de materiais reutilizáveis	8

De posse das necessidades dos clientes, de acordo com cada área do produto, pode-se construir o Diagrama de Mudge para análise. Na Fig. 2 está o Diagrama de Mudge, com as necessidades listadas de um até oito na ordem que estão na tabela de necessidades.

Diagrama de Mudge									
-	2	3	4	5	6	7	8	Soma	%
1	2B	3C	4B	5B	1B	1C	8B	4	4,26%
	2	2B	4A	5B	2A	2A	2C	15	15,96%
		3	4A	5A	3B	3A	8B	9	9,57%
			4	4C	4A	4A	8C	24	25,53%
				5	5B	5A	5C	20	21,28%
					6	6A	6A	10	10,64%
						7	8A	0	0,00%
							8	12	12,77%
							Total	94	100,00%

Figura 2. Diagrama de Mudge

Para complementar essas informações, pode-se utilizar uma ferramenta chamada Diagrama de Pareto, que de acordo com Pareto (1848), é um aparato empregado para priorizar as necessidades do cliente. Na Fig. 3 pode-se observar a aplicação do diagrama de pareto, onde através dos resultados, podemos verificar que dentro da proporção 80/20 do que irá influenciar no desenvolvimento da máquina proposta, temos que a visão do baixo custo de montagem é um grande limitador do desenvolvimento. Em contrapartida, gravação a laser em diversos materiais, sistema simplificado e realizar corte em materiais diversos, não são tão importantes, até mesmo porque para realizar o corte em materiais diversos, será necessário um laser com alta potência, que inviabilizaria o baixo custo de montagem.

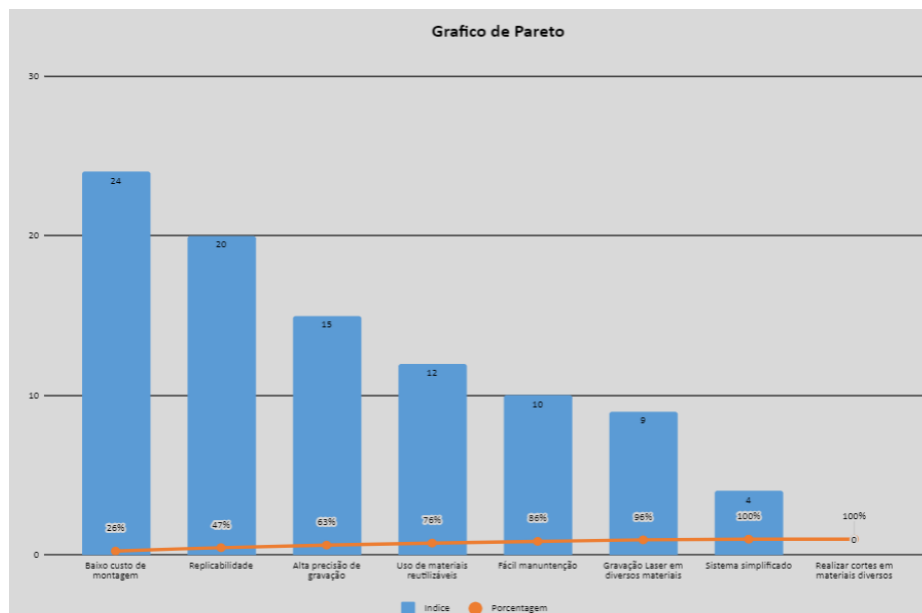


Figura 3. Diagrama de Pareto

As especificações-metas do projeto, para quantificar em valor, o resultado desejável de determinada condição, seguindo os requisitos de produto levantados a partir das necessidades dos clientes, foram definidos conforme Quadro 2.

Quadro 2. Especificações-Metas

Requisitos de Produto	Unidade	Valor-Meta
Interface Gráfica	-	Open-Source Software
Erro de precisão da máquina	-	5%
Custo total da produção	R\$	1.500

Replicável	-	Sim
Materiais reutilizáveis	-	Impressão 3D

A etapa de projeto conceitual difere-se do projeto informacional, essa é subdividida em etapas menores, a qual são a busca, criação, representação e seleção. A busca se dá por meio de pesquisas bibliográficas do que há disponível na literatura ou analisando produtos de empresas concorrentes. Na criação não se impõe barreiras, porém deve-se considerar o projeto de produto e suas necessidades e requisitos. A representação caminha juntamente da etapa de criação, é tido como uma etapa de exposição gráfica. E a seleção baseia-se em requisitos definidos ou necessidades traçadas, portanto é variável. No início da etapa de projeto conceitual, descreve-se o produto de maneira abstrata e independente de princípios físicos, isto visando evitar que o foco seja mantido na problematização do produto, ao invés da solução (Da Amaral, 2006). Tal abstração é feita utilizando os conceitos de ação global, a ação global do presente projeto pode ser visualizada na Figura 4.

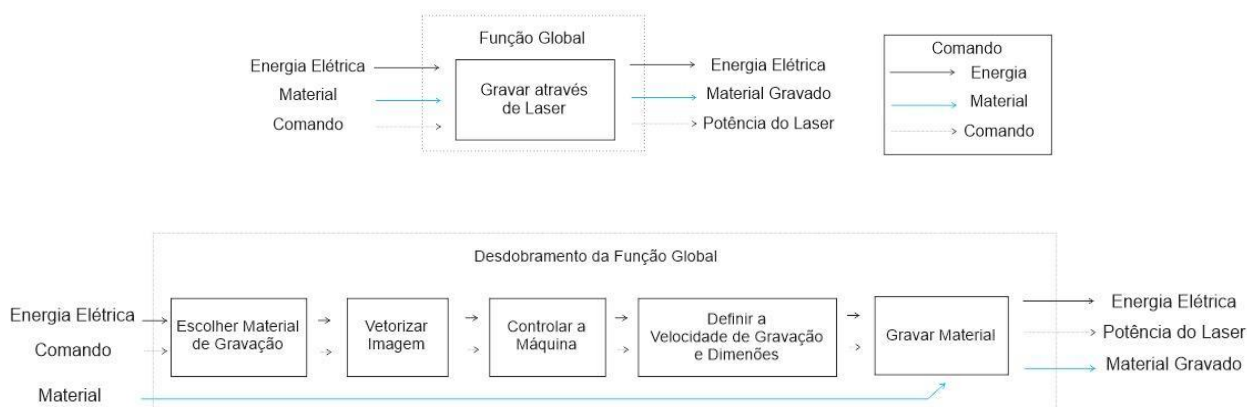


Figura 4. Diagrama de função global

De posse das ações globais e seu desdobramento, é possível traçar a Matriz Morfológica, um instrumento utilizado para análise e observação, em situações que há um elevado número de combinações possíveis entre os componentes ou elementos de um produto, ou sistema (Pereira, 2014). As possibilidades de construção da máquina foram disponibilizadas no código QR na seção de resultados.

Com base na matriz morfológica, foram definidos os materiais para construção e elaboração do projeto CAD a ser desenvolvido. Pensando nos requisitos dos clientes, a solução foi proposta em relação ao tripé, restrição de material, orçamento e capacidade técnica da equipe.

Dado que o produto do presente trabalho se trata de um mecatrônico, utilizou-se de um modelo integrado e auxiliar do PDP, o Modelo V proposto pelo professor Gausmeier (2013). Trata-se de subdividir a construção em três grandes polos, sendo o projeto mecânico, o projeto eletroeletrônico e o projeto software de controle.

No projeto mecânico, utilizou-se de software de desenho assistido por computador (CAD) para modelagem do produto e software de manufatura assistida por computador (CAM) para confecção da máquina, o resultado é visível na Figura 5.

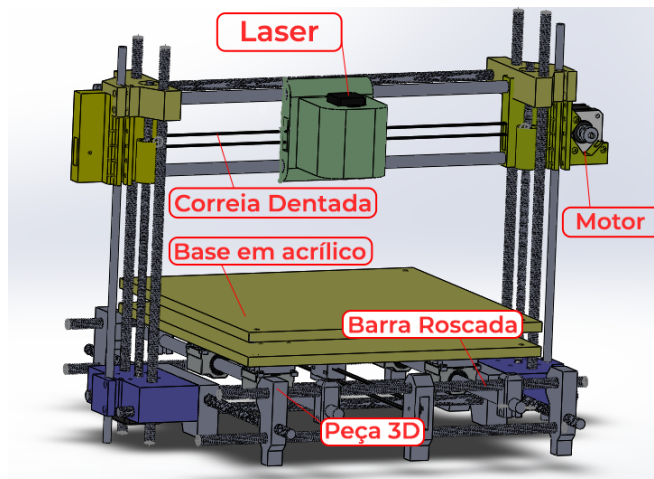


Figura 5. Modelagem CAD da Máquina

No projeto eletroeletrônico os componentes utilizados para o projeto e esquema de funcionamento do circuito eletrônico proposto, podem ser visualizados na Figura 6. Vale ressaltar que a utilização do Arduino Uno, provém atender ao requisito de baixo custo do projeto e a possibilidade de código aberto.

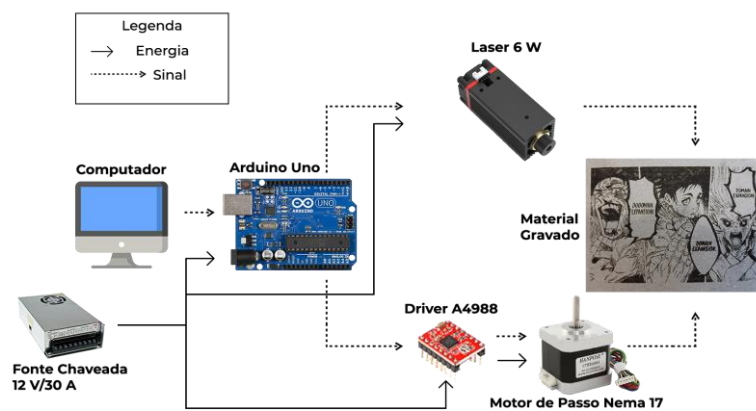


Figura 6. Diagrama de funcionamento do sistema

Para finalizar, no projeto software de controle, define-se o programa que será utilizado para realizar o controle da máquina, o software escolhido seguiu o requisito de ser aberto e gratuito, portanto, escolheu-se o LaserGRBL. O software possibilita o controle de movimentação da máquina, interpretação do Código G e ajuste da potência do laser.

Considerando o tempo de vida do produto, uma vez construído, devido possuir peças de impressão 3D, o mesmo pode ser facilmente desmontado e descartado de forma reciclável, até mesmo para confecção de outros tipos de maquinário. A fase de preparação da produção e lançamento do produto, conforme as fases de desenvolvimento proposto por Da Amaral, 2006, ainda não foram desenvolvidas neste trabalho, por requerer mais estudos e ajustes dos materiais finais da máquina de gravação a laser.

3. RESULTADOS

Destaca-se que nesta seção serão abordados os resultados obtidos deste estudo em dois momentos distintos. O primeiro momento trata-se do desfecho da montagem da máquina através da disponibilização de um código QR que possui links para um drive com as peças 3D utilizadas na montagem e confecção da máquina, fotos do maquinário construído, vídeos da máquina em operação e fotos de alguns exemplos de gravações feitas, uma tabela com os componentes mecânicos e eletrônicos utilizados para análise do custo total do projeto e uma tabela referente a matriz morfológica feita no desenvolvimento do projeto. O código QR está disponível através da Figura 7.



Figura 7. Código QR

O segundo momento refere-se ao estudo da precisão feito pelo grupo para ter-se mais informações da máquina. Para tal, montou-se um ensaio de eficiência, este foi subdividido em duas partes, a primeira consistiu em realizar a gravação de um retângulo de 15 milímetros e 30 milímetros de largura de dimensão e a segunda compreende a gravação de três retângulos que, no total, são de 60 milímetros de altura e 30 milímetros de largura.

A pretensão do teste é conferir se há diferença entre as dimensões inseridas nos parâmetros do projeto e as medidas reais de gravação, ou seja, o projetado e o medido. Para tanto, utilizou-se um paquímetro mecânico para aferir se há diferença. Com o auxílio da ferramenta de medição utilizada, o resultado obtido foi de 15,4 milímetros de altura e 31,4 milímetros de largura, observa-se uma diferença de 0,4 e 1,4 milímetros, respectivamente.

O segundo experimento, o resultado obtido foi de 63,3 milímetros de altura e 31,4 milímetros de largura, observa-se uma diferença de 3,3 milímetros e 1,4 milímetros, respectivamente. Com isto, é possível verificar a precisão da máquina em relação ao desvio padrão do erro de paralelismo e repetibilidade da máquina. Vale destacar que o uso de um equipamento digital para medição mais automatizado, contribui para uma melhor medição, o que atualmente não é encontrado no laboratório em que a máquina foi desenvolvida. Na Tab. 1 é possível verificar os erros de medição em relação às amostras relacionadas aos eixos X e Y da máquina.

Tabela 1 – Erros de medição relacionados ao desenvolvimento da máquina

Medição	Projetada	Medida	% Erro Eixo X	% Erro Eixo Y
Amostra 01	30mm x 15mm	31,4mm x 15,4mm	4,67%	2,67%
Amostra 02	30mm x 60mm	31,4mm x 63,3mm	4,67%	5,5%

Como a coleta de amostras relacionada a medição mecânica e imprecisão da medição, torna-se um complicador, os erros apresentados seriam melhor analisados através de mais amostras relacionadas aos eixos X e Y para verificação correta do desvio padrão do erro de paralelismo e repetibilidade da máquina. Entretanto, observa-se a partir da análise e medições apresentadas que o erro no eixo X permanece constante, sendo o erro no eixo Y variável. Como o eixo Y está relacionado a movimentação da mesa de gravação da máquina, pode-se acontecer das vibrações e esforço mecânico para um deslocamento de uma maior massa influenciar no erro apresentado.

4. CONCLUSÃO

A partir das especificações metas estipuladas para o desenvolvimento da máquina apresentada no Quad. 2, podemos verificar que os objetivos propostos vieram de encontro com o desenvolvido. A interface gráfica através do software utilizado possibilitou o controle e interpretação do código G a partir dos modelos 2D a serem gravados. A máquina construída possui erros em relação ao eixo X e Y que devem ser ajustados, mas que estão próximos dos valores definidos. O custo total para fabricação da máquina não onerou o orçamento para desenvolvimento, sendo possível ser contemplado a construção por editais de pesquisa e extensão de instituições públicas. Por ser confeccionada com impressão 3D e materiais de fácil acesso encontrados na região Norte, a máquina pode ser replicada através das informações e fotos disponibilizadas através do QR Code. A aplicação da metodologia de desenvolvimento de produto possibilitou o desenvolvimento de forma ordenada e o balizamento do projeto para cumprir os objetivos propostos conforme a necessidade do cliente.

Para trabalhos futuros, pretende-se realizar o acabamento da máquina em termos de interligação eletrônica e fazer os ajustes mecânicos para minimizar os erros de precisão da máquina. Cabe-se também verificar se o laser de Diodo utilizado com potência de 6W será suficiente para atendimento de demandas de pequenas empresas que precisam realizar a gravação em determinados objetos. Com o intuito de melhorar as funcionalidades da máquina, pretende-se realizar um sistema de monitoramento WEB empregando um Raspberry Pi e visualização e controle das informações por um aplicativo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Rondônia pela disponibilização dos recursos financeiros e materiais, e a utilização dos laboratórios da instituição para desenvolvimento do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- AMBRIZAL, Nur Hidayanti Binti et al. Design and development of CNC robotic machine integrate-able with Nd-Yag laser device. *Procedia engineering*, v. 184, p. 145-155, 2017.
- DA AMARAL, Daniel C.; SILVA, Sérgio Luís; SCALICE, Regis K. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo*, 1ª edição. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2006. E-book. ISBN 9788502111868. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502111868/>. Acesso em: 27 out. 2022.
- HU, Die et al. How do different innovation forms mediate the relationship between environmental regulation and performance. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 466-476, 2017.
- KOPRDA, Štefan et al. The Possibility of Creating a Low-Cost Laser Engraver CNC Machine Prototype with Platform Arduino. *Acta Polytech. Hung.*, v. 17, p. 181-198, 2020.
- MACHADO, Marcio Cardoso; TOLEDO, Nilton Nunes; GOZZI, Sergio. FORMALIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: QUAL A IMPORTÂNCIA PARA O FLUXO DAS INFORMAÇÕES?. *Revista Gestão Industrial*, v. 3, n. 3, 2007.
- MARODIN, Giuliano et al. Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. *International Journal of Production Economics*, v. 203, p. 301-310, 2018.

PARETO, VILFREDO. Diagrama de pareto. El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades. p, 1848.

PEREIRA, Priscila Zavadil et al. Possibilidades de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em design. Blucher Design Proceedings. Blucher, 2014.

ULRICH, Karl; EPPINGER, Steven. EBOOK: Product Design and Development. McGraw Hill, 2011.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

Application of the Product Development Process (PDP) to machine development Computer Numerical Command Laser Engraving.

André Marinho

Instituto Federal de Rondônia, Campus Calama - Porto Velho, Rondônia

andre.marinho@estudante.ifro.edu.br

João Magalhães

joao.magalhaes@estudante.ifro.edu.br

Artur Vitória

artur.vitorio@ifro.edu.br

Esther Araujo

esther@gmail.com

Ariadny Milena

ary.milena06@gmail.com

Abstract. The work presents the application of the product development process (PDP) to the development of a Computer Numerical Command (CNC) laser engraving machine. Through the PDP, the objective is to structure the process of creating the machinery to be used at the Federal Institute of Rondônia and also in small companies and prototyping environments. Due to the practical purposes of the proposed project, exploratory research was used in order to generate knowledge aimed at solving the specific problem. From the PDP approach, customer and product requirements were raised, later using the Mudge diagram and Pareto diagram to select the main requirements to be used in the machine. From the prioritization of customer requirements, we can highlight the need to be accessible, therefore, low cost and have an open-source system, allowing replication by third parties, through the link available for download. For structuring the project, the Morphological Matrix was used to survey and characterize the items to be used and the Model V was applied, dividing the project into mechanical, electronic and computational. In the mechanical part, we use CAD software for project modeling, structural analysis of the mechanism and definition of laser machine parameters. The mechanical structure was developed based on 3D Printing to meet the low cost and replication by third parties. The electronics is based on Arduino and Shield CNC, through open-source GRBL firmware to control the movement of the machine. Finally, LaserGRBL was used to enable machine control and laser power definition. At the end of the development, a laser engraving machine was obtained with dimensions of the engraving area of 270x270mm, using Diode laser, low cost materials and 3d printing. Of the 5 defined project requirements, 4 were satisfactorily met, and in the end, the accuracy of the CNC laser engraving machine was verified in relation to the standard deviation of the parallelism and repeatability error of the machine.

Keywords: CNC; Laser Engraving; Product Development and 3D Printing

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.