



João Filipe Mimoso Rodrigues

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

# Conceção de um Equipamento de Endoterapia Vegetal por Microinjeção

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Universidade NOVA de Lisboa  
setembro, 2022





# Conceção de um Equipamento de Endoterapia Vegetal por Microinjeção

Dissertação de Mestrado

**João Filipe Mimoso Rodrigues**

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

**Orientador:** António José Freire Mourão,  
Professor Associado, Universidade NOVA de Lisboa

**Coorientador:** Alberto José Antunes Marques Martinho,  
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

## **Júri:**

**Presidente:** Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins,  
Professor Associado, FCT-NOVA

**Arguentes:** Doutor Miguel José Pereira Sales Cavique Santos,  
Professor Auxiliar da Escola Naval;  
Engenheiro Carlos Gabirro,  
Gerente da BIOSTASIA, Projetos e Serviços de Engenharia, Lda.;

**Orientador:** Doutor António José Freire Mourão,  
Professor Associado, Universidade NOVA de Lisboa



### **Conceção de um Equipamento de Endoterapia Vegetal por Microinjeção**

Copyright © João Filipe Mimoso Rodrigues, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Este documento foi criado com o processador de texto Microsoft Word e o template NOVA thesis Word (Lourenço, 2021)



## **AGRADECIMENTOS**

À casa FCT-UNL, ao DEMI e a todo o corpo docente pela excelência do ensino.

Dedico a primeira página para agradecer a todos que, de uma ou outra forma, me carregaram até aqui. Deixo um grande e sentido obrigado,

Ao Professor António Mourão, um grande mentor, que através da sua experiência, sabedoria e simpatia me guiou pela dissertação.

Ao Professor Alberto Martinho, uma pessoa verdadeiramente genial e humana, por me transmitir uma confiança ímpar ao longo de todo o projeto.

À Inês Mendes, por me apoiares incondicionalmente desde o primeiro ano de faculdade.

À minha Mãe por todos os sacrifícios que fizeste por mim.

Ao meu Pai, Sara, Avós, Tios e Prima, pelos vossos conselhos, brincadeiras e apoio.

A todos os meus amigos por me fazer sorrir todos os dias.



## RESUMO

A endoterapia vegetal por injeção em tronco de árvore é uma arte com vários séculos de história, contudo só recentemente é que o mercado para tais equipamentos cresceu. A atividade é auxiliada por ferramentas, das quais, o injetor Direct-Inject<sup>®</sup> é apontado como o melhor na análise comparativa que abrange os 17 equipamentos, e cerca de 20 patentes, mais relevantes do mercado europeu, americano e australiano. Apesar de se destacar entre os demais sofre do mesmo problema: ignora as necessidades e limitações humanas, por outras palavras, não é focado na experiência de utilização e limita a produtividade financeira da atividade. Opta-se pela concepção de um equipamento original ao invés do melhoramento incremental do instrumento vigente. Com a oportunidade identificada dá-se início ao projeto de concepção, um processo com cerca de 500 horas em 6 meses, dentro da realidade organizacional da colaboração entre uma PME e o DEMI da FCT-UNL.

O autor engendra um modelo prescritivo de projeto simples e adequado para o projetista inexperiente com base nas metodologias de Ullman, D. e Eppinger & Ulrich, na filosofia do HCD de Norman, D., nas teorias de projeto TRIZ e TAP e com o pensamento da engenharia simultânea presente. Descrevem-se todas as etapas do projeto, acompanhando o leitor pelo processo de concepção de um equipamento de endoterapia vegetal por microinjeção em tronco de árvore, com recurso a fluxogramas, esquemas, ilustrações e outras manifestações do pensamento: constrói-se o domínio do conhecimento específico do projeto (pesquisa); identificam-se mais de 40 necessidades, interpretadas e destiladas em 22 requisitos do projeto com métricas associadas (definição do problema); transformam-se conceitos em ideias, através de tabelas de combinação, num espaço com mais de 500.000 soluções possíveis (ideação); testam-se as ideias através de ensaios e discussão de protótipos com diferentes dimensões quanto à sua fidelidade, tangibilidade e extensão (prototipagem); seleciona-se a ideia a desenvolver, mediante a intuição do projetista, conhecimento específico do projeto e os resultados dos ensaios (resultados).

O projeto de concepção conclui-se com a solução, passível de ser patenteada, que satisfaz as necessidades do projeto, e que, recebe aprovação e investimento para continuar o seu desenvolvimento. Despoleta, ademais, abertura para colaborações futuras entre as partes interessadas.

**Palavras chave:** Endoterapia Vegetal, Microinjeção, Metodologia de projeto, Concepção de Produto, Invenção.



## ABSTRACT

Tree trunk injection is an art with several centuries of history, however, only recently has the market for such equipments grown. The activity is aided by tools, of which the Direct-Injector<sup>®</sup> is appointed as the best within the comparative analysis covering the 17 most relevant injectors (and about 20 patents) of the European, American and Australian markets. Although it excels amongst the rest it suffers from the same problem: it ignores human needs and limitations, in other words, it is not focused on the user experience which in turn limits the financial productivity of the activity. Thus, designing an original tree trunk injector is preferable to incrementally improve the current instrument. With the opportunity identified, the design process begins, a process with about 500 hours in 6 months, within the organizational reality of the collaboration between an SME and the DEMI of FCT-UNL.

The author engenders a simple prescriptive model approachable by the inexperienced designer based on the methodologies of Ullman, D. and Eppinger & Ulrich, in the philosophy of the HCD of Norman, D.D., in the design theories of TRIZ and TAP and with the thought of concurrent engineering present. All stages of the project are described, accompanying the reader throughout the process of designing a tree trunk injector, aided by flowcharts, schemes, illustrations and other manifestations of the thought process: the domain of specific knowledge of the project is constructed (research); more than 40 needs are identified, interpreted and distilled in 22 project requirements with their respective metrics (problem definition); concepts are transformed into ideas, through combination tables, in a space with more than 500,000 possible solutions (ideation); the ideas are tested and discussed by prototyping various models within several dimensions regarding their fidelity, tangibility and extension (prototyping); the idea to be developed is selected, through the designer's intuition, specific knowledge of the project and the results prototyping (results).

The design project concludes with the solution, which can be patented, meets the needs of the project and, receives approval and investment to continue its development. It also triggers openness to future collaborations between stakeholders.

**Keywords:** Tree Trunk Injection, Microinjection, Mechanical Design Process, Product Design, Invention.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Apresentação e Evolução do Problema .....	4
1.2	Objetivos .....	8
1.3	Organização da Dissertação .....	9
<b>2</b>	<b>O MÉTODO DE PROJETAR.....</b>	<b>11</b>
2.1	Visão Global.....	11
2.1.1	O Projeto de Produtos Únicos Desenvolvidos em Empresas de Pequena Dimensão ....	12
2.1.2	O Processo do Projeto Mecânico.....	15
2.1.3	Conceção e Desenvolvimento do Produto.....	20
2.1.4	O Projeto de Objetos do Quotidiano .....	23
2.2	O Modelo de Projeto .....	26
<b>3</b>	<b>PESQUISA .....</b>	<b>31</b>
3.1	A Árvore.....	31
3.1.1	Classificação.....	31
3.1.2	Compartimentação: Um Modelo Conceptual para Entender o Crescimento e Regeneração da Árvore .....	34
3.1.3	Hidráulica do Xilema .....	36
3.2	Biostasia e a Endoterapia Vegetal .....	42
3.3	Equipamentos, EEV .....	49
3.3.1	Corpo Penetrante .....	50
3.3.2	Corpo Vedante.....	54
3.3.3	Cabeça de Injeção.....	54

3.3.4	Classificação dos Equipamentos .....	56
3.3.5	Valorização por Funções .....	58
3.3.6	Patentes.....	59
<b>4</b>	<b>ETAPA DA DEFINIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>61</b>
4.1	Imersão – Recolher Informação Bruta .....	62
4.2	Interpretar e Transformar Declarações em Necessidades.....	63
4.3	Organizar as Necessidades .....	67
4.4	Traduzir as Necessidades em Métricas.....	68
4.5	Atribuir Valores Alvo aos Requisitos (Métricas) do Projeto .....	71
<b>5</b>	<b>ETAPA CONCEPTUAL.....</b>	<b>75</b>
5.1	Decomposição do Problema.....	75
5.2	Ideação .....	77
5.2.1	Vedar .....	80
5.2.2	Penetrar.....	83
5.2.3	Injetar.....	88
5.3	Contrações Encontradas (TRIZ).....	89
5.4	Classificação e Seleção de Ideias .....	91
<b>6</b>	<b>PROTOTIPAGEM.....</b>	<b>95</b>
6.1	Testar Corpo Vedante.....	96
6.1.1	Definição e Planeamento.....	96
6.1.2	Máquina Emuladora .....	98
6.1.3	Corpo Vedante.....	102
6.1.4	Ensaios.....	105
6.2	Outros Protótipos.....	105
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>109</b>
7.1	Cabeça de Injeção.....	109
7.2	Corpo Vedante.....	112
7.2.1	Controlo (ArborSystems™) .....	112
7.2.2	Quanto ao Material .....	112
7.2.3	Quanto à Forma: .....	113

7.2.4	Quanto às Dimensões: .....	113
7.3	Requisitos do Projeto Satisfeitos .....	114
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>117</b>
8.1	Objetivos Cumpridos.....	118
8.2	Desenvolvimentos Futuros .....	119



## ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1-1 Esquema da atividade da EV. Idealmente o PF é injetado na zona de translocação, mais concretamente em contacto com o xilema. (Biostasia, 2021) .....	2
figura 1-2 Constituintes de um Equipamento de Endoterapia Vegetal Genérico (nível de abstração elevado) .....	4
figura 1-3 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo demonstrativo da utilização típica do equipamento Direct-Inject® em árvores de madeira macia (em árvores de madeira dura utiliza-se o martelo da figura 1-4). Hiperligação alternativa: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=lz-uPgybbK4&amp;ab">https://www.youtube.com/watch?v=lz-uPgybbK4&amp;ab</a> .....	5
figura 1-4 Martelo de Inserção ArborSystems™ (ArborSystems, 2017) .....	5
figura 1-5 A rolha vedante fica no local de injeção após o tratamento. Uma vez que é feita de polímero e elastómero não é biodegradável numa janela temporal aceitável. A ±0,33€/uni e com cada árvore a necessitar de 3uni. o custo em consumíveis sobe em 1€/árvore.....	5
figura 1-6 Agulha injetora Wedgle® utilizada durante a atividade da Biostasia. Ocorreu a falha de separação da cânula do cubo; apurou-se como causa mais provável a fraca qualidade da brasagem. As agulhas custam ±30€/uni (o custo da agulha prende-se ao seu comprimento) e duram entre 1 dia e 1 semana de atividade.....	6
figura 1-7 Modelo Computacional Paramétrico do EEV da ArborSystems™ modelado a partir de scans 3D. Este modelo dimensionalmente exato iria ser utilizado para aperfeiçoar o EEV. ....	7
figura 1-8 Esboço conceptual para uma cabeça de injeção a ser montada num berbequim ou equivalente. ....	7
figura 1-9 Esboço rápido de uma ideia para uma nova agulha injetora. O desenho foi produto do modelo do projeto adotado. ....	8
figura 2-1 Classificação dos vários trabalhos existentes na área de Projeto em função do nível de abstração e da generalidade de aplicação (Santos, 2010). ....	12
figura 2-2 O efeito do projeto no custo de produção. Dados de Assessing the Importance of Design through Product Archaeology num estudo de 18 fabricantes de máquinas de café automáticas. (imagem Ullman, 2008).....	17

figura 2-3 O Paradoxo do Projeto “ <i>Quanto mais se aprende menos liberdade há para utilizar esse conhecimento</i> ” (imagem Ullman, 2008).....	18
figura 2-4 Percentagem do Custo Alocado Vs Gasto em função da fase do projeto (imagem Ullman, 2008).....	18
figura 2-5 O método <i>Stage-Gate</i> (imagem Ullman, 2008).....	19
figura 2-6 Níveis de abstração em várias linguagens (imagem Ullman, 2008).....	20
figura 2-7 O processo genérico para o desenvolvimento de um produto. Seis fases são mostradas, incluindo algumas das tarefas e responsabilidades típicas das funções chave do negócio em cada fase (imagem Ulrich & Eppinger, 2016) .....	23
figura 2-8 Cafeteira para Masoquistas. O artista francês Jacques Carelman in his series of books <i>Catalogue d’objets introuvables</i> (Catálogo de objetos inencontráveis) apresenta exemplos deliciosos de objetos do dia a dia propositadamente impraticáveis ou mal formados. Uma das peças preferidas de Don Norman é esta cafeteira. Esta figura é uma fotografia de uma cópia da peça feita por um dos seus colegas na Universidade da Califórnia, San Diego (retirado de Norman, 2013). .....	25
figura 2-9 Três descascadores de vegetais. À esquerda está o mais tradicional: acessível, mas desconfortável; à direita está o descascador da OXO que revolucionou a indústria dos descascadores. Como consequência desta revolução vários descascadores como o representado no meio da Kuhn Rikon: colorido e ergonómico (retirado de Norman, 2013). .....	26
figura 2-10 Fluxograma do modelo prescritivo do projeto (A. Necessidades, figura 4-1; B. Requisitos, figura 4-3; C. Ideação, figura 5-1; D. Seleção, figura 5-11; E. Prototipagem, figura 6-2).....	28
figura 3-1 Porte da árvore com uma pessoa para escala (imagem de Jersey, 2011).....	32
figura 3-2 Anatomia do tronco da árvore (imagem retirada de Lautert, 2015) .....	33
figura 3-3 Secção de uma árvore com zona em apodrecimento ( <i>decay</i> ). As barreiras são ordenadas pela sua resistência da 1 para a 4 (a mais resistente). Na fotografia observam-se as barreiras 2, 3 e 4 do CODIT; a barreira 1, responsável por travar a propagação vertical da infeção e apodrecimento da madeira, só é visível através de um corte longitudinal do tronco da árvore. (imagem de USDA Forest Service - Northeastern Area, USDA Forest Service, Bugwood.org) .....	35
figura 3-4 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo onde Shigo partilha as suas ideias e modelo conceptual da compartimentação da árvore. Hiperligação alternativa: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=o6U-6uTAM-o&amp;ab_channel=ChristianP">https://www.youtube.com/watch?v=o6U-6uTAM-o&amp;ab_channel=ChristianP</a> .....	36
figura 3-5 Secções transversais do xilema numa árvore gimnospérmica à esquerda e angiospérmica à direita. As tracoides no pinheiro-bravo (conífera/gimnospérmica) são responsáveis pelo transporte de água e suporte estrutural do xilema. O xilema do ácer-negundo (angiospérmica) é mais especializado com os elementos de vaso (transporte de água) assinalados por V tingidos com cor mais escura e as fibras (suporte estrutural) assinaladas por F. As barras para escala têm 50µm de comprimento. (imagem retirada de Hacke & Sperry, 2001).....	37
figura 3-6 Fotografia SEM mostra a parede secundária espessa nos vasos da <i>Betula nigra</i> , na qual se observa a <i>pit membrane</i> . (imagem retirada de Hacke & Sperry, 2001) .....	37

figura 3-7 Mecanismo da Tensão-coesão-adesão em plantas com xilema. (imagem retirada de Venturas et al., 2017).....	39
figura 3-8 Gradientes de pressão numa árvore. (imagem retirada de Venturas et al., 2017) .....	41
figura 3-9 Modos de falha do mecanismo da tensão-coesão-adesão. (imagem retirada de Venturas et al., 2017).....	42
figura 3-10 - Modo de operação em condições normais (equipa de dois trabalhadores) .....	43
figura 3-11 Fotografia da agulha injetora Wedgle® utilizada durante a atividade da Biostasia. Ocorreu a falha de separação da cânula do cubo; apurou-se como causa mais provável a fraca qualidade da brasagem. As agulhas custam ±30€/uni (o custo da agulha prende-se ao seu comprimento) e duram entre 1 dia e 1 semana de atividade.....	44
figura 3-12 Fotografia do acoplador com engate rápido CR superior do EEV Direct-Inject® ArborSystems™.....	45
figura 3-13 Mochila com reservatório High Volume Kit da ArborSystems™. ....	45
figura 3-14 Fotografia da válvula dianteira direcional com esfera.....	46
figura 3-15 Fotografia da agulha Wedgle® onde se observa desgaste no chanfro, zona engelhada. ....	46
figura 3-16 Fotografia do subconjunto do pistão. ....	47
figura 3-17 Fotografia do EEV a ser transportado pelo tirante. ....	47
figura 3-18 Fotografia de uma rolha retirada do WedgeChek™ Punch Strip. ....	47
figura 3-19 Situações comuns, causadoras de embaraço para o operador do EEV: A. Plano inclinado; B. Bifurcação junto ao pé da árvore; C. Ramificação até ao pé da árvore; D. Vegetação rasteira cobre o pé da árvore.....	48
figura 3-21 Vista explodida do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ com alguma informação sobre custo e peso. A imagem é uma renderização foto realista do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ (Visualize do SolidWorks). A alavanca, tal como os restantes componentes, foram modelados seguindo o processo referido na figura 3-20.....	49
figura 3-20 Processo de engenharia reversa, Scan to 3D, utilizado para obter um modelo paramétrico em computador dos vários componentes do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ com o SN:1020K4539. Na imagem observa-se o processo aplicado à alavanca do EEV. A nuvem de pontos foi obtida com o EinScan-SE.....	50
figura 3-23 A relação entre a força necessária para inserir a agulha e o seu diâmetro. Agulhas: H1 = Ø7,8mm; H2 = Ø6,6mm, eixo horizontal é a profundidade a que a agulha é empurrada. (retirado de Shang, Liao, et al., 2011).....	50
figura 3-22 Desenho principal da patente deste novo tipo de agulha (Shang et al., 2019).....	51
figura 3-25 Ao introduzir um objeto de qualquer forma num grupo de fibras, estas separam-se de acordo com uma geometria lenticular biconvexa (a). Diferentemente das agulhas existentes, uma lâmina lenticular separa as fibras com o mínimo de fricção e danos (b). A forma da lâmina causa uma redução temporária da área da secção dos vasos xilémicos, produzindo um efeito Venturi: as pressões da seiva diminuem e a sua velocidade aumenta. Quando a velocidade natural da seiva é substancial, os líquidos	

provenientes de uma fonte externa são absorvidos pela árvore (c) (imagem retirada de BITE®, 2020) .....	51
figura 3-24 Lâminas lenticulares com comprimentos de 35mm, 53mm e 63mm respectivamente. A secção da lâmina lenticular é quase elíptica sendo o seu diâmetro menor de 3,5mm. (imagem retirada de BITE®, 2020).....	52
figura 3-26 Locais de injeção, em troncos de árvore, feitos a 14 de abril de 2012 (A-D) e avaliadas quanto à recuperação a 20 de julho 2012 (E-H), 14 de abril de 2013 e em 20 de julho de 2013 (I-L). (A) broca de 4,4 mm, (B) broca de 9,5 mm, (C) 9,5 mm com rolha de silicone e plástico (Arborplug® no.4, ArborjetInc) e (D) lâmina lenticular (1×28mm). (M-P) Esquemas do local de injeção. (imagem retirada de Acimović et al., 2016) .....	53
figura 3-27 Alteração da profundidade do local de injeção (por regeneração/compartimentação) ao longo de dois anos após a sua criação. As linhas a tracejado não representam a evolução temporal linearmente. As barras de erro representam um erro padrão da média (SEM). (imagem retirada de Acimović et al., 2016).....	53
figura 3-28 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo de utilização das ArborBioKaps®. Hiperligação	alternativa:
<a href="https://www.youtube.com/watch?v=bC_j16H_Wg4&amp;ab_channel=StefanoCorinaldesi">https://www.youtube.com/watch?v=bC_j16H_Wg4&amp;ab_channel=StefanoCorinaldesi</a> . .....	54
figura 3-29 Vista em corte da cabeça de injeção motorizada com agulha retrátil. (imagem retirada de Shang, Tan, et al., 2011).....	55
figura 3-30 Outra vista em corte da cabeça de injeção motorizada com agulha retrátil da figura 3-29. (imagem retirada de Shang, Tan, et al., 2011).....	55
figura 4-1 Fluxograma prescritivo A, Identificar as Necessidades do Cliente .....	61
figura 4-2 Documentação Acessória; relatório da semana 1 com referência à ATA da reunião com a Biostasia do dia 8/4/2022 .....	63
figura 4-3 Fluxograma prescritivo B, Requisitos do Projeto.....	69
figura 4-4 Balão da conversa da pressão de injeção.....	72
figura 4-5 Mola de treino do aperto da mão, regulável entre 10Kgf e 40Kgf. A operação é confortável, para uso repetido e espaçado, semelhante à injeção do modo de operação da Biostasia, até 15kgf a dividir por cada mão (na prática 7,5Kgf por cada mão). A pequena experiência ajudou a definir o valor de 100N para o limite da “força confortável” que o operador aplica no injetor. ....	72
figura 5-1 Fluxograma prescritivo C, Ideação.....	76
figura 5-2 Decomposição do problema pela abordagem da sequência de ações. Os subproblemas estão organizados em 3 famílias (cores diferentes) que representam as ações principais para realizar a tarefa da EV por Mi: Penetrar, Vedar e Injetar. O nível de abstração dos problemas desce à medida que se desce pelo diagrama em árvore. ....	77
figura 5-3 Documentação Acessória, Geração de ideias. O documento está sempre ao alcance do projetista para anotar qualquer ideia que surja; tem vários esboços soltos e sem relação entre si. ....	79
figura 5-4 Soluções utilizadas com sucesso para resolver problemas comparáveis. À esquerda um martelo demolidor à escala 1/14 para modelismo telecomandado de máquinas de construção (em vez de	

um circuito hidráulico esta solução usa um solenoide para vibrar o martelo a alta frequência). À direita um saca-rolhas pouco convencional, que tira partido do movimento relativo entre uma porca e um veio roscado para retirar a rolha da garrafa com pouco esforço.....	80
figura 5-5 Esboço do corpo vedante com as suas cotas de atravancamento (dentro de um cilindro imaginário de diâmetro máximo 11mm e altura máxima de 15mm tudo é válido).....	81
figura 5-6 Rolha com espigões e/ou com mecanismo flexível ( <i>compliant mechanism</i> ), semelhante a uma bucha. A rolha expande com o corpo penetrante e faz pressão na casca da árvore.....	82
figura 5-7 Ferramenta semelhante a um grampo invertido (faz força para abrir). Um dos encostos monta na rolha (pressionando-a contra a árvore); o outro monta na cabeça de injeção (empurrando-a na direção oposta). .....	82
figura 5-8 A cabeça de injeção comporta um batente que pressiona a rolha contra a árvore.....	82
figura 5-9 Esboço da solução conceptual resultante da combinação das ideias: Energia Humana + Alavanca Mecânica + Mola + Impacto Único. Outros exemplos de soluções encontram-se na Tabela 5-4.....	85
figura 5-10 Esboço da solução conceptual para o corpo penetrante resultante da combinação das ideias: Compressão + Secção Circular + Furação Circular Lateral + Trocarte. Outros exemplos de soluções encontram-se na Tabela 5-6. ....	87
figura 5-11 Fluxograma prescritivo D, Seleção de Ideias .....	93
figura 6-1 Tipos de protótipos segundo as duas dimensões principais. Os protótipos podem ser classificados quanto ao seu grau de tangibilidade na medida em que são físicos e quanto ao número de partes ou subsistemas que abrange. (imagem retirada de Ulrich & Eppinger, 2016).....	96
figura 6-2 Fluxograma prescritivo E, Prototipagem.....	97
figura 6-3 Documentação Acessória. Esboço apresentado na primeira reunião da equipa de projeto, com a finalidade de definir uma ideia para ser projetada e fabricada. O circuito hidráulico simples da figura tem um reservatório ou bomba de pressão, para pressurizar o PF que passa por um manómetro (com indicador da leitura de pico) e acaba numa câmara com um encaixe de madeira (emular a casca da árvore) tapado pela rolha a ensaiar. ....	99
figura 6-4 Documentação Acessória. Reunião com apresentação da planificação do protótipo (máquina emuladora com a bomba repartidora adaptada).....	99
figura 6-5 Desenho técnico à mão livre da máquina emuladora. ....	100
figura 6-6 Máquina emuladora do local de injeção com a bomba repartidora adaptada; outros desenhos técnicos no Apêndice B. 1. A Máquina Emuladora 2. Brasagem da cruzeta para ligar as duas linhas de pressão que saem da bomba repartidora, a mangueira que transporta o PF até à ligação mangueira/rolha e o manómetro. ....	101
figura 6-7 Ligação hidráulica máquina/rolha; desenhos técnicos no Apêndice B. 1 TR_0_1. Parte do desenho técnico da ligação 2. Fabrico com retificação de uma das faces (o material base era um paralelepípedo de alumínio com faces não paralelas) 3. A peça acabada. ....	101

figura 6-8 Molde para fabricar as rolhas de papel e eventualmente outros materiais com características semelhantes; à esquerda está parte do desenho técnico do molde (completo no Apêndice B.); à direita está o molde fabricado por FDM e algumas rolhas cónicas produzidas.....	103
figura 6-9 Rolha em cortiça talhada. Rolha fecho com pressão, Tabela 6-2: 6). Como referência a agulha da fotografia tem 2mm de diâmetro. ....	103
figura 6-10 Documentação acessória #1, #2 e #3: Rolhas (protótipo) para testar <sup>1</sup> .....	104
figura 6-11 Procedimento Experimental: 1. Colocar rolha no local de injeção; 2. Penetrar a rolha com um prego; 3. Pressurizar o local de injeção; 4. Retirar o prego: observar rolha e manómetro. Anotar observações. ....	105
figura 6-12 Fotografia do ensaio dos protótipos das ideias: a. Rodar; b. Impactos. Na fotografia c. observam-se ambas as agulhas após o ensaio; à esquerda a agulha colocada a rodar, que ficou entupida, e à direita a martelada que tem alguns detritos, mas ainda operacional. ....	106
figura 6-13 Fotografias do protótipo da ideia cubo compressão: 1. Antes do ensaio; 2. Depois do ensaio; a. Pregos normal com Cubo compressão (dinamismo); b. Pregos normal. Pela observação da fotografia 2. o prego com o cubo de compressão não deformou tanto plasticamente como o prego sem o cubo de compressão. 3. Ensaio no qual a agulha com o cubo de compressão foi retirada sem cuidado (situação mais próxima da realidade). O protótipo do cubo de compressão só parece ser eficaz na penetração do tronco, mas não oferece benefícios na retirada da agulha. ....	107
figura 7-1 Ideia que resulta da combinação das ideias 7) e 8) do problema energético/mecanismo, penetrar 5.2.1. E. Humana + Alavanca + Massa c/Inércia + Impacto Múltiplo. ....	110
figura 7-2 Duas vistas do desenho técnico de conjunto do protótipo da cabeça de injeção. O desenho completo está no apêndice B CNCPT_2. ....	111
figura 7-3 a) Protótipo da cabeça de injeção “Pica-Pau”. b) Ensaio experimental. c) A agulha (prego) está intacta. ....	111
figura 7-4 Parte do desenho técnico da rolha, Apêndice B CNCPT_2_1. O material escolhido foi a borracha natural.....	114
figura 7-5 Sugestão de apresentação do produto. Imagem de referência visual.....	116

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Modelos do Projeto conhecidos pelo nome dos seus autores, organizados por classe e ano (até 2010).....	14
Tabela 2-2 O que determina a qualidade de um produto. Escala: 5 = muito importante, 1 = nada importante, entre parenteses estão as posições das métricas. Time, Nov. 13, 1989, e How Product quality Dimensions Relate to Defining Quality, Sebastianelli et all, 2022 (tabela Ullman, 2008). .....	17
Tabela 2-3 Atributos de 6 produtos (Pica-Pau incluído) e os seus respetivos recursos de desenvolvimento (adaptado a partir de Ulrich & Eppinger, 2016).....	23
Tabela 2-4 Planeamento, diagrama de Gantt com as várias etapas do projeto. Cada etapa é decomposta em tarefas (da mesma cor) que por sua vez são decompostas em ações. Cada ação completada traduz-se numa percentagem de conclusão da tarefa, e cada tarefa completada dá uma percentagem de conclusão à etapa.....	29
Tabela 3-1 Taxionomia da planta em função de ter, ou não, fruto.....	32
Tabela 3-2 Vários métodos e equipamentos usados em EV. Atualizado e adaptado de Berger & Laurent, 2019 (Berger & Laurent, 2019).....	57
Tabela 3-3 Análise comparativa dos vários equipamentos EV com valorização por funções .....	58
Tabela 3-4 Lista de patentes dos vários equipamentos de EV .....	59
Tabela 3-5 Lista de patentes dos vários equipamentos de EV analisadas pelo gabinete IRIS, 31/01/22 .....	59
Tabela 4-1 Dados do cliente Biostasia com as Necessidades interpretadas. ....	64
Tabela 4-2 Lista das Necessidades organizadas por importância. O número de * representa a importância da necessidade, sendo *** a importância máxima e ! são as necessidades latentes.....	67
Tabela 4-3 As Necessidades do Projeto .....	68
Tabela 4-4 A Matriz Necessidades x Requisitos .....	70
Tabela 4-5 Requisitos do Projeto .....	71
Tabela 4-6 Requisitos do Projeto com Valores Alvo .....	73
Tabela 5-1 Várias ideias para o corpo vedante.....	81
Tabela 5-2 Exploração e combinação do espaço de ideias para o problema energético/mecanismo. Existem 672 combinações possíveis (7 x 6 x 4 x 4).....	84

Tabela 5-3 Um caminho combinatório possível: Energia Humana + Alavanca Mecânica + Mola + Impacto Único, figura 5-9. ....	84
Tabela 5-4 Vários esboços de soluções conceituais possíveis através da combinação das ideias da Tabela 5-2. ....	85
Tabela 5-5 Exploração e combinação do espaço de ideias para o problema corpo penetrante. Existem 240 combinações possíveis (4 x 3 x 4 x 5). ....	86
Tabela 5-6 Um caminho combinatório possível para o problema corpo penetrante: Compressão + Seção Circular + Furação Circular Lateral + Trocarte, figura 5-10. ....	87
Tabela 5-7 Esboços de soluções conceituais do corpo penetrante possíveis através da combinação das ideias da Tabela 5-5. ....	88
Tabela 6-1 Caderno de Encargos para o protótipo Testar Rolhas. ....	98
Tabela 6-2 As formas que foram ensaiadas. A rolha tem de estar contida num cilindro imaginário com diâmetro de 11mm e altura de 15mm. ....	102
Tabela 7-1 Necessidades e Requisitos do projeto que foram satisfeitos na fase conceptual. ....	115

## SIGLAS

ACD	Activity Centered Design (Projeto Centrado na Atividade)
CODIT	Compartimentação da Decomposição nas Árvores
CE	Concurrent Engineering (Engenharia Simultânea)
DEMI	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
EEV	Equipamento de Endoterapia Vegetal
EV	Endoterapia Vegetal
FDM	Fused Deposition Modeling (Modelagem de Deposição Fundida)
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologias
HCD	Human Centered Design (Projeto Centrado No Homem)
I&D	Investigação e Desenvolvimento
ID	Introdução à Dissertação
Mi	Microinjeção
PLA	Ácido Polilático
PVP	Preço de Venda ao Público
PF	Produto Fitossanitário
PME	Pequenas e Médias Empresas
TAP	Teoria Axiomática de Projeto
TRIZ	Teoria da Resolução Inventiva de Problemas
UC	Unidade Curricular
UE	União Europeia
UNL	Universidade Nova de Lisboa



## INTRODUÇÃO

A Biostasia, projetos e serviços de engenharia, Lda. é uma Pequena-Média Empresa (PME) nacional especializada na investigação de soluções biológicas procurando satisfazer o equilíbrio entre a natureza e as necessidades humanas. Recorrem a técnicas de nanotecnologia – rápida absorção, elevada eficiência, introdução e promoção do desenvolvimento de microrganismos – para devolver o equilíbrio ao solo. Em 2010 entra numa área de negócio em crescimento: controlo da praga das palmeiras e em 2013 alarga os seus horizontes no controlo de pragas e fertilização, com os seus produtos biológicos proprietários aplicados no setor agrícola e urbano. Para o curto e médio prazo a aposta é na investigação, desenvolvimento e inovação, por forma a suportar a criação de novos produtos/serviços.

Presentemente a Biostasia é uma referência nacional na especialidade de Endoterapia Vegetal (EV). Tem a capacidade para tratar mais de 6.000 pinheiros/ano em território nacional com recurso aos seus produtos biológicos e o equipamento de endoterapia vegetal (EEV) de microinjeção (Mi) Direct-Inject® da ArborSystems™. O maior foco da atividade é eliminar a população da processionária do pinheiro (*Thaumetopoea pityocampa*). Esta lagarta ataca os pinheiros, enfraquece-os e chega mesmo a causar a sua morte. O efeito tóxico por contacto também é responsável por causar irritações cutâneas ou mesmo episódios alérgicos em humanos (as crianças são mais vulneráveis) e em animais domésticos pode ser fatal. Apesar do serviço de EV da Biostasia se estender a mais espécies de árvore, o pinheiro (conífera) representa o maior foco do estudo por ser a espécie mais tratada.

Apesar do EEV da ArborSystems™ ser o melhor entre os demais sofre do mesmo problema: ignora as necessidades e limitações humanas, ou seja, não é focado na experiência de utilização; o que dá lugar a défices na produtividade financeira da Biostasia. A oportunidade ergue-se entre os obstáculos e atritos desta atividade: conceber e desenvolver um EEV por Mi em tronco de árvore com maior produtividade financeira. Com a oportunidade identificada a Biostasia que, com recursos e conhecimentos limitados para desenvolver produtos mecânicos, celebra a parceria com a FCT-UNL e concebe o seu produto, passível de ser patenteado, num projeto que conta com mais de 500 horas distribuídas em 6 meses.

Esta obra acompanha todas as etapas do processo de conceção do produto e oferece respostas aos problemas fundamentais com que de uma forma geral todos os projetistas inexperientes se deparam: a implementação de um modelo prescritivo de projetar (baseado nos modelos de David Ullman e Ulrich

& Eppinger) ilustrado com fluxogramas; a pesquisa específica no domínio da endoterapia vegetal; como definir o caderno de encargos do projeto com a identificação de mais de 40 necessidades do cliente, destiladas e interpretadas em 22 requisitos do projeto; como abordar o espaço de soluções possíveis (500.000 possíveis e mais de 1.000 distintas) para transformar conceitos em ideias inovadoras (TRIZ) passíveis de serem patenteadas; como testar essas ideias rapidamente com recurso a vários tipos de protótipos; e por fim como selecionar as ideias a desenvolver e apresentar o anteprojeto ao cliente para aprovação. O resultado do processo é o produto conceptual, o Pica Pau, o primeiro EEV por Mi em tronco de árvore ( $\varnothing_{m\acute{a}x} \leq 2mm$ ) focado na experiência de utilização (filosofia do HCD de Don Norman): mais produtivo, mais ecológico e mais acessível (ergonómico).

### Endoterapia Vegetal

Numa lenda popular do século XV, Leonardo da Vinci, cansado de perder maçãs para ímpios ladrões, concebe uma metodologia para envenenar as maçãs do seu pomar. Nesta descreve-se o processo pelo qual se intoxica a fruta injetando uma solução de arsénio no tronco de uma macieira, através de furos feitos com uma verruma (*Codex Atlanticus*, 1500). Se a estória é verídica, da Vinci é um dos pioneiros da EV. Existem relatos do século XII, de horticultores árabes que tentam alterar a fragância e a cor de flores, através da injeção de compostos orgânicos. Os resultados desta experiência foram perdidos para a história, mas mostra o interesse longo no método (Watson, 2012).

Conceptualmente pouco mudou desde então; a EV resume-se em injetar um produto fitossanitário (PF) diretamente no sistema vascular de uma planta lenhosa, figura 1-1. Os produtos naturais foram gradualmente substituídos por equivalentes sintetizados, químicos ou biológicos mais eficazes (inseticidas, fungicidas, bactericidas, fertilizantes, ...). A injeção por gotejamento evoluiu para injeção à pressão, tipicamente até 4 bar (Berger & Laurent, 2019) e a verruma deu lugar a ferramentas altamente especializadas (Montecchio, 2013a).

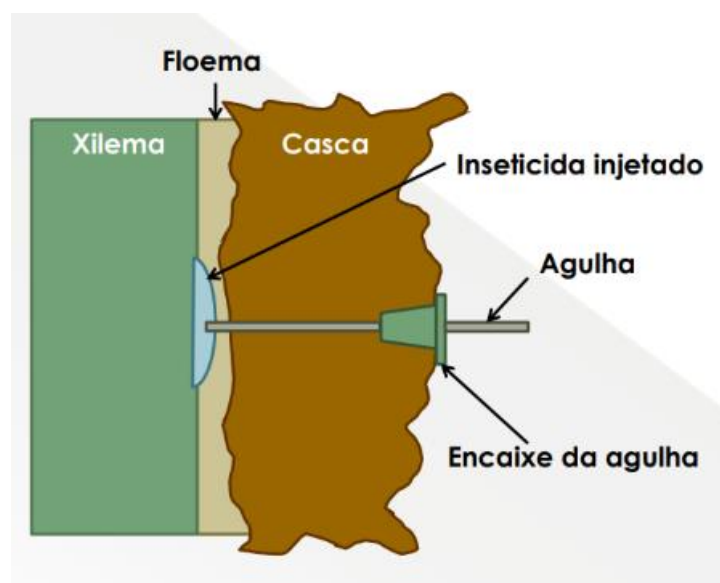


figura 1-1 Esquema da atividade da EV. Idealmente o PF é injetado na zona de translocação, mais concretamente em contacto com o xilema. (Biostasia, 2021)

---

A EV tem predominância no setor das árvores ornamentais; durante muitos anos é usada em palmeiras e estende-se agora às árvores da família do pinheiro e da acácia. O seu uso é recomendado para parques públicos, jardins, escolas, hotéis & condomínios e árvores com importância sociocultural ou monumental. Com o aparecimento de PF biológicos não tóxicos começou a experimentar-se a EV em pequenos terrenos agrícolas.

A EV destaca-se dos tratamentos aéreos tradicionais, pela ausência da nebulização ou atomização dos PF no ambiente, bem como a inocuidade para a saúde humana e animal (no caso dos PF resíduo zero orgânicos da Biostasia). O caráter da EV permite um tratamento focado e contido, em contraste com a pulverização indiscriminada dos métodos convencionais. Focado porque permite um tratamento individualizado de cada árvore; contido por só atuar no controlo da praga alvo, sem destabilizar o bioma local (ex.: não elimina a fauna auxiliar como a joaninha). Tem uma persistência mais elevada, com eficácia prolongada de 6 meses (até 1 ano de acordo com alguns fornecedores) e a sua eficácia da EV prende-se à variabilidade e complexidade dos mecanismos biológicos das plantas. Alguns aspetos a ter em conta:

- I. Temperatura, responsável por controlar o metabolismo das árvores. Nas horas de maior calor, do meio-dia até ao final da tarde, a velocidade de absorção e transporte de nutrientes é maior. O tratamento deve ser realizado nestas horas.
- II. Altura do ano, por determinar o ciclo das pragas. A larva da processionária do pinheiro eclode em julho/agosto, com as mais tardias até outubro. Sabe-se neste caso que o tratamento é mais eficaz entre junho e outubro (Pardelha & Gabirro, 2019).
- III. Espécie, um pinheiro reage de forma diferente a uma acácia. O tempo de absorção do PF varia entre 30 segundos e 10 minutos e, depende em grande parte do tipo de porosidade do xilema. Por exemplo nas angiospermas pode ser: anular (Ex.: acácia, carvalho) ou difuso (Ex.: castanheiro-da-índia, sombra banana). A palmeira (planta primitiva) não possui um mecanismo de transporte de nutrientes horizontal ou translocação e o tratamento processa-se de forma diferente.
- IV. Variabilidade natural das plantas, tal como acontece com os animais, plantas dentro da mesma espécie reagem de forma diferente. Não se consegue controlar.

Atualmente no mundo da EV o termo microinjeção é utilizado com muita frequência como um atributo do EEV, no entanto não está definido, e raramente é baseado em estudos ou factos...

### Equipamento de EV

...Sendo a EV um método invasivo (semelhante a uma vacina administrada a uma pessoa) há um interesse comum em causar o mínimo de dano possível à árvore. A dimensão do corpo penetrante (ex.: agulha, broca, ...) é o fator com maior correlação à ferida causada na árvore. Onde todos os autores e empresas concordam, é que o termo Mi se refere ao EEV que não causa feridas permanentes e que estas saram a tempo do tratamento seguinte. Um dos grandes objetivos da Biostasia é definir, junto da comunidade especialista, uma lista de condições e dimensões máximas permitidas para o corpo penetrante, para este poder ser comercializado sob o nome de Mi. Desta forma o termo deixaria de ser utilizado

apenas para marketing. No decorrer do trabalho considera-se Mi todo o EEV cujo corpo penetrante tenha um diâmetro  $\varnothing_{m\acute{a}x.} \leq 2,0mm$ .

Existem vários EEV distintos, uns utilizam uma broca, outros uma agulha injetora e alguns por dissolução de implantes com PF no estado sólido. Independentemente dos mecanismos em jogo o conceito é básico – introduzir PF no sistema de transporte da planta – e daí pode dividir-se um EEV genérico nos seus vários componentes. Para facilitar a comunicação ao longo da dissertação os termos usados para identificar cada constituinte de um EEV encontram-se imediatamente a seguir na figura 1-2.

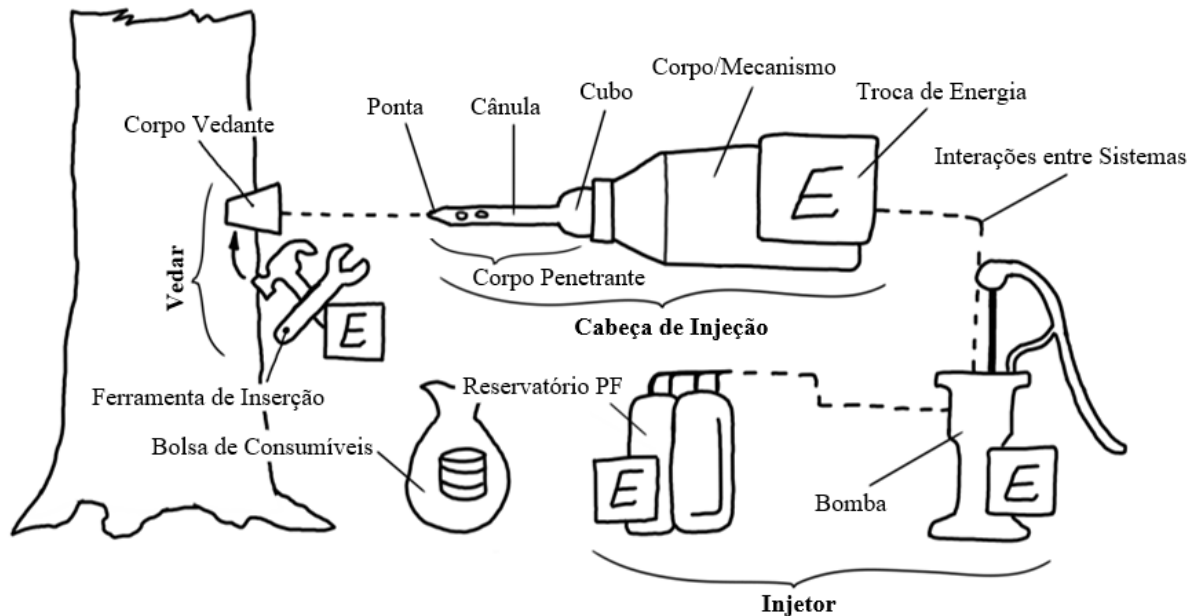


figura 1-2 Constituintes de um Equipamento de Endoterapia Vegetal Genérico (nível de abstração elevado)

## 1.1 Apresentação e Evolução do Problema

A Biostasia utiliza o EEV Direct-Inject<sup>®</sup> da ArborSystems<sup>TM</sup>. Este EEV está muito bem concebido para o seu propósito: uma solução de Mi sem perfuração que é fácil, rápida, amigável das árvores e comprovado funcionar sem falhar (ArborSystems, 2017). O sistema Direct-Inject<sup>®</sup> requer três operações distintas, a figura 1-3 contém uma hiperligação para o vídeo de demonstração da operação típica deste equipamento: 1. **Vedar** o local de injeção (inserindo uma rolha na casca da árvore); 2. **Penetrar** o tronco da árvore com a agulha através da rolha previamente colocada (em madeiras duras é necessário usar o martelo de inserção, figura 1-4, para martelar as agulhas no tronco); 3. **Injetar** o PF e retirar a agulha (em madeiras duras também se utiliza o martelo de inserção para retirar a agulha martelando na direção oposta). "Atualmente esta é a melhor e a única solução economicamente viável no mercado" diz Carlos Gabirro, CEO da Biostasia. A maior limitação desta solução prende-se na produtividade que oferece – define-se produtividade como sendo a capacidade que um EEV tem para tratar 1 árvore/operador/unidade de tempo – e no custo associado aos consumíveis necessários à atividade.



figura 1-3 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo demonstrativo da utilização típica do equipamento Direct-Inject® em árvores de madeira macia (em árvores de madeira dura utiliza-se o martelo da figura 1-4). Hiperligação alternativa: <https://www.youtube.com/watch?v=lz-uPgybbK4&ab>



figura 1-4 Martelo de Inserção ArborSystems™ (ArborSystems, 2017)

Apesar de cada árvore levar teoricamente 5 minutos a ser tratada, na prática ronda os 10 minutos e mesmo este último valor requer uma equipa bem coordenada. É prática comum haver uma equipa de dois operadores por cada equipamento; isto porque a Biostasia não utiliza as rolhas vedantes representadas na figura 1-5, o que faz com que cada árvore tenha de ser visitada duas vezes; a primeira para injetar o PF e a segunda para recolher as agulhas (que têm uma válvula que impede o refluxo do PF) após a árvore absorver o PF.

A agulha teoricamente é um componente de desgaste – define-se de desgaste como qualquer componente que tenha a qualidade de resistir a um determinado número de ciclos antes de ser substituído – mas na prática são quase consumíveis, figura 1-6. A agulha é fabricada de um aço macio e depende da sensibilidade do operador que a martela na árvore para não a danificar. Também é de notar uma redução na qualidade do fabrico ao longo dos anos, sendo que a brasagem que une a cânula ao cubo foi a região que mais sofreu. As agulhas têm tendência a deformar/fraturar ou a cânula separar-se do cubo.



figura 1-5 A rolha vedante fica no local de injeção após o tratamento. Uma vez que é feita de polímero e elastómero não é biodegradável numa janela temporal aceitável. A  $\pm 0,33\text{€}/\text{uni}$  e com cada árvore a necessitar de 3uni. o custo em consumíveis sobe em  $1\text{€}/\text{árvore}$ .



figura 1-6 Agulha injetora Wedgle® utilizada durante a atividade da Biostasia. Ocorreu a falha de separação da cânula do cubo; apurou-se como causa mais provável a fraca qualidade da brasagem. As agulhas custam  $\pm 30\text{€}/\text{uni}$  (o custo da agulha prende-se ao seu comprimento) e duram entre 1 dia e 1 semana de atividade.

No nível máximo de abstração as duas necessidades principais mantiveram-se constantes ao longo de toda a dissertação: manter a árvore saudável e boa produtividade económica. Este nível de abstração foi explorado inicialmente no intuito de gerar alternativas que não um EEV; mas em segunda análise das limitações do projeto bem como do conhecimento adquirido até então decidiu-se conceber um EEV.

O objetivo inicial era melhorar a produtividade do EEV Direct-Inject®, figura 1-7 através de sucessivos aperfeiçoamentos. Dando lugar a um produto melhor, que possivelmente não entraria em conflito com a propriedade industrial da ArborSystems™ e é mais tarde comercializado em Portugal. Nasce assim o tema de dissertação: Conceção e Desenvolvimento de Equipamento de Endoterapia Vegetal (por Mi em tronco de árvore). Durante a ID – UC destinada à pesquisa bibliográfica, definição e planeamento da dissertação – concluiu-se que este produto não traz os benefícios financeiros para justificar o projeto à Biostasia.

Com o conhecimento ganho da ID o foco mudou para o projeto de uma solução distinta com melhor produtividade financeira, constituindo propriedade industrial da Biostasia e da UNL (caso reúna as características de novidade, atividade inventiva e aplicabilidade industrial a solução é passível de obter uma patente). Neste cenário o mercado alarga-se a vários países da EU. Com o aumento da escala do projeto deixa de ser realista o desenvolvimento de todo o EEV durante a dissertação, passando o foco a ser a cabeça de injeção e tudo o resto é visto como um bônus. O tema evoluiu para: Conceção e Desenvolvimento da Cabeça de Injeção em Equipamento de Endoterapia Vegetal para integração das funções: Furar, Injetar e Tamponar. Pretende-se montar a cabeça de injeção a um berbequim, figura 1-8.

Com o entendimento incremental da complexidade do problema em mão o tema voltara a evoluir. A presente dissertação foca-se totalmente na fase de conceção do produto. Depois de alguma discussão entre todas as partes interessadas o tema final fica definido: Conceção de um Equipamento de Endoterapia Vegetal por Microinjeção. A solução deixa assim de ser uma adaptação de um berbequim (desenvolver uma cabeça de injeção) e passa a ser um EEV destinto e independente (ainda que só houve tempo e recursos para conceptualizar a cabeça de injeção e corpo vedante deste novo EEV).

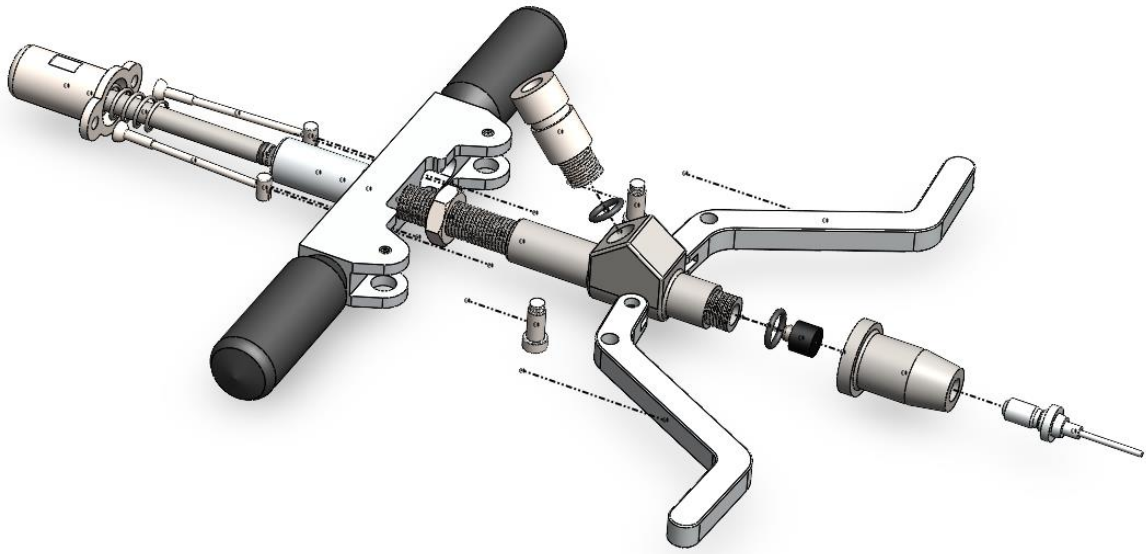


figura 1-7 Modelo Computacional Paramétrico do EEV da ArborSystems™ modelado a partir de scans 3D. Este modelo dimensionalmente exato iria ser utilizado para aperfeiçoar o EEV.

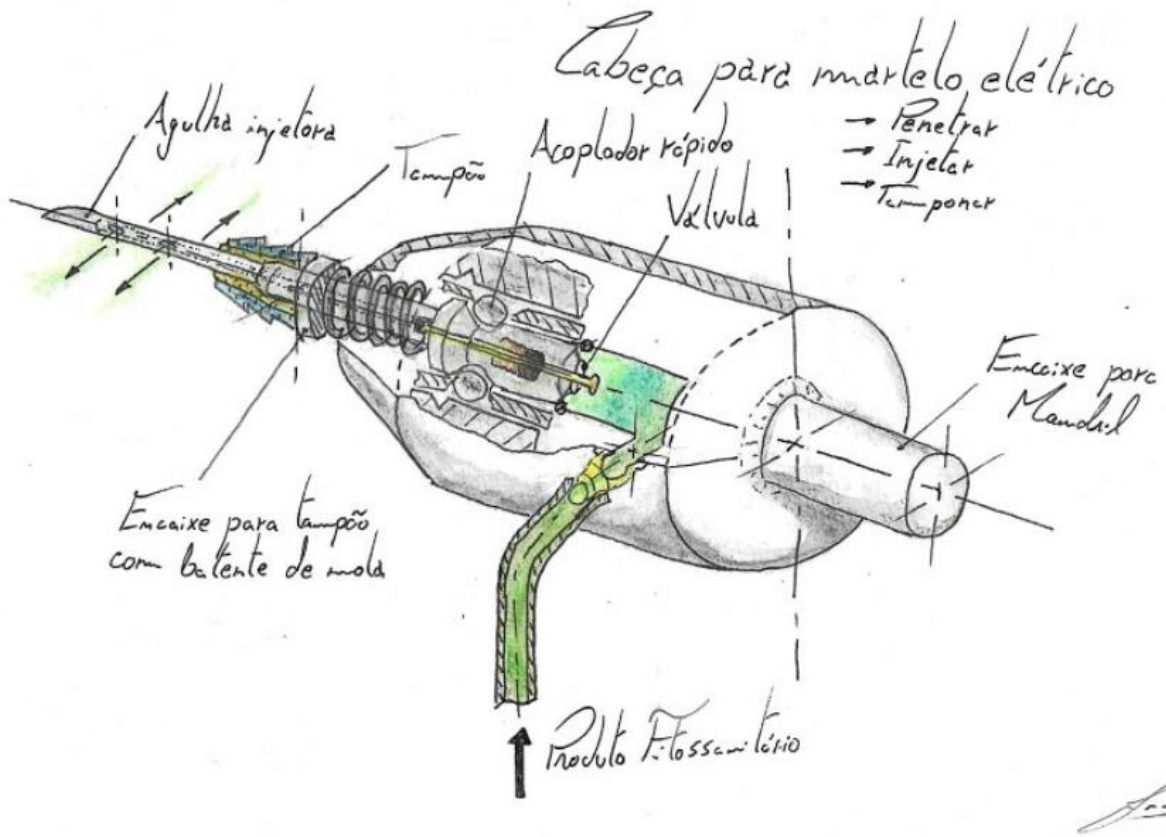


figura 1-8 Esboço conceptual para uma cabeça de injeção a ser montada num berbequim ou equivalente.

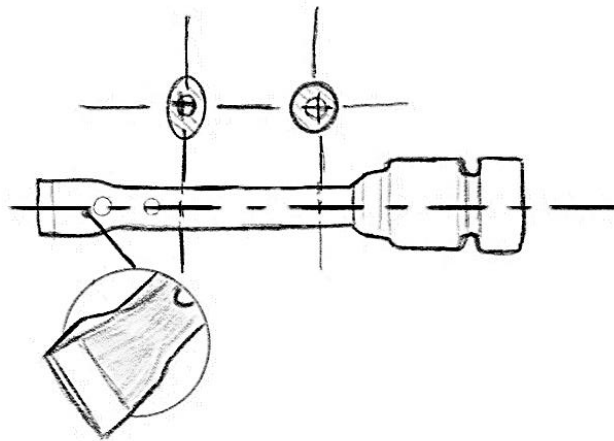


figura 1-9 Esboço rápido de uma ideia para uma nova agulha injetora. O desenho foi produto do modelo do projeto adotado.

## 1.2 Objetivos

O objetivo da dissertação é conceber um equipamento de endoterapia vegetal por microinjeção em tronco de árvore com a integração das funções: vedar, penetrar e injetar no qual o principal é realizar o anteprojeto do EEV, o que inclui:

- Recolher todos os pedidos da Biostasia em relação à atividade de EV;
- Traduzir os pedidos em necessidades;
- Associar as necessidades a requisitos iniciais de projeto (entende-se iniciais como não sendo as especificações para produção, mas sim aquelas que sofrem alterações através do processo iterativo inerente ao projeto);
- Conceber ideias com a capacidade de satisfazer os requisitos do projeto;
- Avaliar e selecionar a ideia que oferece maior confiança;
- Receber aprovação do projeto para continuar a desenvolver o produto.

Como objetivos secundários temos:

- Estudar a atividade de projetar;
- Implementar o conceito de HCD (*Human Centered Design*);
- Planear o projeto e implementar uma ferramenta de gestão;
- Manter um alto nível na qualidade da comunicação entre todas as partes interessadas no projeto.

O principal objetivo académico da dissertação de mestrado é o de contribuir com reflexões ou análises sobre um tema específico sem a necessidade de gerar novo conhecimento. Este trabalho permite ao júri averiguar e decidir se os objetivos académicos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica foram atingidos para a obtenção do grau de Mestre.

---

## 1.3 Organização da Dissertação

O meio escrito faz a ponte do conhecimento entre gerações, descreve ideias, escreve história e conta estórias, mas até à data não consegue contra-argumentar e por isso é importante balizar o significado de algumas palavras de forma a conter o argumento. Um glossário é uma lista das definições dos termos de um determinado domínio científico, no entanto não há nada de extraordinário nos termos empregados, por outro lado as definições de alguns destes termos variam com o contexto em que estão inseridos. O autor optou por definir tais termos na medida da necessidade em vez de um Glossário.

Estruturar a dissertação de forma a transmitir com autenticidade o raciocínio de todo o processo de conceção até à data de publicação é por si só um desafio. Encadear as ideias de forma cronológica (quando o processo é caótico e várias etapas se sobrepõe) pode ser mais exato, mas difícil de seguir para o leitor. Estruturar de forma lógica torna a leitura mais agradável, mas transmite um falso sentido de ordem e organização dos acontecimentos. Os capítulos encontram-se assim por ordem do início e/ou dependência de cada fase do processo de projetar. Cada capítulo foi escrito com o conhecimento total do projeto desde o seu início até à data de entrega. Isto torna os capítulos independentes dos demais, podendo ser usados como ferramenta de consulta na fase do desenvolvimento do produto posterior à data da entrega da dissertação.

O estudo da atividade de projetar assim como a pesquisa científica necessária à realização deste projeto, capítulos 2 e 3 respetivamente, foram etapas realizadas paralelamente a todo o projeto. A fase Conceptual e a Prototipagem, capítulos 5 e 6 respetivamente iniciaram-se quase que em simultâneo sendo que o conhecimento gerado provém de uma sinergia entre ambos e, portanto, tiveram durações idênticas. A etapa de Definição do Problema capítulo 4 deu-se em grande parte no período da UC de ID, mas é um capítulo que se manteve em aberto até ao final pois várias alterações têm de ser feitas mediante novo conhecimento. Os Resultados e a Conclusão, capítulos 7 e 8 respetivamente, são os únicos verdadeiramente independentes, tomando o lugar no final do anteprojecto. Os desenhos técnicos resultantes do processo encontram-se no Apêndice B Desenhos.



## O MÉTODO DE PROJETAR

O método de projetar é o elemento comum a qualquer projeto independentemente das disciplinas que ele reúna. Desta forma o estudo, escolha e adaptação de um método de projetar é essencial para o sucesso do produto. Durante o percurso académico foram apresentadas filosofias de projeto como a TRIZ, TAP e a CE; mas sem pelo menos uma perspetiva generalista da evolução histórica da atividade de projetar, assim como os vários métodos existentes, não é prudente escolher e adaptar um método. Uma grande porção da dissertação (o autor estima que foi a maior parcela temporal do projeto) foi dedicada ao estudo dos métodos, analisando cada um de forma a selecionar os que melhor se ajustam. As filosofias e metodologias mais antigas, que por razões imediatamente aparentes não se enquadram no projeto, foram analisadas superficialmente.

### 2.1 Visão Global

O primeiro contacto com o termo método de projetar deu-se em sala de aula e imediatamente despertou a curiosidade. A dissertação foi ideal para explorar esta vertente da engenharia. Em diálogo com os orientadores o autor ficou a conhecer casos reais de aplicação em diferentes áreas e foi o ponto de partida. Pouco depois, através de uma colega, surgem os dois livros que compõem a base do método utilizado: *The Mechanical Design Process* (Ullman, 2008) e *Product Design and Development* (Ulrich & Eppinger, 2016). Mais tarde consulta-se a tese de doutoramento, *O Projecto de Produtos Únicos desenvolvidos em Empresas de Pequena Dimensão* (Santos, 2010), cujo estado da arte é a compilação e análise sumária dos vários métodos do projeto e, mesmo após uma década, não surgiram novos métodos disruptivos; para além de que pequenas alterações (como casos de estudo recentes) são adicionadas às últimas edições das várias publicações mantendo a sua expressão em 2022.

Projetar define-se (de acordo com vários autores) como o conjunto de atividades através das quais o projetista estabelece requisitos, baseado em necessidades humanas, que as transforma em especificações de desempenho e funções, as quais são convertidas em soluções de projeto (respeitando os constrangimentos e usando criatividade, princípios científicos e conhecimentos técnicos) que podem ser construídas e produzidas, com viabilidade económica. Note que os requisitos de projeto são baseados em necessidades humanas. É imperativo entender alguns dos princípios fundamentais da interação –

interação entre o produto e o utilizador – de forma a conceber soluções capazes de satisfazer estas necessidades humanas e proporcionar uma boa experiência na sua utilização. A qualidade da experiência é uma matéria subjetiva que é muitas vezes ignorada por engenheiros. Esta área de estudo pertence à psicologia na qual o livro *The Design of Everyday Things* (Norman, 2013) é uma excelente introdução. Esta filosofia é conhecida pelo HCD, sigla para *Human Centered Design*.

### 2.1.1 O Projeto de Produtos Únicos Desenvolvidos em Empresas de Pequena Dimensão

A atividade de projeto foi, desde o início (utensílios pré-históricos, ninhos de aves, etc.), executada com base na experimentação, sendo os projetistas guiados pela sua intuição e utilizando as suas aptidões naturais. As atividades inerentes ao desenvolvimento de produtos e elaboração dos seus projetos eram executadas heurísticamente ou empiricamente, com base em procedimentos fortemente experimentais e métodos de “Tentativa e Erro” (Santos, 2010).

A procura contínua de novos produtos, com elevada qualidade, prazos de entrega curtos e custos baixos, complementada pela ocorrência de acidentes com consequências graves, devido a falhas de projeto, conduziram à necessidade de prestar mais atenção ao modo como o projeto é desenvolvido. Uma das formas encontradas para melhorar a qualidade do projeto consiste na utilização de procedimentos estruturados e baseados em princípios científicos, que possam ser aplicados, de modo sistemático, no desenvolvimento de produtos e na elaboração dos seus projetos, assim como na definição dos respetivos processos de produção para a realização desses produtos. O modelo ou método do processo de projetar é uma representação das filosofias ou das estratégias, propostas para mostrar como o projeto é, ou devia ser, feito. Normalmente são desenhados como fluxogramas, mostrando a natureza iterativa do processo de projeto através de retroalimentações. Um modelo é posto em prática através da implementação das ferramentas de projeto. É possível classificar teoria, modelo e ferramenta em função do nível de abstração, da extensão ou da especialização, como ilustrado na figura 2-1.

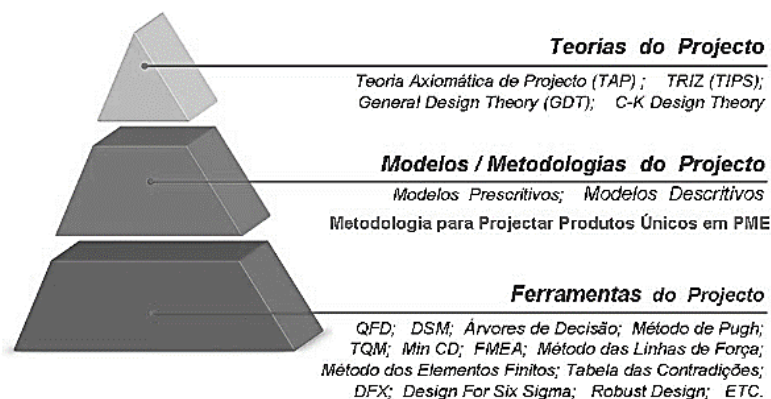


figura 2-1 Classificação dos vários trabalhos existentes na área de Projeto em função do nível de abstração e da generalidade de aplicação (Santos, 2010).

A Teoria da Resolução dos Problemas de Invenção, mais conhecida pelo seu acrónimo russo TRIZ (TIPS, na terminologia anglo-saxónica), é uma metodologia apropriada para a resolução de

---

problemas novos, nas áreas da ciência e da engenharia, vocacionada para a geração de soluções. Esta abordagem foi desenvolvida por Genrich Altshuller, na ex-URSS, desde 1946 que, a partir da examinação de mais de um milhão e meio de patentes, descobriu que os problemas de invenção – problemas para os quais não existe solução conhecida – envolvem, pelo menos, uma contradição (ou seja, a melhoria de uma característica provoca a deterioração de outras), e que, muitas vezes, certos problemas são resolvidos em diferentes campos técnicos, usando somente um pequeno número de princípios de invenção. No decorrer do projeto foram encontradas quatro contradições e descreve-se o processo da sua resolução. O modelo adotado tem na sua base modelos que incluem representações da TRIZ. Os exemplos de aplicação da TRIZ encontram-se no Capítulo 5 Etapa Conceptual.

A Teoria Axiomática do Projeto (TAP) foi desenvolvida por Nam Pyo Suh, no “Massachusetts Institute of Technology – MIT”, e encontra-se explicada, pormenorizadamente, em (Suh, 2001). A TAP é a única teoria de projeto que descreve matematicamente todo o processo, em conformidade com o modo como a mente humana funciona durante a realização das operações de projeto, estruturando todo o processo de projetar e fornecendo critérios para auxiliar as tomadas de decisão, inerentes ao processo de projetar. Deste modo, a TAP proporciona uma abordagem sistemática ao processo de projetar, baseada em procedimentos científicos, através da utilização do conceito de Domínios, da sistematização do processo por decomposição em zigue-zague, traduzida pelas Matrizes de Projeto, sendo as decisões, tomadas ao longo do processo, fundamentadas em dois Axiomas, Corolários e Teoremas, derivados dos axiomas, que constituem a TAP. O Axioma da Independência (ou o primeiro axioma) diz que é preciso manter a independência dos requisitos funcionais, RF. Isto significa que o mesmo parâmetro de projeto, PP não deve ser usado para ajustar diferentes RF, sem afetar o desempenho de qualquer outro requisito funcional. O Axioma da Informação (ou segundo axioma) diz que é preciso minimizar o conteúdo de informação de um projeto. Este axioma tem como objetivo ajudar a descobrir a solução de projeto alternativa com maior probabilidade de satisfazer os RF. Uma vez que o processo de projeto não conduz a uma solução única, o axioma da informação deve ser utilizado para comparar as soluções alternativas que foram previamente encontradas.

Para além das evoluções verificadas no processo de projetar, verificou-se também uma mudança em termos de filosofia de base e do modo de pensar o projeto, passando a ser dada mais atenção à etapa de conceção. Todos os aspetos das diversas fases da vida do produto são analisados, desde a sua conceção até à reciclagem, após o final da sua vida útil, incluindo aspetos como a qualidade, os custos e os requisitos do cliente. Esta abordagem sistemática, aplicada ao desenvolvimento integrado de um produto, ficou conhecida como Engenharia Simulatânea (CE).

Existem outras teorias e filosofias de projeto que não foram analisadas ou que não tiveram peso suficiente na implementação do modelo aplicado. Os modelos de projeto provenientes de várias perspectivas filosóficas tendem a pertencer a três classes principais, a prescritiva, a descritiva e a computacional. Os modelos prescritivos estão associados à “escola de pensamento sintático” e tendem a olhar para o processo de projeto numa perspectiva global, cobrindo os passos procedimentais, isto é, sugerindo a melhor maneira como qualquer coisa deve ser feita. Os modelos descritivos, por outro lado, preocupam-se com as ações dos projetistas e com as atividades realizadas durante o processo de projeto, isto é, com o

que está envolvido no ato de projetar e/ou como isso é feito. Na Tabela 2-1 lista-se os vários modelos tanto prescritivos como descritivos. O terceiro grupo de modelos são designados por modelos computacionais. Estes modelos colocam a ênfase no uso de técnicas computacionais numéricas e qualitativas, assim como técnicas de inteligência artificial, combinadas com tecnologias de computadores. Qualquer modelo de projeto existente, embora tenha mais afinidades com uma determinada classe de modelos, acaba por partilhar também algumas das características de outras classes.

Os modelos são postos em prática através do uso das ferramentas do projeto. A qualidade das decisões pode ser melhorada mediante o uso, durante a atividade de projetar, de ferramentas tradicionais ou computacionais que poderão ser de três tipos: baseadas em conhecimentos de engenharia; processos e planeamento de trabalho & colaboração. A utilização destas ferramentas permite ao projetista executar as tarefas de engenharia, modelação, análise, otimização, simulação, planeamento e sequência de atividades, comunicação de informação, etc., de uma forma mais rápida, libertando-o das tarefas rotineiras, deixando-lhe mais tempo para gerar e avaliar as opções de projeto, a fim de tomar as melhores decisões. O planeamento do projeto foi auxiliado pela ferramenta GanttProject para construir o diagrama de Gantt (Tabela 2-4). A comunicação é determinante para a qualidade do projeto. Como tal foram implementadas estratégias e ferramentas de comunicação, que apesar da sua simplicidade mostraram-se eficazes o que resultou em mais confiança no processo do projeto por todas as partes interessadas.

No processo de projetar, existe uma dualidade Arte/Ciência, verificando-se que os modelos de projeto relacionados com a arquitetura defendem uma perspetiva do projeto mais artística e mais intuitiva. Por outro lado, os modelos do processo de projeto relacionados com a engenharia defendem uma perspetiva do projeto mais ordenada e mais científica. Nos últimos anos, o argumento do projeto ser uma arte ou ser uma ciência tem sido tratado em muitas publicações (livros, papers, artigos em revistas, etc.) havendo muitos autores que reconhecem a importância da intuição no desenvolvimento de soluções criativas para os problemas de projeto.

Tabela 2-1 Modelos do Projeto conhecidos pelo nome dos seus autores, organizados por classe e ano (até 2010).

<b>Modelos Prescritivos</b>	<b>Ano</b>	<b>Modelos Descritivos</b>	<b>Ano</b>
J. C. Jones e D. G. Thornely	1962	E. Matchett	1970
Arthur D. Hall	1962	Jane Drake	1979
Morris Asimow	1962	John S. Gero	1990
R. D. Watts	1966	Vinod Goel	1995
E. V. Krick	1969	L. March	1996
David Wilson	1980	Bryan Lawson	2007
Vladimir Hubka	1982	-	-
L. B. Archer	1984	-	-
Nigel Cross	1984	-	-
Don P. Clausing	1994	-	-
Roozenburg e Eekels	1995	-	-
Atila Értas e Jesse C. Jones	1996	-	-

Tabela 2-1 (continuação) Modelos do Projeto conhecidos pelo nome dos seus autores, organizados por classe e ano (até 2010).

<b>Modelos Prescritivos</b>	<b>Ano</b>	<b>Modelos Descritivos</b>	<b>Ano</b>
Total Design de Pugh	1998	-	-
Derrick Tate	1999	-	-
Michael French	1999	-	-
Gerard Volland	2004	-	-
Bulent Gumus	2005	-	-
G. Pahl e W. Beitz	2007	-	-
Shirwaiker e Okudan	2007	-	-
Karl Ulrich e Steven Eppinger	2008	-	-
Dieter e Schmidt	2009	-	-
David Ullman	2010	-	-
British Standards Institution BS 7000	n/a	-	-
Verein Deutscher Ingenieure – VDI	n/a	-	-

A intuição de um engenheiro qualificado é uma característica desenvolvida durante o período em que o projetista exerce a atividade de projeto. A experiência acumulada de projeto é armazenada no cérebro e é acedida de uma forma milagrosa quando o projetista desenvolve soluções para novos problemas de projeto. Assim, idealmente, os elementos apropriados de cada experiência armazenada são sintetizados para formular novos conceitos. Esta explicação é frequentemente utilizada para justificar as afirmações de que o projeto só pode ser ensinado através da prática de projetar e que o projeto é mais uma arte do que uma ciência. Alguns engenheiros, apesar de terem formação avançada na área do projeto de máquinas e serem, tecnicamente, muito bons nas ciências puras e aplicadas, não conseguem conceber boas soluções de projeto, ainda que conhecendo minimamente as várias teorias, metodologias e ferramentas de projeto. Este aspecto está fortemente relacionado com a sua experiência passada e com as aptidões naturais de cada projetista, que lhe conferem maior ou menor facilidade em gerar soluções e desenvolver as atividades inerentes ao processo de projetar.

Na opinião de Santos, 2010, o processo de projeto deverá ser desenvolvido com base em métodos sistemáticos, utilizando ferramentas com carácter científico. No entanto, a conceção e a avaliação das soluções está muito dependente da intuição e da experiência acumulada do projetista.

### 2.1.2 O Processo do Projeto Mecânico

O processo do Projeto Mecânico de David Ullman considera que uma característica fundamental para a boa prática de projeto é considerar todo o ciclo de vida do produto em todas as etapas/fases de conceção e desenvolvimento, a CE, sendo que o projeto é responsável pelo nascimento, vida e morte dos produtos. Este modelo é adequado para o ensino contendo vários exemplos reais de produtos conhecidos assim como exercícios e sugestões de ferramentas de projeto. As dez ações fundamentais (um

paralelismo aos dez mandamentos) para uma boa prática de projetar propostas pelo modelo de Ullman para solucionar problemas são:

1. Foco no ciclo de vida inteiro do produto;
2. Uso e apoio das equipas de projetistas;
3. Entendimento de que a atividade de projetar é tão importante quanto o produto;
4. Cuidado ao planear as tarefas centradas na informação;
5. Cuidado no desenvolvimento dos requisitos do produto;
6. Encorajamento para gerar e avaliar várias soluções alternativas;
7. Reconhecimento no processo de tomar decisões;
8. Atenção à qualidade do projeto em todas as suas fases;
9. Engenharia Simultânea;
10. Ênfase na comunicação da informação certa, para as pessoas certas, no tempo certo.

### Tipos de Projeto

David Ullman classifica os vários géneros de projeto mecânico, lembrando que o projeto envolve quase sempre várias destas disciplinas e frequentemente todas:

- Projeto Conceptual e do Produto, primeiro deve-se desenvolver um conceito e refiná-lo até ser um produto. As atividades do desenvolvimento do conceito e do produto fazem uso de todos os outros tipos de projeto;
- Projeto de Seleção, é quando há a seleção de componentes a partir de um catálogo de uma família de componentes. Várias vezes utilizado na conceção do corpo penetrante do EEV;
- Projeto de Configuração ou Empacotamento, é a atividade de ordenar espacialmente os vários componentes ou subsistemas que compõe a solução, de forma lógica e eficiente. No Apêndice B o desenho de conjunto do EEV CNCPT\_2 considera-se um projeto de empacotamento;
- Projeto Paramétrico, é o que define as dimensões dos componentes que caracterizam a solução. Este é o tipo de projeto mais habitual em problemas académicos. Pouca criatividade e normalmente pouco complexo com apenas algumas incógnitas por descobrir mesmo que tenha muitas variáveis. A dificuldade está em definir o problema, se o número de incógnitas, variáveis e constrangimentos for alto, este tipo de enunciado torna-se trabalhoso. Utilizado por exemplo na construção do engenho para testar os protótipos do corpo vedante, diâmetro e material do corpo penetrante e em outros protótipos de baixa fidelidade;
- Projeto Original, acontece sempre que o problema requer o desenvolvimento de uma solução que não existia. Enquanto os géneros de projeto anteriores podem ser reduzidos a catálogos, equações, regras lógicas, entre outros, este não pode ser reduzido a nenhum algoritmo. Foi utilizado no levantamento das contradições encontradas no projeto, subcapítulo 5.3;
- Projeto Incremental, compõe a maioria dos problemas da indústria, por exemplo a evolução do automóvel ao longo do século. Inicialmente era o pretendido;

- Projeto de Variações, acontece quando há uma linha de produtos customizáveis. Este projeto é muito típico em produtos tecnológicos onde, por exemplo, a mesma carcaça de um PC pode ser especificada com vários CPU's diferentes;

## A Qualidade do Processo de Projetar

No modelo de Ullman os parâmetros que permitem avaliar a eficácia do processo de projetar são o custo, a qualidade e tempo de comercialização (*time to market*). Na maioria dos produtos a fração do custo associado ao projeto é muito pequena comparativamente com o custo da sua produção. O projeto (especialmente na fase de concepção), independentemente da eficiência da produção, pode cortar os custos do produto entre 35% a 75%, com se infere pelo diagrama da figura 2-2. Quanto maior o número de unidades a produzir mais aparente é este efeito. “*Os projetistas custam pouco, o seu impacto no custo do produto, imenso.*” Os processos da atividade de projetar têm um grande impacto na qualidade do produto. A qualidade pode ser avaliada de várias formas, variando com a época de acordo com os consumidores; a Tabela 2-2 contém os resultados de dois estudos que tentam definir a qualidade de um produto do ponto de vista do consumidor.

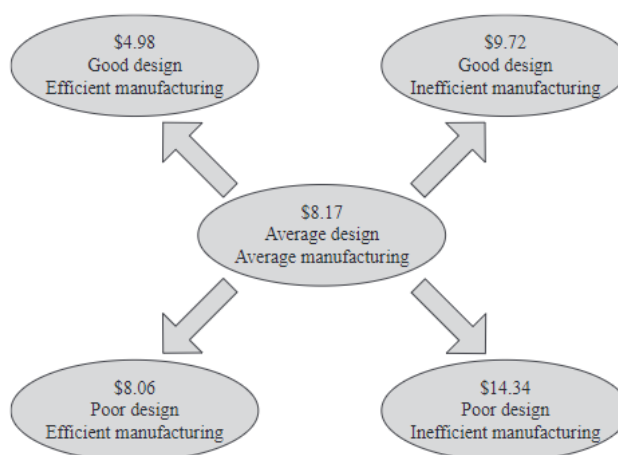


figura 2-2 O efeito do projeto no custo de produção. Dados de Assessing the Importance of Design through Product Archaeology num estudo de 18 fabricantes de máquinas de café automáticas. (imagem Ullman, 2008).

Tabela 2-2 O que determina a qualidade de um produto. Escala: 5 = muito importante, 1 = nada importante, entre parenteses estão as posições das métricas. Time, Nov. 13, 1989, e How Product quality Dimensions Relate to Defining Quality, Sebastianelli et al, 2022 (tabela Ullman, 2008).

	1989	2002
Works as it should	4.99 (1)	4.58 (1)
Lasts a long time	4.75 (2)	3.93 (5)
Is easy to maintain	4.65 (3)	3.29 (5)
Looks attractive	2.95 (4-5)	3.58 (3-4)
Incorporates latest technology/features	2.95 (4-5)	3.58 (3-4)

Os atrasos no lançamento de um produto podem ser consequência do mau planejamento do projeto. É comum na fase conceptual, entre os projetistas mais caóticos e criativos, não haver a capacidade de selecionar e desenvolver uma ideia. A situação oposta na qual um dos primeiros conceitos é

selecionado para ser desenvolvido também não é a desejada. É importante encontrar o equilíbrio entre a confiança que uma solução transmite e decidir avançar para a fase seguinte.

Para o mesmo problema existem inúmeras soluções satisfatórias sem que nenhuma seja claramente melhor. A avaliação de ideias e das soluções depende do quão bem definido esteja o problema, do conhecimento e de outros fatores (Ullman, 2008).

“*Fail early, fail often*” é uma filosofia poderosa de projeto que se baseia no argumento da Qualidade Vs Quantidade. Deve dar-se prioridade à quantidade e o mais cedo possível. Gerar uma grande quantidade de ideias aumenta a probabilidade de encontrar soluções satisfatórias. Fazê-lo cedo permite rapidamente aumentar o conhecimento nos domínios do projeto, lembrando que a mesma informação é tanto mais valiosa quanto mais cedo for obtida, figura 2-3.

Em projeto a maioria do custo do produto é alocado nos primeiros estágios do projeto como se observa na figura 2-4, ou seja, a fase conceptual é a de maior importância do ponto de vista financeiro. Os responsáveis pela gestão e planeamento do projeto devem manter uma proporção saudável entre fazer cumprir com os prazos e permitir flexibilidade e alterações no início do projeto. A mesma alteração ao produto na fase de produção custa várias ordens de magnitude mais do que na fase conceptual.

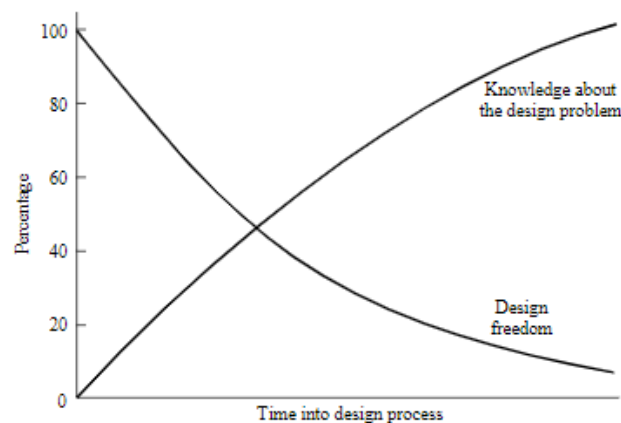


figura 2-3 O Paradoxo do Projeto “Quanto mais se aprende menos liberdade há para utilizar esse conhecimento” (imagem Ullman, 2008).

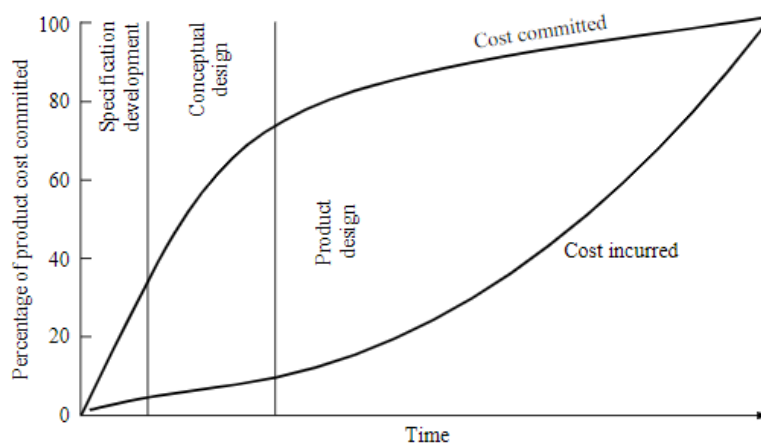


figura 2-4 Percentagem do Custo Alocado Vs Gasto em função da fase do projeto (imagem Ullman, 2008).

---

## Métodos de Projetar

Para conter o caos da atividade de projetar, garantido que o projeto avança dentro do planejamento utiliza-se um plano de projeto. O método do *Stage-Gate* foi formalizado pela NASA na década de 1980, para projetos aeroespaciais de grande escala. Este processo está ilustrado na figura 2-5 onde os *gates* são representados por losangos (forma associada à tomada de decisões) e os *stages* por retângulos (forma associada a um processo). Os *gates* são muitas vezes referidos de revisões do projeto, que se processam em reuniões formais durante as quais os membros da equipa de projeto reportam o seu progresso à equipa de gestão. Dependendo dos resultados da revisão do projeto, a gerência decide então continuar o desenvolvimento do produto, realizar mais trabalho na fase anterior, ou encerrar o projeto antes que mais recursos sejam desperdiçados. Uma grande suposição deste método é que o trabalho pode ser feito sequencialmente. Isto significa que a definição do produto pode ser determinada no início do processo e que fluirá através do conceito para o produto. Isto é verdade para a maioria dos tipos de produtos maduros onde já existe muita documentação e conhecimento de projeto específico, mas para novos produtos não é aconselhado. Apesar de ser um método impróprio para este projeto, ele é fácil de implementar (característica importante para o projetista inexperiente). No subcapítulo 2.2 O Modelo do Projeto consta as adaptações implementadas ao método do *Stage-Gate* ajustando-o à fase conceptual.

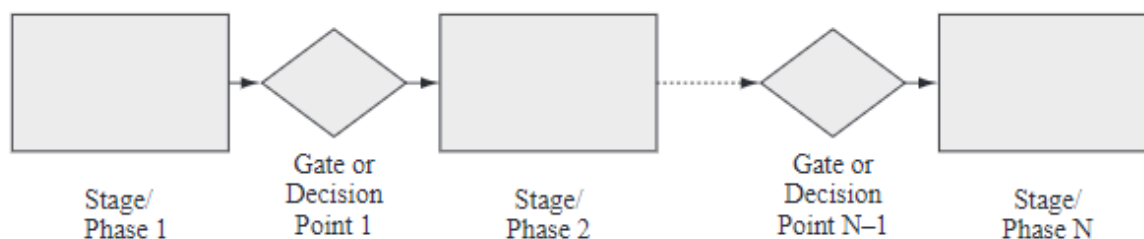


figura 2-5 O método *Stage-Gate* (imagem Ullman, 2008).

## Comunicação do Projeto

É importante documentar todo o processo do projeto, facilitando a comunicação e o trabalho colaborativo, para provar a originalidade de produtos novos e criticar a qualidade do processo para melhorá-lo no futuro. Existe a chamada, documentação principal do projeto, que resulta naturalmente da atividade de projetar como é o caso dos desenhos técnicos. A documentação acessória (*deliverables*), é uma ferramenta para guardar informação que de outra forma seria perdida: cálculos num guardanapo, rabiscos de ideias e pensamentos soltos.

Uma vez que o engenheiro raramente trabalha isolado ele deve ser capaz de comunicar eficazmente as suas ideias, de forma a criar diálogo e discussão com os seus colegas. Para tal deve dominar vários tipos de linguagem, a semântica, a gráfica, a analítica e a física em vários níveis de abstração diferentes como ilustrado na figura 2-6.

Language	Level of abstraction		
	Abstract	→	Concrete
Semantic	Qualitative words (e.g., <i>long</i> , <i>fast</i> , <i>lightest</i> )	Reference to specific parameters or components	Reference to the values of the specific parameters or components
Graphical	Rough sketches	Scale drawings	Solid models with tolerances
Analytical	Qualitative relations (e.g., <i>left of</i> )	Back-of-the-envelope calculations	Detailed analysis
Physical	None	Models of the product	Final hardware


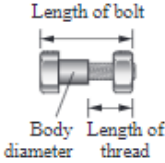
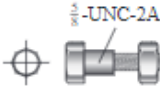

Language	Level of abstraction		
	Abstract	→	Concrete
Semantic	A bolt	A short bolt	A 1" 1/4-20 UNC Grade 5 bolt
Graphical			
Analytical	Right-hand rule	$\tau = F/A$	$\tau = F/A$
Physical	—	—	

figura 2-6 Níveis de abstração em várias linguagens (imagem Ullman, 2008).

### 2.1.3 Conceção e Desenvolvimento do Produto

O modelo de conceção e desenvolvimento do produto de Ulrich & Eppinger é mais virado para o produto generalista e menos para o processo do projeto mecânico (no entanto a esmagadora maioria dos exemplos são de produtos mecânicos). Na opinião do autor este modelo é o que oferece as ferramentas mais adequadas para os alunos e profissionais com pouca experiência vendo-o como uma evolução do modelo de Ullman uma vez que partilha a mesma estrutura e muitas das suas qualidades.

O processo é definido como uma sequência de passos que transformam um conjunto de entradas (*inputs*) num conjunto de saídas (*outputs*) (Ulrich & Eppinger, 2016). Um elemento do conjunto de saídas é a documentação e dentro deste conjunto existe a documentação acessória (*deliverables*). Algumas disfunções comuns que acontecem durante a fase de conceção são: a consideração de apenas uma ou duas alternativas, propostas pelos membros mais assertivos da equipa; falha em explorar e considerar a utilidade dos conceitos utilizados noutras empresas em produtos relacionados e principalmente não relacionados; envolvimento de apenas uma parte da equipa na fase conceptual que resulta em falta de confiança por parte dos restantes elementos face ao conceito adotado; ineficácia em aplicar soluções parciais não eficazes; falha ao desconsiderar categorias inteiras de soluções.

#### Processo Genérico do Desenvolvimento de um Produto

O processo genérico do desenvolvimento de um produto pode ser decomposto nas suas várias fases e respetivas equipas envolvidas como ilustrado na

---

figura 2-7. Todas as fases do processo têm métodos com 3 a 5 passos detalhados, exemplificados e ilustrados com recurso a fluxogramas que acompanham o projetista do início ao fim do projeto. Os fluxogramas que prescrevem o processo na etapa de Definição do Problema do Capítulo 4 foram baseados nestes conselhos procedimentais. Por exemplo o processo de aquisição das necessidades do cliente método é composto por 5 passos pormenorizados e fáceis de seguir:

1. Recolher informação “bruta” do cliente;
2. Interpretar a informação bruta nos termos das necessidades do cliente;
3. Organizar as necessidades numa hierarquia;
4. Estabelecer a importância relativa das necessidades;
5. Refletir sobre os resultados e o processo.

Segue-se um processo de 4 passos para transformar as necessidades do cliente em especificações do produto (o grau de aproximação das especificações àquelas do produto final depende da fase do processo de projetar):

1. Estabelecer lista de métricas;
2. Levantamento de informação para benchmarking com a competição;
3. Estabelecer valores ideais e marginalmente aceitáveis para as métricas;
4. Refletir sobre os resultados e o processo.

## A Qualidade do Processo de Projetar

Ulrich & Eppinger acrescentam aos critérios que permitem avaliar a eficácia do processo de projetar (face ao modelo de Ullman). O parâmetro custo é dividido em Custo do Produto (PVP) e Custo do Desenvolvimento. Introduce outro parâmetro determinante na qualidade do produto: A Capacidade de Desenvolvimento da empresa que depende da sua realidade organizacional. Alguns dos fatores que diminuem a capacidade de desenvolvimento são: baixo moral da equipa do projeto, interesses e alianças transcendentais aos objetivos do projeto, a falta de recursos e a falta de representação funcional na equipa do projeto. No caso deste projeto a capacidade de desenvolvimento é naturalmente fraca quando comparada a uma empresa estabelecida. Os objetivos académicos nem sempre se alinham com o projeto, há falta de recursos financeiros e a equipa apesar de motivada e indulgente é curta e sofre com a in experiência do autor.

O custo do desenvolvimento do produto é aproximadamente proporcional ao número de pessoas na equipa do projeto e à duração do projeto. Além das despesas com o esforço de desenvolvimento, uma empresa terá quase sempre de fazer algum investimento nas ferramentas e equipamentos necessários para a produção. Esta despesa é muitas vezes tão grande como o resto do orçamento para o desenvolvimento do produto; no entanto, por vezes, é útil pensar nestas despesas como parte dos custos fixos da produção. A realidade é que muito poucos produtos podem ser desenvolvidos em menos de 1 ano, e quase sempre são investidos várias dezenas de milhares de euros. O maior constrangimento na fase conceptual deste projeto foram os recursos alocados, sendo que o investimento total na conceção da solução para o EEV foi inferior a 100€ (mas com as máquinas do DEMI da FCT-UNL ao dispor da equipa do projeto consoante disponibilidade) e a equipa é constituída por apenas 3 projetistas (o autor a

tempo quase inteiro, mas inexperiente, e ambos os orientadores da dissertação). Na Tabela 2-3 comparam-se os recursos envolvidos no desenvolvimento de 5 produtos diferentes em relação ao Pica Pau para contextualizar o projeto e a sua capacidade de desenvolvimento. Todos os números são aproximados, com base em informações, estimativas e fontes das empresas publicamente disponíveis.

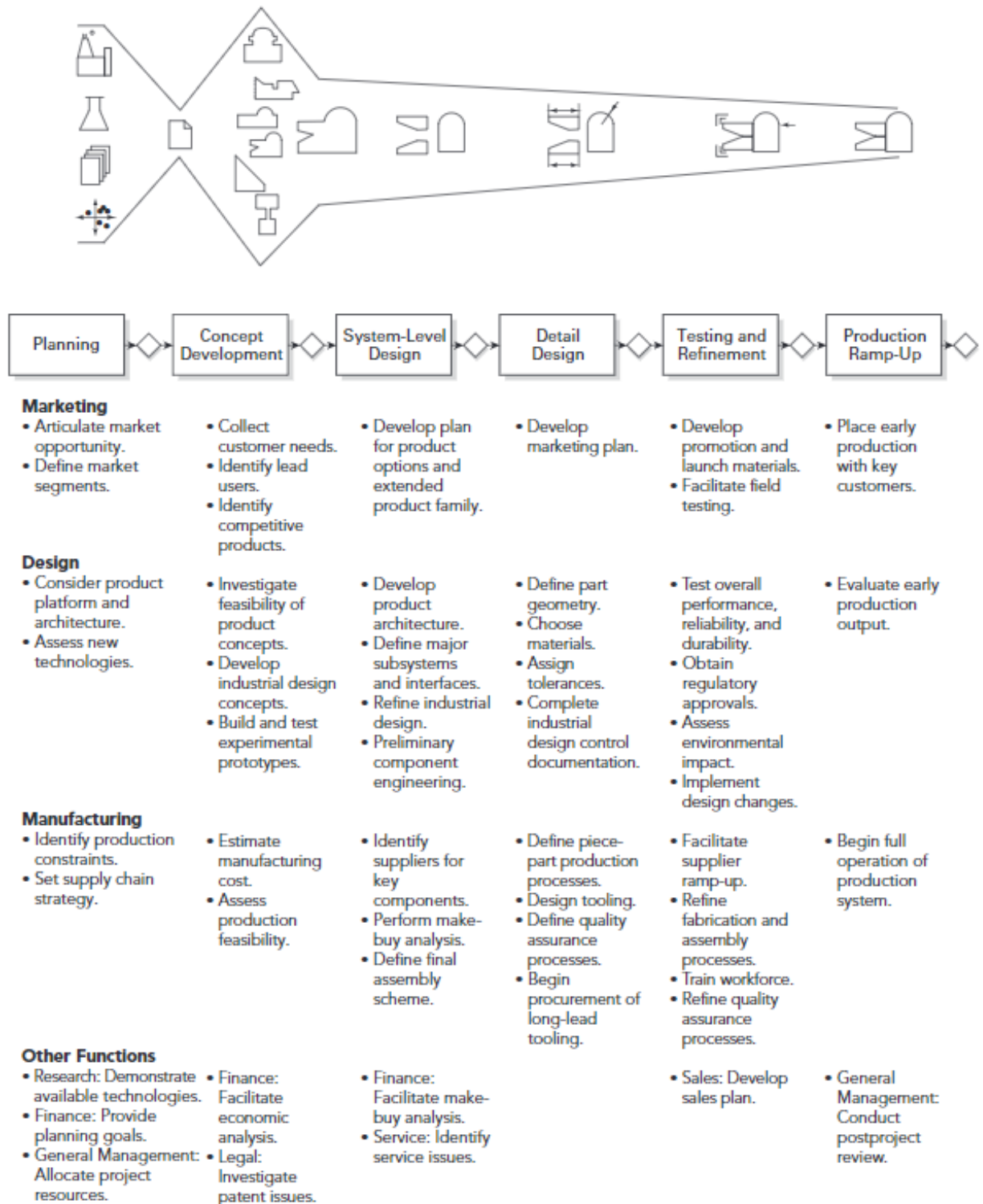


figura 2-7 O processo genérico para o desenvolvimento de um produto. Seis fases são mostradas, incluindo algumas das tarefas e responsabilidades típicas das funções chave do negócio em cada fase (imagem Ulrich & Eppinger, 2016)

Tabela 2-3 Atributos de 6 produtos (Pica-Pau incluído) e os seus respetivos recursos de desenvolvimento (adaptado a partir de Ulrich & Eppinger, 2016).

	<b>Belle-V Ice Cream Scoop</b>	<b>Biostasia EEV “Pica-Pau”</b>	<b>AvaTech Avalanche Probe</b>	<b>Aspirador iRobot Roomba</b>	<b>Automóvel Tesla Model S</b>	<b>Aeronave Boeing 787</b>
<b>Volume da produção anual</b>	10.000 uni/ano	100* uni/ano	1.000 uni/ano	2.000.000 uni/ano	50.000 uni/ano	120 uni/ano
<b>Esperança de vida do produto</b>	10 anos	5 anos	3 anos	2 anos	5 anos	40 anos
<b>Preço de retalho</b>	40€	1.500*€	2.250€	500€	80.000€	250€
<b>Número de peças únicas</b>	2 peças	+40* peças	175 peças	1.000 peças	10.000 peças	130.000 peças
<b>Tempo de desenvolvimento</b>	1 ano	2* anos	2 anos	2 anos	4 anos	7 anos
<b>Equipa Interna de desenvolvimento</b>	4	3	6	100	1000	7000
<b>Equipa Externa de desenvolvimento</b>	2	0	12	100	1000	10.000
<b>Custo de Desenvolvimento</b>	100.000€	100€ 15.000**€	1M€	50M€	500M€	15.000M€
<b>Investimento para a Produção</b>	20.000€	n/a	250.000€	10M€	500M€	15.000M€

\*Valor esperado \*\*Valor mínimo garantido para as fases posteriores à dissertação

## 2.1.4 O Projeto de Objetos do Quotidiano

O Projeto de Objetos do Quotidiano é um livro descritivo e menos técnico em comparação aos restantes que são científicos e prescritivos; natural visto focar-se na psicologia por de trás do projeto de conceção. Don Norman pertence à IDSA (Industrial Designers Society of America) e participou na conceção de vários princípios de design. Design é inglês para projeto, no entanto o significado na língua inglesa pode assumir outros significados dependendo do contexto. Para evitar confusão design é definido como a parte do projeto que responde às necessidades humanas de forma a proporcionar uma boa experiência de utilização em torno do produto. As várias categorias de design são:

- Design Industrial: serviço profissional de criar e desenvolver conceitos e especificações para otimizar a função, valor e aparência de produtos, para benefício mútuo entre consumidores e fabricantes.

- Design de interação: focado na interação entre pessoa e objeto/tecnologia. Melhora a percepção da pessoa em relação ao que pode ser feito, o que está a acontecer e o que acabou de acontecer.
- Design de experiências: prática de desenvolver produtos, processos, serviços, eventos e ambientes com o foco na qualidade da experiência num todo.
- HCD (Design Centrado na Pessoa): O projeto que responde diretamente às necessidades humanas, respeitando as habilidades e limitações da pessoa para quem o produto foi pensado.
- ACD (Design Centrado na Atividade): A prática de desenvolver produtos ou experiências à volta da atividade ou tarefa em vez da pessoa como é o caso do HCD.

O design de um objeto pode ser complexo e incompreensível, se a tarefa em questão também o é, por exemplo pilotar um avião (Norman, 2013). Os controlos requerem muitas horas de formação e é assim que deve ser. Mas se a tarefa for simples o objeto deve no mínimo permitir ao utilizador descobrir o que ele faz (através do conhecimento no mundo e na cabeça) sem necessitar de um manual ou formação. A atividade da EV não é complexa o suficiente para justificar alguns designs dos EEV do mercado. O bom design é, na verdade, muito mais difícil de notar do que o mau, em parte porque o bom design se adequa tão bem às nossas necessidades que o tornam invisível e servem-nos sem chamar a atenção para si. É difícil falar deste livro sem passar pela fotografia da cafeteira impraticável da figura 2-8, que é uma sátira dos produtos que não respeitam as necessidades humanas.

### Princípios Fundamentais das Interações

Ao longo do livro, destacam-se os princípios fundamentais necessários para eliminar problemas com o design e transformar as coisas do dia-a-dia em produtos agradáveis que proporcionam prazer e satisfação. A combinação de boas habilidades de observação e bons princípios de design é uma ferramenta poderosa, que todos podem usar. Ao interagir com um produto é necessário perceber como “trabalhar” com ele. Isto significa descobrir (*discoverability*) como funciona e quais as suas operações possíveis. Através da aplicação dos princípios fundamentais da interação é possível projetar “*discoverability*” num produto. Os seis Princípios Fundamentais da Interação são:

1. Possibilidades (*Affordances*), são as interações possíveis entre o objeto e a pessoa, não é intrínseco do objeto. Ex.: Chutar é uma possibilidade para uma bola caso a pessoa tenha pernas.
2. Sinalizadores (*Signifiers*), são quaisquer marcas, sons ou indicadores para comunicar o comportamento correto. Ex.: A pressão adequada para uma bola está escrita junto à válvula.
3. Mapeamento (*Mapping*), é a relação entre elementos de dois grupos. No design é normalmente a relação entre um grupo controlador e o controlado. Ex.: interruptores e as respetivas luzes que acendem.
4. Retorno (*Feedback*), é qualquer estímulo ou indicação que comunica o resultado de uma ação. Ex.: Vibração ao pressionar um ecrã tátil.
5. Constrangimentos (*Constraints*), fornecem restrições físicas, lógicas, semânticas e culturais orientando as ações e facilitando a interpretação.

- 
6. Modelos Conceptuais (*Conceptual Models*), explicações muito simplificadas de como algo funciona. Não tem de se ser completa ou exata, desde que seja útil. Ex.: Não existem pastas dentro de um PC, no entanto o ícone da pasta ajuda a pessoa a criar um modelo conceptual da função.



figura 2-8 Cafeteira para Masoquistas. O artista francês Jacques Carelman in his series of books *Catalogue d'objets introuvables* (Catálogo de objetos inencontráveis) apresenta exemplos deliciosos de objetos do dia a dia propositadamente impraticáveis ou mal formados. Uma das peças preferidas de Don Norman é esta cafeteira. Esta figura é uma fotografia de uma cópia da peça feita por um dos seus colegas na Universidade da Califórnia, San Diego (retirado de Norman, 2013).

### Análise da Causa (Root Cause Analysis)

A inovação advém em grande parte de melhorias incrementais a produtos vigentes, às vezes da combinação não óbvia de conceitos já existentes e muito raramente de ideias radicais e disruptivas que introduzem novas categorias de produto. Estas ideias disruptivas surgem quando o objetivo do projeto é reconsiderado questionando as necessidades através do uso sucessivo da pergunta – porquê? – até chegar à causa fundamental. Esta ferramenta chama-se de Análise da Causa (*Root cause Analysis*). O processo pode continuar até ao nível de abstração desejado. Ex.: porque é que alguém quer comprar uma broca de 6mm? Porque quer um furo de 6mm. Porque é que alguém quer um furo de 6mm? Porque quer pendurar uma moldura na parede – produto disruptivo: a moldura que não requer furação.

Através da análise da causa a necessidade fundamental pode ser manter as árvores saudáveis. Para atingir esse fim há uma infinidade de alternativas que não um EEV, por exemplo feromonas que impeçam a reprodução de uma determinada praga, certamente um produto disruptivo quando apareceu no mercado. Embora não se tenha descoberto o par necessidade fundamental/ideia disruptiva ter a mentalidade de questionar o que se está a fazer ao longo de todo o processo é valioso. Há uma ferramenta derivada da análise da causa: Os 7 Estágios da Ação; que é um conjunto de perguntas que formam uma lista de verificação (*checklist*), para assegurar confiança ao longo da atividade de projetar:

1. O que é que eu quero alcançar?
2. Quais são as sequências de ações alternativas?
3. Que ação posso tomar agora?

4. Como é que eu o faço?
5. O que é que aconteceu?
6. O que é que significa?
7. Isto foi aceitável/alcancei o meu objetivo?

### Experiência de Utilização

Muitos produtos projetados para pessoas com dificuldades particulares falham. Sam Farber decide projetar um conjunto de utensílios domésticos para a sua esposa com artrite. Mas em vez de utensílios apontados àquela dificuldade específica ele esforça-se para encontrar uma solução para todos (com ou sem artrite). O resultado foi uma série de utensílios básicos que viraram o mercado do avesso. Por exemplo os descascadores de vegetais costumavam ser ferramentas metálicas simples e desajeitadas e agora são coloridos e ergonómicos como se vê na figura 2-9. A Biostasia expressa o desejo de um dia vir a comercializar um EEV acessível para o indivíduo comum com um quintal ou pequeno terreno. O mercado dos EEV está numa fase parecida aos descascadores de vegetais desajeitados e há uma clara oportunidade de desenvolver uma solução para o inábil tornando-a melhor para todos.



figura 2-9 Três descascadores de vegetais. À esquerda está o mais tradicional: acessível, mas desconfortável; à direita está o descascador da OXO que revolucionou a indústria dos descascadores. Como consequência desta revolução vários descascadores como o representado no meio da Kuhn Rikon: colorido e ergonómico (retirado de Norman, 2013).

## 2.2 O Modelo de Projeto

Mediante a análise da atividade de projetar concebeu-se o modelo para o projeto desta dissertação. A dissertação passa-se na fase conceptual e, portanto, o modelo não contempla etapas como o projeto do pormenor ou o projeto da produção.

Para mitigar a falta de experiência o modelo do projeto é prescritivo, simples e flexível. Também foram utilizadas ferramentas para a consulta das soluções aplicadas com sucesso noutras áreas como o site [www.thomasnet.com](http://www.thomasnet.com) e para mecanismos o livro *Mechanisms and Mechanical devices sourcebook* (Sclater, 2011).

Os motores de busca utilizados para a pesquisa de patentes foram o <https://worldwide.espacenet.com> e o <https://patents.google.com>. Para a consultar artigos e publicações <https://www.b-on.pt>.

---

A principal bibliografia de consulta para o projeto paramétrico é o Shingley's Mechanical engineering design (Budynas et al., 2011).

O processo, os vários estágios, documentação resultante da atividade e decisões estão representados numa série de fluxogramas organizados da seguinte forma:

- Modelo do Projeto Conceptual, figura 2-10;
- Necessidades, figura 4-1;
- Requisitos, figura 4-3;
- Ideação, figura 5-1;
- Seleção, figura 5-11;
- Prototipagem, figura 6-2;

Os fluxogramas são representativos do método do *Stage-Gate*. Por ser a fase conceptual e por se tratar de um produto novo há a necessidade de navegar entre as várias etapas de forma não linear. Algumas adaptações do método possibilitam a retroalimentação: colocar mais estágios entre cada etapa de revisão; dois géneros de etapas de revisão, o satisfaz e a confiança, permitindo a retroalimentação entre alguns estágios e mais liberdade para refazer. Uma boa fase conceptual deixa a equipa confiante de que a totalidade (ou perto) do espaço das alternativas foi explorado. Começar o processo de explorar alternativas o mais cedo possível reduz consideravelmente a possibilidade de que a equipa encontre uma alternativa superior mais tarde no processo de desenvolvimento. Entre alguns estágios, especialmente quando há pouco conhecimento, basta haver satisfação para passar ao estágio seguinte podendo refazer os estágios anteriores mais tarde quando houver mais conhecimento. O Planeamento foi feito com recurso ao diagrama de Gantt, Tabela 2-4, e sofreu alterações com o conhecimento ganho ao longo do projeto. Planear e gerir eficazmente um projeto requer acesso a dados de um ou mais projetos semelhantes. Não tendo acesso esses dados o planeamento inicial foi feito a partir da intuição. Através do registo diário das horas e das tarefas do trabalho foi possível estimar cada vez com mais exatidão o tempo necessário à realização das tarefas e otimizar a sua afetação.

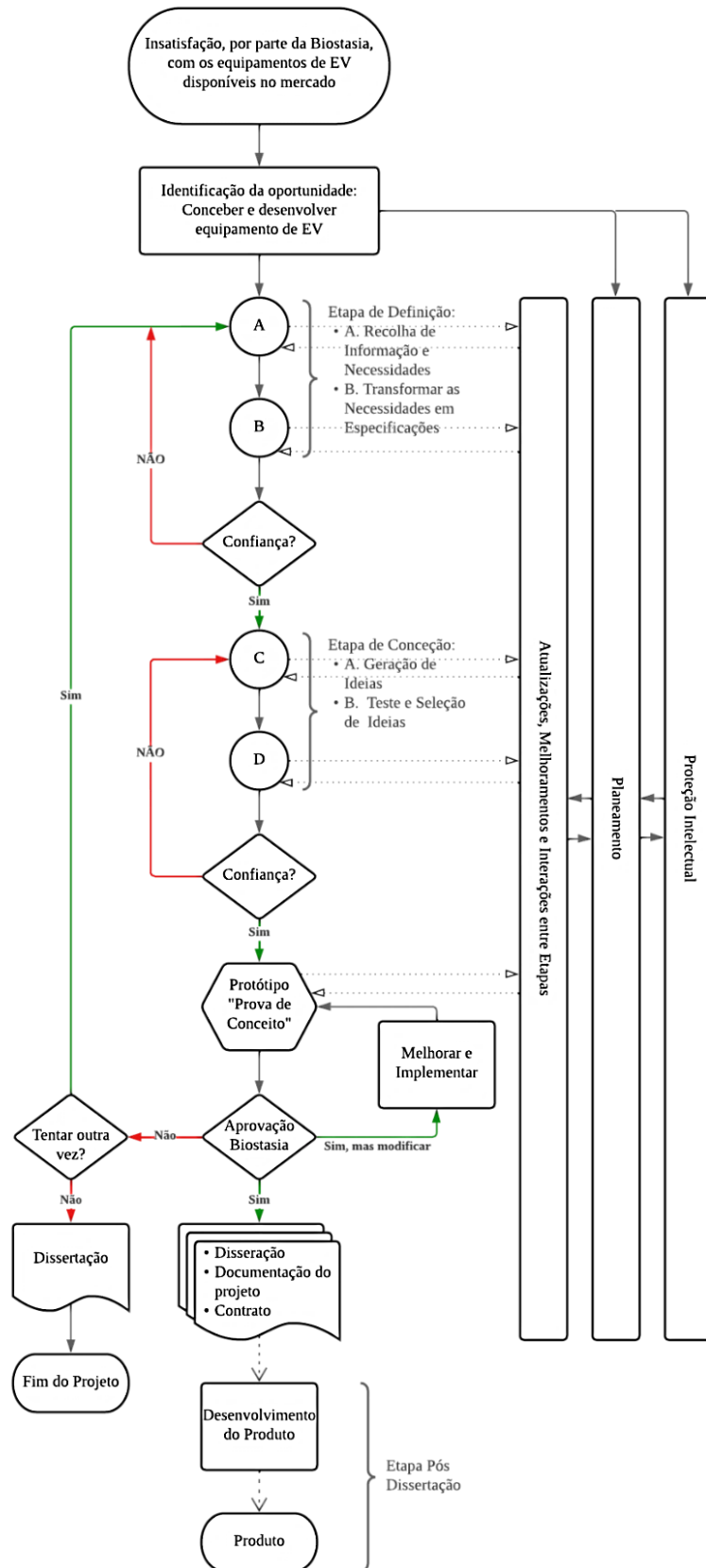
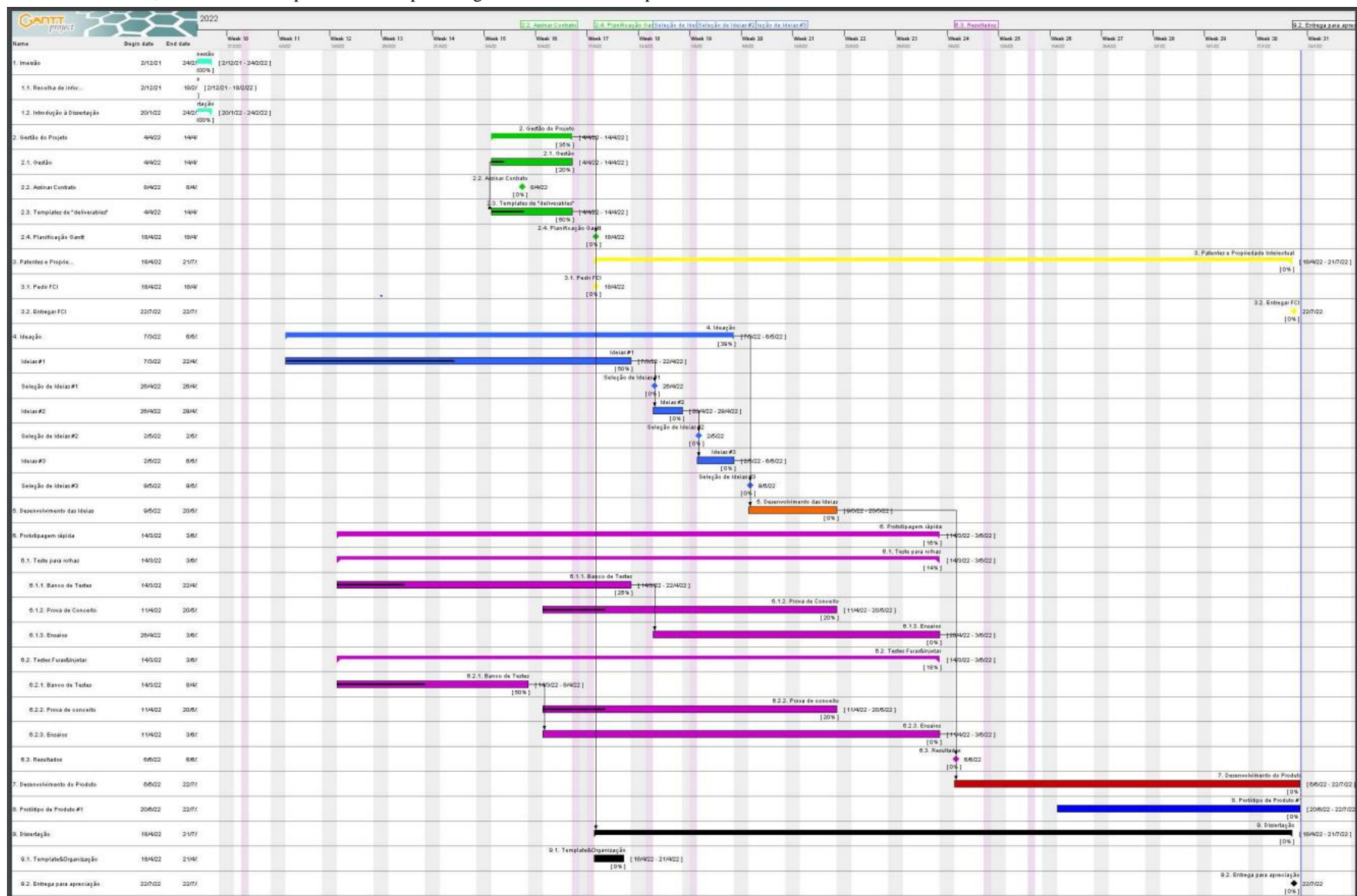


figura 2-10 Fluxograma do modelo prescritivo do projeto (A. Necessidades, figura 4-1; B. Requisitos, figura 4-3; C. Ideação, figura 5-1; D. Seleção, figura 5-11; E. Prototipagem, figura 6-2).

Tabela 2-4 Planejamento, diagrama de Gantt com as várias etapas do projeto. Cada etapa é decomposta em tarefas (da mesma cor) que por sua vez são decompostas em ações. Cada ação completada traduz-se numa percentagem de conclusão da tarefa, e cada tarefa completada dá uma percentagem de conclusão à etapa.





## PESQUISA

*Roubar ideias de uma pessoa é plágio, roubar de várias pessoas é pesquisa*

Neste capítulo encontra-se a apresentação e análise da informação selecionada durante a pesquisa bibliográfica e trabalho de campo referente a: mecanismos de transporte de nutrientes em árvores, endoterapia Vegetal, Biostasia (Atividade) e estudo do mercado com análise comparativa (EEV). O objetivo principal da pesquisa é a imersão no mundo da EV por Mi. Consiste na aprendizagem das teorias mais atuais na área da biologia vegetal assim como o estado da EV; de uma forma mais aprofundada, a atividade prática da Biostasia e de forma exaustiva, a análise dos equipamentos e patentes do mercado europeu, americano e australiano. Devido à escassez de literatura relacionada com a EV parte da informação foi cedida pela Biostasia. Todos os estágios do modelo do projeto têm por base a pesquisa. Para aliviar os capítulos seguintes toda a pesquisa encontra-se neste capítulo.

### 3.1 A Árvore

O equipamento vai ser utilizado em árvores e, portanto, é pertinente estudá-las. Atualmente os mecanismos biológicos da árvore ainda não são entendidos, sendo que as teorias em voga permitem prever com algum grau de exatidão o comportamento da árvore mesmo sem compreender verdadeiramente os seus mecanismos. O objetivo da pesquisa, acerca da biologia da árvore, é o de construir um modelo conceptual da árvore e colecionar referências bibliográficas para trabalhos futuros.

#### 3.1.1 Classificação

A Taxionomia é o ramo da biologia responsável pela identificação e classificação de todos os animais e plantas que habitam a Terra, com base nas diferentes características que estes partilham entre si. Existem vários sistemas para classificar árvores, cada uma com um propósito específico. No contexto do projeto olha-se para a classificação quanto ao: fruto, porte, madeira e casca.

## Fruto

As árvores são normalmente classificadas quanto ao fruto (se tem, ou não, a semente envolvida por um fruto). As gimnospermas têm fruto e as angiospermas não, ver Tabela 3-1.

A árvore ter fruto ou não é útil na escolha do PF a ser administrado por causa do consumo do fruto. No entanto esta informação não é revelante para construir o caderno de encargos do EEV, mas sabe-se que há uma correlação entre ter fruto, a complexidade do xilema e a hidráulica do xilema (tema abordado mais à frente).

Tabela 3-1 Taxionomia da planta em função de ter, ou não, fruto

	Gimnospermas	Angiospermas
<b>Etimologia</b>	Do grego gymnó “nu” e spermas “sementes”.	Do grego angeos “bolsas” e spermas “sementes”.
<b>Definição</b>	Plantas sem produção de frutos em que as sementes ficam completamente expostas (nuas).	Plantas cujas sementes são totalmente envolvidas pelos frutos (como em “bolsas”).
<b>Estrutura</b>	Raízes; Caudex; Cones; Sementes.	Raízes; Caudex; Flores; Frutos; Sementes
<b>Reprodução</b>	Sexuada com polinização pelo vento.	Sexuada com auxílio de agentes polinizadores.
<b>Exemplos</b>	Coníferas (pinheiros); Cicadáceas; Ginkgo biloba; Gnetófitas.	Frutíferas (laranja, maçã, melancia, etc); Floríferas (rosas, violetas, cravíneas, etc).

## Porte

O porte refere-se à dimensão da árvore. É a combinação da sua altura e diâmetro da copa como se observa na figura 3-1. A dosagem do PF é determinada pelo porte. Injeta-se 2ml por local de injeção, então o porte determina a quantidade de locais de injeção. Esta informação é mais relevante para a atividade da EV do que para o caderno de encargos do injetor. No entanto a pressão interna da árvore (a sua hidráulica) depende do porte, para além disso também pode influenciar a profundidade do local de injeção até encontrar o câmbio. Quanto mais profundo for o local de injeção mais energia na penetração.

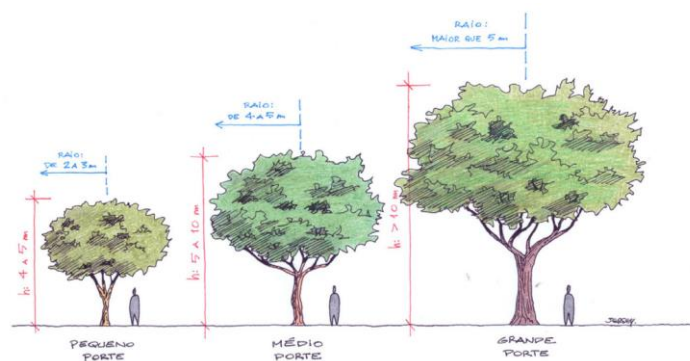


figura 3-1 Porte da árvore com uma pessoa para escala (imagem de Jersey, 2011)

## Madeira

A energia necessária para penetrar a árvore depende da dureza da madeira. Quanto mais dura for a madeira mais energia é necessária para penetrar o tronco e mais se desgasta o corpo penetrante. O método típico para determinar e classificar madeiras quanto à sua dureza é o teste de dureza de Janka (desenvolvido pelo investigador austríaco Gabriel Janka). Este método é muito semelhante ao teste de dureza de Brinell.

## Casca

A espessura da casca varia em duas ordens de grandeza entre as várias espécies conhecidas, desde 1 milímetro em algumas angiospérmicas juvenis a mais de 200 milímetros nas gimnospérmicas como o sobreiro. Há uma correlação forte entre a espessura da casca e a dureza da casca e da madeira, uma destas características aumenta em detrimento da outra. O comprimento do corpo vedante é limitado pela espessura da casca da árvore. As espécies de árvore com cascas mais espessas tendem a ter maiores variações na espessura e maior rugosidade, característica a ter em conta. Houve uma tentativa para catalogar as árvores mais comuns em território nacional classificadas por fruto, porte, dureza da madeira e espessura da casca, no entanto não se encontrou informação fidedigna para as últimas duas características. Depois da fase conceptual e antes do desenvolvimento do corpo vedante é importante completar os dados para a espessura da casa. Realça-se que a maior fatia financeira da atividade da EV da Biostasia vem do tratamento das árvores gimnospérmicas, especialmente os pinheiros.

## Modelo Conceptual da Árvore: Camadas

A secção de uma árvore é constituída por zonas concêntricas que, do exterior para o interior, são respetivamente: a casca (divide-se na casca externa ou cortiça e a interna onde está o floema), o câmbio vivo, o alburno (o xilema fica localiza-se do lado mais externo do alburno) e o cerne todas as zonas estão ilustradas na figura 3-2.

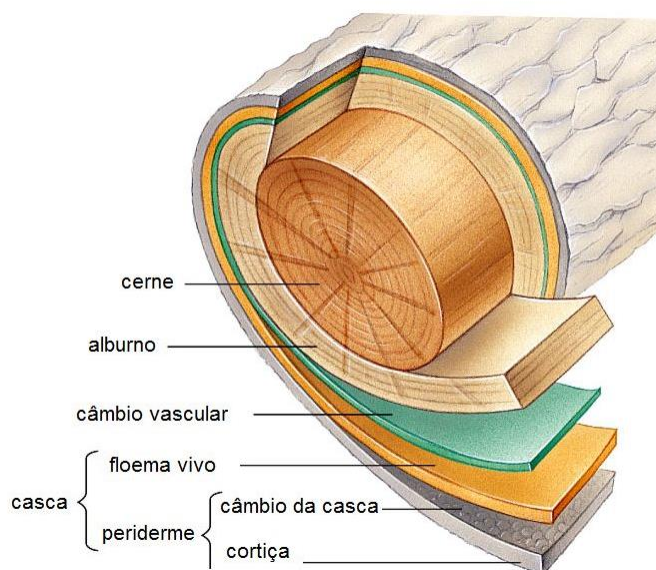


figura 3-2 Anatomia do tronco da árvore (imagem retirada de Lautert, 2015)

### 3.1.2 Compartimentação: Um Modelo Conceptual para Entender o Crescimento e Regeneração da Árvore

É importante perceber como se processa o crescimento e cicatrização das feridas em árvores. Montar um modelo conceptual do processo de compartimentação nas árvores pode melhorar a qualidade do projeto. A concessão do corpo penetrante visa diminuir o tempo de recuperação das feridas causadas pela EV em árvores. De acordo com o autor (Shigo) a abordagem de estudar as árvores a partir de secções é errada, isto porque os sistemas que constituem a árvore têm atividade em todas as direções. Ele chega ao ponto de dizer que a ideia de que o tronco da árvore é circular é falsa – só é circular porque o tronco cresce organicamente para ter maior resistência mecânica – e não serve para compreender a forma como a árvore cresce e se cura (Shigo, 1984). A figura 3-4 contém uma hiperligação ao vídeo onde Shigo partilha o seu modelo conceptual da árvore. As árvores são plantas altamente compartimentadas, lenhosas, perenes e constantemente a “escamar” a casca. De certa forma, as árvores são múltiplas plantas a viver em simbiose, porque o novo conjunto de células produzidas em cada período de crescimento envolve as células estabelecidas em períodos de crescimento anteriores. O desenvolvimento repetido de longos cones de células uns sobre os outros resulta no padrão concêntrico do tronco, dos ramos e das raízes.

O câmbio vascular é o gerador das células. As células formadas no lado externo do câmbio diferenciam-se e formam o floema, que transporta o fotossintato (seiva elaborada) para baixo a partir das folhas. As células formadas no lado interno do câmbio formam o xilema, que transporta água e outros minerais para cima. Existem dois tipos básicos de células no câmbio: aquelas com o seu eixo orientado longitudinalmente ao longo do caule e da raiz, e aquelas orientadas na perpendicular com o caule ou raiz. Algumas das células longitudinais diferenciam-se em vasos, tracoides, fibras e parênquima. O envelhecimento das células começa assim que elas são formadas. Os vasos e os tracoides tornam-se funcionais no transporte de água após a morte do seu conteúdo vivo, poucos dias ou semanas após a sua formação. As células de fibra têm paredes grossas (estruturais). As células de parênquima são de parede fina e contêm citoplasma vivo por alguns a muitos anos. As reservas de energia estão nas células parênquimas. O arranjo altamente ordenado das células numa árvore define os seus compartimentos.

As árvores não “escamam” os seus tecidos mortos ou feridos, elas formam barreiras entre os tecidos doentes e os saudáveis, daí o nome compartimentação. A compartimentação nas árvores é um processo de defesa no qual se formam limites para isolar os tecidos feridos e, assim, resistir à propagação de agentes patogénicos. As zonas de reação a feridas podem ser identificadas por observação da cor e forma, mas as importantes alterações bioquímicas podem ir muito além da zona visivelmente alterada, continuando dentro da madeira. Em coníferas, muitos investigadores descreveram o perímetro das zonas de reação como limites encharcados de resina. O processo real tem quatro etapas, duas delas na parte viva do lenho:

1. Zona de reação química (substâncias antimicrobianas produzidas por células saudáveis) nos tecidos em contacto no momento da lesão ou infecção, à medida que a árvore e os agentes patogênicos interagem;
2. Formação de fronteiras químicas e barreiras mecânicas (tecido celular protetor) após o momento da lesão ou infecção. O câmbio responde contruindo uma barreira entre os tecidos presentes no momento da infecção e os novos tecidos.

E as restantes duas etapas na casca (interior) que começam após a lesão ou infecção:

1. Formação de uma única fronteira química e barreira mecânica que pode ou não resistir à propagação dos agentes patogênicos;
2. Formação de consecutivas fronteiras químicas e barreiras mecânicas em resposta a surtos de infecção.

O CODIT (*compartmentalization of decay in trees*) é um modelo conceptual que ajuda a compreender o processo de compartimentação e é usado por arboristas e investigadores. No modelo do CODIT há a formação de 4 paredes, identificadas na figura 3-3, resistentes à propagação da ferida ou infecção, em dois estágios distintos de ação:

1. O primeiro estágio é representado por 3 paredes, incorporadas no tecido celular da árvore e, portanto, já lá estão antes do momento da ferida ou infecção: a parede 1 resiste à propagação vertical, a parede 2 resiste à propagação interior (radial) e a parede 3 resiste à propagação lateral (tangencial);
2. O segundo estágio ocorre após a infecção, quando a árvore começa a formar a parede 4, que separa a madeira presente no momento da lesão ou infecção da madeira nova que se forma posteriormente.



figura 3-3 Secção de uma árvore com zona em apodrecimento (*decay*). As barreiras são ordenadas pela sua resistência da 1 para a 4 (a mais resistente). Na fotografia observam-se as barreiras 2, 3 e 4 do CODIT; a barreira 1, responsável por travar a propagação vertical da infecção e apodrecimento da madeira, só é visível através de um corte longitudinal do tronco da árvore. (imagem de USDA Forest Service - Northeastern Area, USDA Forest Service, Bugwood.org)



figura 3-4 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo onde Shigo partilha as suas ideias e modelo conceptual da compartimentação da árvore. Hiperligação alternativa: [https://www.youtube.com/watch?v=o6U-6uTAm-o&ab\\_channel=ChristianP](https://www.youtube.com/watch?v=o6U-6uTAm-o&ab_channel=ChristianP)

### 3.1.3 Hidráulica do Xilema

O PF é eficaz quando injetado no sistema vascular da planta para ser transportado, processado e assimilado. A injeção tipicamente é administrada perto da região cambial da planta; parte do PF entra no floema, parte entra no xilema (o pretendido) e parte fica alojado entre a zona do câmbio e a casca. Estudar a hidráulica do xilema ajuda a compreender os fatores que influenciam a capacidade e velocidade de absorção do PF, assim como a relação do xilema com a compartimentação. Mesmo dentro da mesma árvore (modelo não circular) há muita variabilidade na profundidade onde se encontra o xilema. A Biostasia expressa vontade de implementar, numa futura iteração do EEV, um sistema para detetar o contacto entre o corpo penetrante e o xilema. Esta funcionalidade acrescentaria imenso valor à EV, dando origem a uma nova classe de EEV. Esta pesquisa é um bom ponto de partida para estudar o conjunto das características que permitem, ao hipotético sensor, identificar o xilema.

#### Anatomia Funcional e Ecológica do Xilema

O Xilema é o tecido vascular da planta que transporta água e minerais dissolvidos das raízes ao resto da planta; também fornece suporte físico. O tecido do xilema é formado por uma variedade de células especializadas conhecidas como os elementos traqueais (tracoides, elementos de vaso e fibras). Grosseiramente a estrutura do xilema apresenta uma relação com sua função no transporte de água por fluxo sob pressão negativa (mecanismo de coesão-tensão-adesão no transporte de água). Estes elementos são esqueletos das paredes celulares mortas – das células formadas do lado externo do câmbio – e formam estruturas semelhantes a tubos. Os Elementos de Vaso, nas árvores angiospérmicas, são as principais células condutoras de água (embora a maioria das espécies também tenha tracoides) e são caracterizados por áreas que não possuem paredes celulares primárias e secundárias, conhecidas como perfurações. Nos vasos a água flui relativamente desimpedida de vaso para vaso através dessas perfurações, em contrapartida há mais ocorrência de rutura e incorporação de bolhas de ar. As Fibras conferem a estabilidade estrutural do xilema e a Parênquima (células não especializadas de paredes finas) armazenam as várias substâncias fundamentais ao funcionamento da árvore. Na grande maioria das árvores gimnospérmicas (coníferas) o xilema é formado por células conhecidas como Tracoides. Os Tracoides são menos especializados do que os elementos de vaso e são responsáveis por ambas as funções de transporte de água e estrutural. A água que se move de tracoide para tracoide passa através de uma fina

parede celular primária modificada, conhecida por *pit membrane*, que atua como uma válvula para proteger a planta contra a entrada de bolhas de ar que causam embolismos (Hacke & Sperry, 2001).

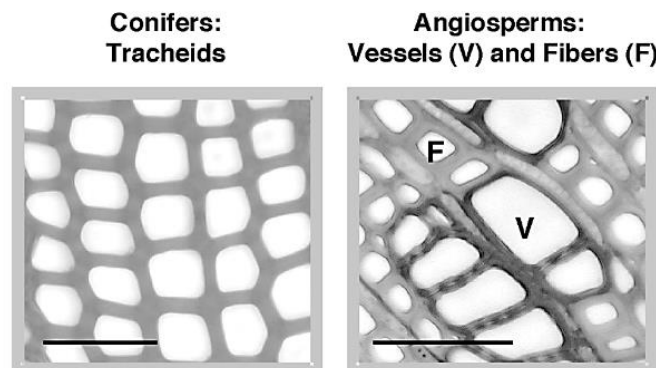


figura 3-5 Seções transversais do xilema numa árvore gimnospérmica à esquerda e angiospérmica à direita. As tracoides no pinheiro-bravo (conífera/gimnospérmica) são responsáveis pelo transporte de água e suporte estrutural do xilema. O xilema do ácer-negundo (angiospérmica) é mais especializado com os elementos de vaso (transporte de água) assinalados por V tingidos com cor mais escura e as fibras (suporte estrutural) assinaladas por F. As barras para escala têm 50 $\mu$ m de comprimento. (imagem retirada de Hacke & Sperry, 2001)

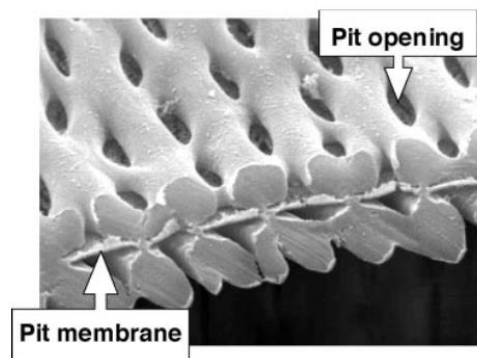


figura 3-6 Fotografia SEM mostra a parede secundária espessa nos vasos da Betula nigra, na qual se observa a *pit membrane*. (imagem retirada de Hacke & Sperry, 2001)

### Mecanismo de Tensão-Coesão do Transporte de Água no Xilema

A teoria da tensão-coesão-adesão, inicialmente desenvolvida por Dixon e Joly (1895) e mais tarde refinada por Pickard (1981), é o modelo atualmente mais aceite para explicar o movimento ascendente da seiva bruta (xilémica) na planta. Segundo a base conceptual da teoria, o motor do movimento da seiva bruta é a tensão (pressão hidrostática negativa). As moléculas de água que evaporam das folhas são substituídas por outras na fase líquida a montante, que são puxadas por forças capilares (figura 3-7). Estas forças surgem no menisco ar-água formada entre a água apoplástica nos poros das paredes das células mesófilas e o espaço de ar intercelular (figura 3-7 B-E). Cria-se assim um gradiente de potencial hidrostático que se propaga às colunas de água do xilema, desencadeando uma força de tensão que permite o movimento de água através do continuum solo-planta-atmosfera. Através da coesão entre moléculas de água, e à sua adesão às paredes celulares dos vasos xilémicos, forma-se uma coluna contínua que transmite a tensão desde as células do mesófilo até às raízes (Correia, 2014; Venturas et al., 2017).

A combinação das três forças – tensão, coesão e adesão, permite manter a corrente de transpiração, responsável pela geração de um déficit hídrico ao nível da raiz e consequente absorção da água. Utilizando uma analogia com sólidos, a coluna de água líquida age como uma corda, onde as suas fibras estão unidas por coesão, a ser puxada para cima sob tensão, através de um cilindro estreito que oferece resistência ao movimento descendente, adesão. O termo "tensão" é por analogia num sólido à pressão exercida num líquido. Estas forças equilibram a gravidade, o atrito e as forças capilares na extremidade do solo da "corda" hidráulica e que resistem à drenagem do solo (figura 3-7 1A). O mecanismo da tensão-coesão-adesão requer pressões significativamente negativas para funcionar. A força gravitacional é geralmente o menor contribuinte para o gradiente de pressão gerado dentro do xilema, resultando numa queda de pressão de aproximadamente  $-0,01MPam^{-1}$  (ex.:  $-0,3MPa$  numa árvore com  $30m$  de altura).

O fator mais importante é o potencial da água do solo (a referência), porque a planta não pode ter uma pressão xilémica acima do potencial de água da sua zona de enraizamento ativa. A pressão da seiva do xilema deve ser menor ou igual ao potencial total da água do solo porque a água de entrada é filtrada através das membranas celulares da raiz. Os potenciais típicos da água do solo que permitem a sobrevivência da planta variam de 0 em solos húmidos a menos de  $-10MPa$  em solos secos ou muito salinos. As pressões xilémicas mais baixas são geralmente encontradas em plantas enraizadas em solos salinos secos e atingem aproximadamente os  $-14 MPa$ . O fator de redução final para a pressão xilémica é o atrito, que prevê uma queda de pressão constante e igual à taxa de transpiração ( $E$ ) dividida pela condutância hidráulica do fluxo do caminho do solo para a folha. A queda de pressão por fricção é tipicamente entre 1 e  $2MPa$  em árvores sob solo molhado e condições de ar seco que maximizam a taxa de transpiração ( $E$ ). A queda de pressão por atrito é o único componente do gradiente de pressão do xilema que as árvores podem influenciar ativamente através do controlo da taxa de transpiração ( $E$ ) através da abertura ou fecho dos estomas (processo relativamente rápido). Os estomas fecham parcialmente quando o ar está mais seco para limitar a queda de pressão associada à taxa de transpiração ( $E$ ). Este fecho é acentuado em solo seco e, em condições de seca extrema do solo, é provável que os estomas se fechem completamente.

Os vasos do xilema nascem cheios de água, e devem manter-se cheios para transportar o fluxo de transpiração. Quando há incorporação de ar, os vasos incham aumentando o seu diâmetro até se tornar demasiado grande para aguentar o menisco de água-ar contra as pressões típicas da água no xilema (deixa de existir "adesão"). A pressão negativa máxima que o menisco consegue gerar ( $P_{min}$  relativo à pressão atmosférica) é determinada por:

$$P_{min} = -\frac{4 \tau \cos(\theta)}{D_c}$$

Onde  $\tau$  é a constante tensão superficial expressa em  $Nm^{-1}$ , o  $\theta$  é o ângulo de contacto entre a água e a parede do vaso (uma medida de aderência) e  $D_c$  é o diâmetro do vaso ( $m$ ). O sinal negativo da fração indica que a pressão da água é subatmosférica. Se a pressão descer abaixo de  $P_{min}$  há uma "falha capilar" e a coluna líquida recua. As microfibras celulose e hemiceluloses (os principais componentes da parede celular) são componentes hidrofílicos com  $\theta < 60^\circ$  e o diâmetro  $D_c$  dos vasos capilares do

xilema variam entre 1 e 10 nm. A tensão superficial da seiva xilémica é geralmente considerada igual ao da água pura  $\gamma$  de  $0,07275Nm^{-1}$  (a  $20^{\circ}C$ ). Ao considerar estes valores os poros típicos da parede celular podem gerar  $-14,5 \geq P_{min} \geq -145,5MPa$  (para 10 e 1nm, respetivamente). Em contrapartida, o diâmetro  $D_c$  típico das condutas principais do xilema varia entre 5 e  $500\mu m$ . Por isso, o menisco de água-ar num destes canais só seria capaz de suportar  $P_{min} \geq -0,03MPa$  no caso das condutas mais estreitas. A pressão xilémica é tipicamente mais negativa do que os  $-0,03 MPa$  gerados nas condutas principais do xilema. Assim sendo, a água escorreria para fora da conduta (figura 3-7 F-I). A conclusão destes cálculos é que a pressão necessária para o mecanismo da tensão-coesão-adesão não é gerada nas paredes do xilema, mas sim nas células mesófilas (localizadas nas folhas das plantas). Com este mapa mental do sistema de transporte das plantas as condições que maximizam a taxa de absorção nas plantas são o solo seco e a abertura dos estomas como observado na figura 3-7.

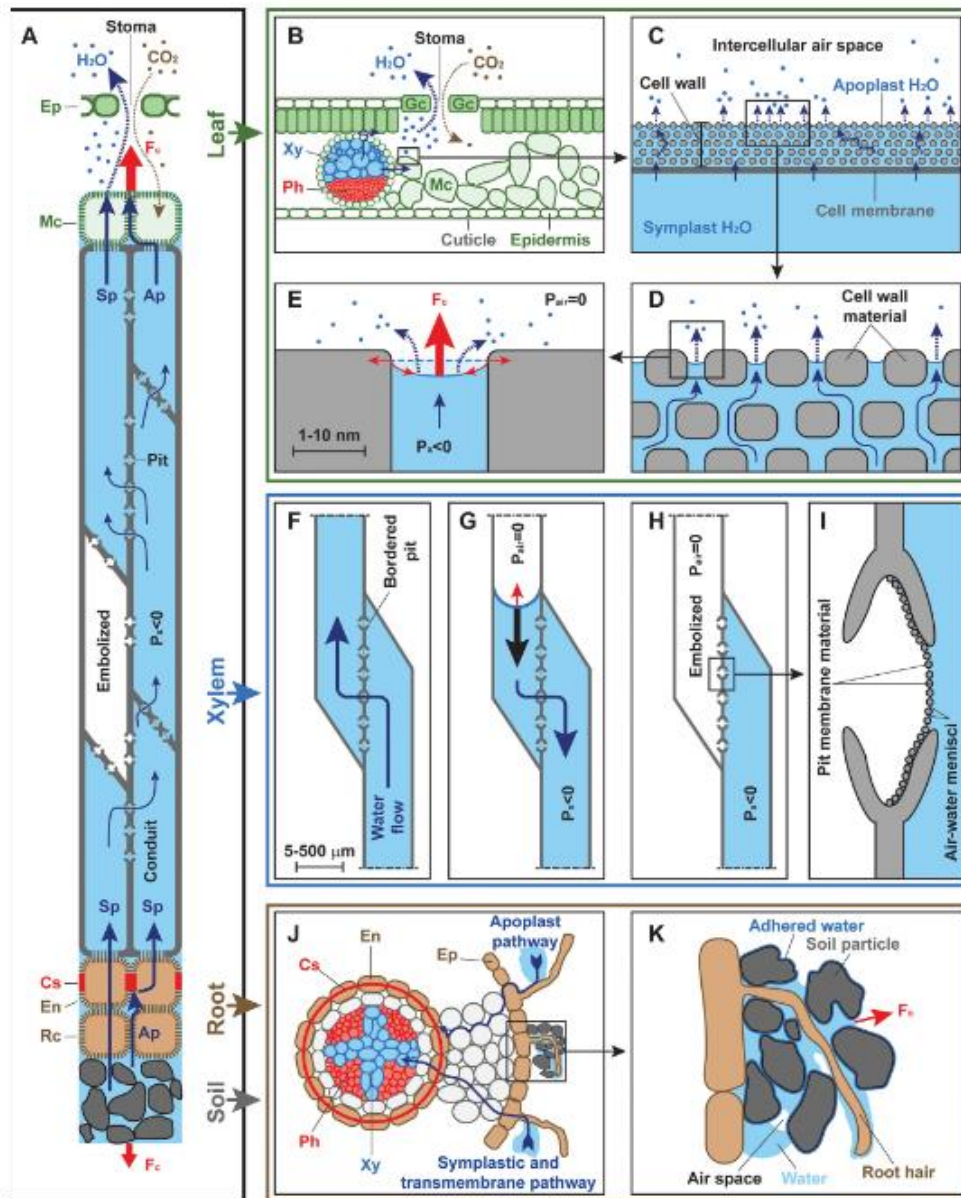


figura 3-7 Mecanismo da Tensão-coesão-adesão em plantas com xilema. (imagem retirada de Venturas et al., 2017)

## Limites e Modos de Falha do Mecanismo da Tensão-Coesão-Adesão

A água a 20°C ferve à pressão absoluta de 2,3 kPa. Assim, em relação a uma pressão atmosférica de 101,3 kPa, a água ferve a -99kPa (ou -0,099 MPa). Mesmo num solo húmido e sem transpiração, esta pressão negativa é induzida só pelo efeito da gravidade numa árvore com 10m de altura (figura 3-8) e mesmo as plantas curtas atingem pressões muito abaixo de -1MPa devido ao solo seco e à queda da pressão de atrito. Obviamente para o mecanismo da tensão-coesão-adesão funcionar, a ebulição tem de ser evitada, pelo que a água do xilema está numa fase líquida metaestável. Quando se refere à "pressão negativa", é importante sublinhar que se refere à fase líquida, porque uma pressão negativa na fase gasosa (isto é, abaixo do vácuo puro com densidade molecular zero) é de facto fisicamente impossível. Na fase líquida, a densidade molecular obviamente muda pouco com a pressão, daí a analogia de um líquido sob pressão negativa com um sólido sob tensão (Hacke & Sperry, 2001; Venturas et al., 2017).

Como é que é possível encontrar água líquida metastável no xilema? A ebulição é tipicamente desencadeada em locais de nucleação, tais como pequenas bolhas de ar, impurezas e zonas irregulares de contacto que desestabilizam as ligações de hidrogénio entre moléculas de água. A eliminação de tais locais de nucleação no xilema (ou qualquer outro sistema) inibe a mudança de fase e permite a existência da fase líquida metaestável. Existe um limite de pressão negativa mais baixo onde a "cavitação" (a mudança de fase do líquido para o vapor) ocorre pela quebra espontânea das ligações intermoleculares mesmo num líquido absolutamente puro. Para a água pura a temperaturas fisiológicas, este limite teórico inferior é inferior a -30MPa (mais negativo do que qualquer pressão xilémica medida nas plantas). A cavitação na conduta cheia de líquido é acompanhada por uma rápida, mas pequena, expansão de um vazio de gás que imediatamente relaxa a pressão negativa da seiva para perto de zero. Esta água de alta pressão é libertada para ser recolhida pelo tecido vascular circundante. À medida que a conduta drena, o vazio inicialmente pequeno do gás aumenta gradualmente até encher toda a conduta. Esta expansão é contida pelas *pit membranes* que são as válvulas do xilema. Caso contrário as plantas nunca poderiam ser longas, visto que a cavitação destabilizaria o vaso inteiro. Quando a conduta xilémica fica cheia de gás constitui uma "embolia" e deixa de transportar água. Os modos de falha (mecanismos causadores de embolismos) são:

- A Cavitação induzida por Seca Extrema; esta hipótese explica a embolia em condições de seca extrema. A conduta funcional do xilema aspira uma bolha de gás através de uma *pit membrane* que a liga a uma conduta vizinha que já está cheia de gás (figura 3-9 B). Há cavitação da bolha de gás e em seguida, expande-se até preencher a conduta, à medida que a água recua para o tecido adjacente. O processo é diferente entre coníferas e angiospermas devido à sua estrutura da *pit membrane* diferente (figura 3-9 B). As membranas das coníferas têm duas áreas diferenciadas: o toro, o círculo central que é muito denso e tem poros muito pequenos, e o margo, que é o anel altamente poroso externo que tem uma resistência muito baixa ao fluxo de seiva. Quando há um embolismo, a membrana é desviada contra a água contígua e o toro cria um selo com a borda do poço para evitar que o ar se espalhe pelo sistema vascular através da margo porosa (figura 3-9B). Nas plantas angiospérmicas a *pit membrane* é mais homogénea e, por conseguinte, a bolha de gás entra através do maior poro dentro da membrana (que pode ser um

poro pré-existente, ou um criado durante a deslocação da membrana) ou por rutura da membrana (figura 3-9 B). É por causa destas diferenças que a taxa de absorção do PF é superior em árvores de fruto.

- A Cavitação induzida por Temperaturas Geladas; este mecanismo não é comum em Portugal, no entanto é interessante para o mercado europeu. Os ciclos de congelamento também podem levar à embolia do xilema. De acordo com a "hipótese de expansão do degelo", à medida que a seiva congela, os gases dissolvidos são forçados a sair da solução e a formar bolhas nas condutas. Quando a seiva descongela estas bolhas podem dissolver-se de volta na seiva ou não. Se as bolhas de gás não se dissolverem de volta na seiva há cavitação, dá-se o embolismo e a conduta deixa de ser funcional (figura 3-9 C).
- Colapso da Conduta; as paredes da conduta do xilema devem ser reforçadas com lignina e uma camada secundária espessa para resistir ao colapso causado pela diferença entre a pressão atmosférica externa e a pressão negativa interna (figura 3-9 D). Quando a integridade das paredes é comprometida, por exemplo durante a EV, elas colapsam e a conduta deixa de ser funcional (figura 3-9 D).

As árvores são capazes de pressões negativas impressionantes que logicamente ajudam na absorção do PF. No entanto não é o que se observa na atividade da EV, onde algumas árvores absorvem quase de imediato o PF, outras levam horas e em casos mais raros oferecem tanta resistência à injeção que não é possível tratá-las. Quando há o colapso de uma conduta a pressão interna iguala a pressão atmosférica e o auxílio à absorção do PF desaparece. Para além disso quando o mecanismo da tensão-coesão-adesão é quebrado a gravidade atua desimpedida na coluna de água deixada para trás, que tem sensivelmente a altura da árvore. A pressão causada pelo volume de PF introduzido e a pressão da coluna de água na conduta colapsada agem em conjunto para expelir o PF injetado.

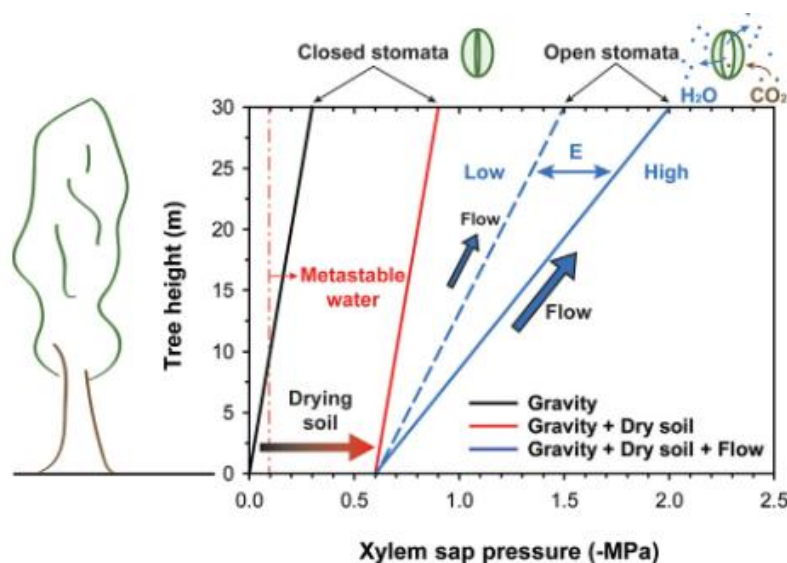


figura 3-8 Gradientes de pressão numa árvore. (imagem retirada de Venturas et al., 2017)

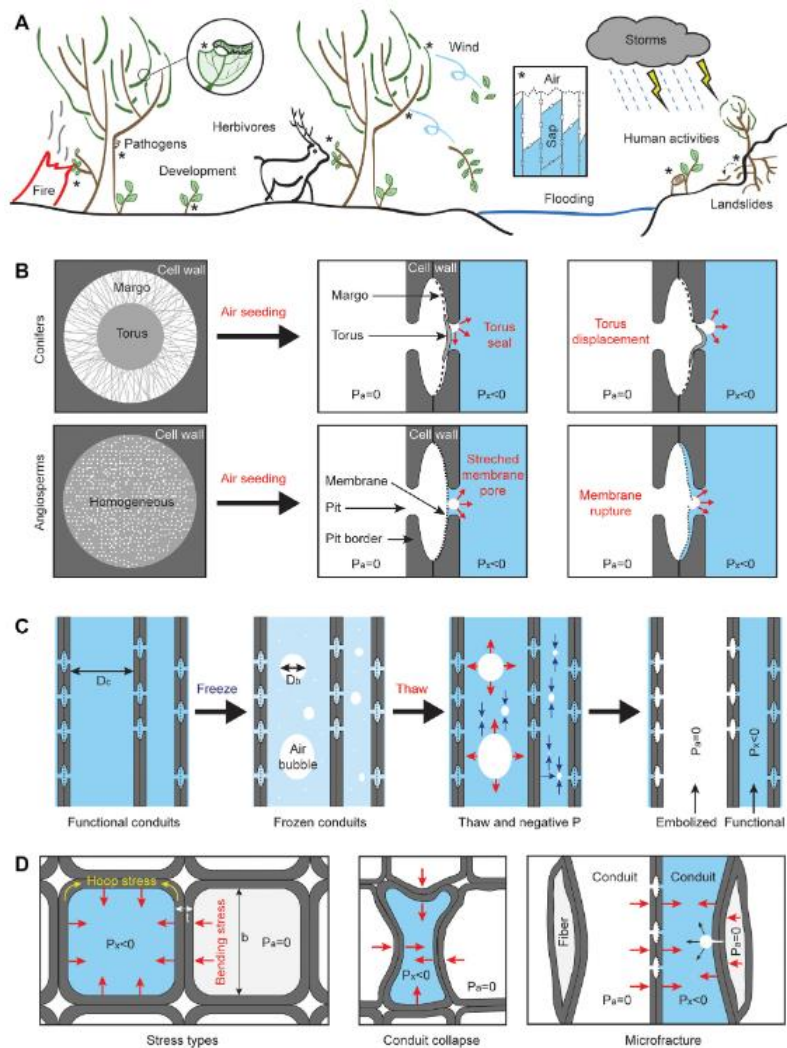


figura 3-9 Modos de falha do mecanismo da tensão-coesão-adesão. (imagem retirada de Venturas et al., 2017)

### 3.2 Biostasia e a Endoterapia Vegetal

Nos dias 24 de janeiro, e, 1 de fevereiro de 2022, por observação da atividade da EV com o EEV da ArborSystems™, observação das condições típicas de trabalho, entrevistas com alguns operadores da Biostasia e reunião com o CEO Carlos Gabirro, registou-se o processo habitual da EV, as queixas relativamente ao EEV, constrangimentos e sugestões para o projeto.

#### Modus Operandi Current

Cada equipa é constituída por dois técnicos operadores do EEV. Um responsável pela penetração do tronco e contagem das árvores e o outro pela injeção. O primeiro coloca as agulhas Wedgle® de comprimento apropriado na árvore (a válvula da agulha atua como vedante), espaçadas  $\pm 20cm$  ao longo do perímetro da árvore contidas na mesma secção e o mais junto ao pé possível, figura 3-10 1º a). Segue para a árvore seguinte, repetindo o processo, figura 3-10 2º b). O segundo acompanha fazendo a injeção das árvores já perfuradas figura 3-10 2º c). Quando o responsável pela colocação de agulhas nas árvores

fica sem agulhas, regressa à primeira árvore da fileira e começa a removê-las, figura 3-10 3°. Há medida que remove as agulhas faz a contagem das árvores já tratadas.

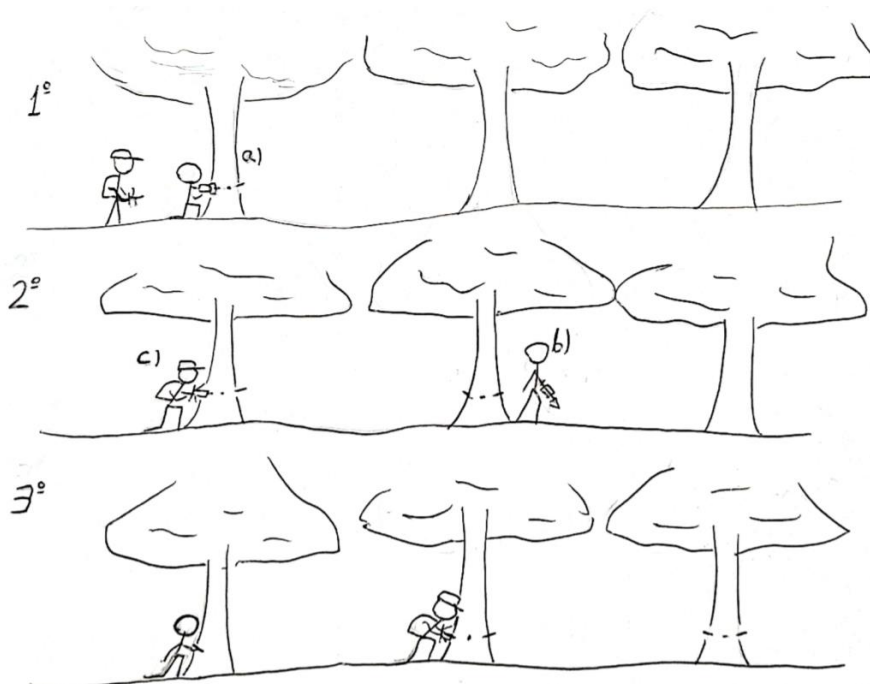


figura 3-10 - Modo de operação em condições normais (equipa de dois trabalhadores)

Trabalhador que coloca agulhas: máximo de 25 agulhas, martelo (na premissa de ter sensibilidade para o usar), berbequim com broca de 1,5mm. Trabalhador que injeta: mochila com saco flexível (capacidade para 2,5L de produto), avental, aparelho de Mi Direct-Inject® ArborSystems™.

Comentários: O tratamento eficaz requer 2ml de produto injetado por perfuração. É costume injetar-se 3ml para compensar perdas (Ex.: refluxo do produto quando se retira a agulha). Uma equipa eficaz em condições de trabalho ideais (acessos desimpedidos, elava taxa de absorção do PF, etc) é capaz de tratar 100 árvores/dia, ou seja, cerca de 5 minutos por árvore (na prática são 10 minutos porque são 50 árvores/dia/trabalhador).

### Queixas do EEV da ArborSystems™ e Sugestões

Neste subcapítulo enumera-se e descreve-se as queixas relacionadas com o equipamento da ArborSystems™ (fator humano e mecânico), assim como os vários constrangimentos ambientais do exercício da EV.

### Dobrar e Partir Agulhas

Penetrar o tronco sem deformação plástica ou rutura da agulha depende da precisão e sensibilidade humana:

- Se a agulha não for martelada, perpendicularmente ao tronco, vai deformar. O aço utilizado é dúctil e a agulha é fina e com os sucessivos ciclos de deformação a agulha acaba por ceder à fadiga. O ponto crítico é a ligação soldada agulha-acoplador, figura 3-11;

- A agulha deve ser colocada com impactos repetidos do martelo, aplicando pouca força por impacto. O peso da perpendicularidade (agulha em relação ao tronco) na falha da agulha, aumenta com a força do impacto;
- A EV é uma atividade fisicamente esgotante e mesmo um trabalhador com sensibilidade e formação acaba por cometer erros quando está cansado;
- Os primeiros lotes de agulhas eram de boa qualidade. Esta tem vindo a diminuir ao ponto de durarem apenas semanas, e em alguns casos, dias. O fornecedor diz ser normal e que, “numa semana de utilização as agulhas já se pagaram”.



figura 3-11 Fotografia da agulha injetora Wedgle® utilizada durante a atividade da Biostasia. Ocorreu a falha de separação da cânula do cubo; apurou-se como causa mais provável a fraca qualidade da brasagem. As agulhas custam  $\pm 30\text{€}/\text{uni}$  (o custo da agulha prende-se ao seu comprimento) e duram entre 1 dia e 1 semana de atividade.

### Perder Agulhas e Equipamento

As agulhas são pequenas, as árvores muitas, é natural perderem-se agulhas durante a atividade da EV. Algumas escapam ao olhar e são esquecidas. Outras estão colocadas de forma atípica e passam despercebidas à inspeção do trabalhador responsável por recolhê-las. O limite de agulhas por equipa é de 25. Com mais agulhas a produtividade aumenta marginalmente, mas a probabilidade de perder agulhas aumenta exponencialmente. As 25 agulhas foi o equilíbrio encontrado, através da experiência, para maximizar o lucro da atividade. Também já se perderam martelos e outros equipamentos volumosos. Alguns ficam esquecidos no terreno, outros foram roubados.

### Utilizar Berbequim em vez do Martelo de Inserção

A alternativa ao martelo de inserção, para o operador do EEV que não tem a sensibilidade para martelar as agulhas, é o berbequim. É usada uma broca de aço para madeira com  $\text{Ø}1,5\text{mm}$  para furar o tronco no local da injeção. A agulha é então colocada diretamente com o EEV, que entra com um aperto de  $0,5\text{mm}$  (furo deixado pela broca é de  $\text{Ø}1,5\text{mm}$  e agulha tem um diâmetro de  $\text{Ø}2\text{mm}$ ). Teoricamente furar com o berbequim é quase tão rápido como martelar as agulhas. No entanto um furo com  $\text{Ø}1,5\text{mm}$  é pouco visível no tronco de uma árvore. Por esta razão, não se pode furar o perímetro todo numa única operação. Efetivamente perde-se tempo com o berbequim, mas é preferível a inviabilizar agulhas que custam  $30\text{€}/\text{uni}$ .

### Velocidade de Injeção & Número Insuficiente de Perfurações por Árvore

É possível ferir a árvore se a velocidade e a pressão com que se injeta o PF for demasiado elevada. Os  $3\text{ml}$  de PF, quando injetados demasiado rápido, levam pressão suficiente para separar a casca do

---

lenho. Por vezes não é respeitado o espaçamento de  $\pm 20\text{cm}$  entre perfurações e o número de injeções por árvore é insuficiente, levando a um tratamento ineficaz da árvore.

### Armazenamento Incorreto do Injetor

A lavagem dos equipamentos consiste em injetar água no sentido oposto ao da injeção (retira-se a válvula de retenção esférica); este processo demora algum tempo para ser eficaz (o produto biológico é muito viscoso). Quando a lavagem é feita à pressa e o equipamento armazenado com restos de produto (que é ligeiramente corrosivo), danificam-se as válvulas, borrachas e outros componentes internos.

### Componentes Normalizados Norte-Americanos

Quer comercializar-se uma solução com componentes normalizados ISO. A solução atual tem os acopladores rápidos hidráulicos com a norma norte-americana. As inscrições nos acopladores: PASW-217 e PASW-248 SS (figura 3-12) são referências internas da empresa ArborSystems™ e não a norma do componente.



figura 3-12 Fotografia do acoplador com engate rápido CR superior do EEV Direct-Inject® ArborSystems™.

### Mala de Transporte, Reservatório e Mochila

A mala de transporte do EEV é demasiado volumosa e pesada. Não é eficaz durante a atividade da EV por causa das condições típicas do terreno. A estória repete-se com os reservatórios de 120ml, que vêm com o EEV, e a mochila com reservatório de alta capacidade, figura 3-13, que pode ser adquirida à parte por um custo extra. O reservatório de 120ml não tem capacidade para um dia de utilização; o bocal para o enchimento tem um diâmetro pequeno; o enchimento é demorado (tem de ser feito com a seringa incluída no EEV). O produto eleito é o biológico, no entanto é muito viscoso e solidifica a 16°C. Quer-se isolamento térmico na mochila ou equivalente para manter o produto líquido e à viscosidade de trabalho.



figura 3-13 Mochila com reservatório High Volume Kit da ArborSystems™.

## Desgaste dos Componentes

Válvula esférica; no interior do acoplador rápido da agulha (no EEV), encontra-se uma válvula esférica igual à da figura 3-14 que impede o refluxo do PF, antes e após a injeção (durante a injeção a diferença de pressões, favorável no sentido injetor-árvore, impede o refluxo). Esta peça desgasta-se com facilidade e é substituída com frequência. Ainda não se apurou, com confiança, a(s) causa(s) do desgaste, mas provavelmente pequenas partículas sólidas alojam-se entre a esfera e a caixa da esfera. Às vezes limpar e dar um “jeito” na esfera é suficiente para arranjar o componente. Acoplamento rápido da agulha; o chanfro no corpo do acoplador rápido da agulha, identificado na figura 3-15 sofre muito desgaste com os impactos do martelo (nos lotes recentes mais recentes a qualidade diminuiu). A ligação falha quando o acoplador do martelo desliza em relação à agulha na operação de retirar a agulha do tronco. O-ring; o pistão tem um O-ring, identificado na figura 3-16, que isola o lado com PF do lado seco do cilindro. O produto químico corrói o O-ring. A fricção natural da operação (peças deslizantes) danifica a borracha. Tirante; é utilizado pela Biostasia para passar um mosquetão como na figura 3-17, ou encaixe em forma de “S” permitindo que o equipamento seja transportado à cintura. Os tirantes não foram dimensionados para este tipo de uso e apesar de incomum, já se deformaram alguns.



figura 3-14 Fotografia da válvula dianteira direcional com esfera.

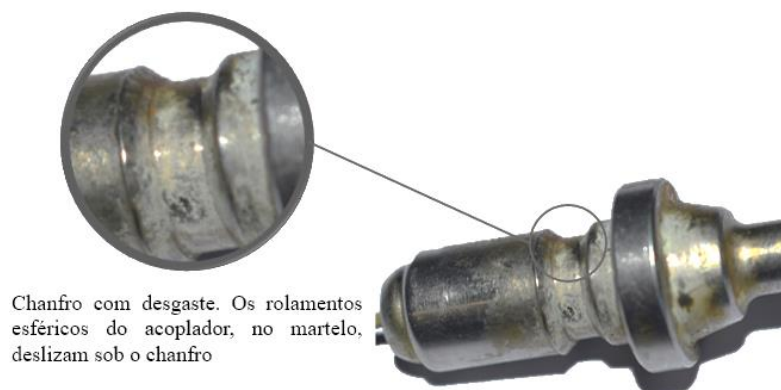


figura 3-15 Fotografia da agulha Wedgle® onde se observa desgaste no chanfro, zona engelhada.



figura 3-16 Fotografia do subconjunto do pistão.



figura 3-17 Fotografia do EEV a ser transportado pelo tirante.

### Corpo Vedante (Ambiente e Custo)

As rolhas de uso único são fabricadas em plástico e borracha. Elas permanecem no tronco até serem expulsos pela árvore (semelhante ao que acontece nos humanos com corpos estranhos nas feridas), caem no chão e poluem o meio. Custam  $\pm 0,33\text{€}/\text{uni}$  e com cada árvore a necessitar de 3 unidades o custo em consumíveis sobe em  $1\text{€}/\text{árvore}$ . Atualmente as rolhas não são utilizadas, maioritariamente pela razão ambiental. No entanto a rolha para além de vedar o local de injeção, atuam como uma barreira mecânica para agentes patogénicos diminuindo a probabilidade de infeções. É importante projetar uma alternativa.



figura 3-18 Fotografia de uma rolha retirada do WedgeChek™ Punch Strip.

### Martelos Mais Leves

Os primeiros martelos de inserção eram mais pesados. Com a subida do custo das matérias-primas os martelos novos são mais leves. O peso auxilia na destreza da sua utilização. A qualidade geral do martelo também diminuiu, como se verifica nos rolamentos do guiamento.

### Pequenas poeiras inevitáveis inutilizam o equipamento

Se o injetor ou as agulhas caírem no chão, é suficiente para inviabilizar o equipamento. No terreno não se consegue limpar o equipamento. Se pequenas partículas chegarem às válvulas, acopladores ou corpo principal, pode acelerar o desgaste dos componentes. A simplificação de alguns dos caminhos hidráulicos do PF pode contribuir para o aumento da fiabilidade.

### Obstruções ao Fluxo de Produto & Incorporação de Ar

O PF biológico é muito viscoso, necessitando de um sistema com menos obstruções ao fluxo (este EEV está projetado para PF's químicos de baixa viscosidade). A viscosidade elevada faz com que pequenas bolhas de ar adulterem a dosagem calibrada. Pelo ruído e resistência do pistão é possível sentir quando há ar no sistema, mas requer sensibilidade por parte do operador.

### Condições Típicas das Árvores no Terreno

O risco de queda é maior quando o solo está escorregadio e sobretudo se a árvore está num terreno inclinado, figura 3-19 A. O EEV tem de ser leve e compacto para não afetar a destriedade do operador. É comum, em algumas espécies, o tronco bifurcar junto ao pé da árvore como ilustrado na figura 3-19 B. A injeção é feita numa zona afastada e escolhe-se injetar acima da bifurcação (em ambos os troncos) ou abaixo (preferível, mas nem sempre possível). As ramificações e folhagem junto ao pé da árvore, como ilustrado na figura 3-19 C, dificultam o acesso ao tronco, causando embaraço na operação. O EEV tem de ser leve e compacto para não afetar a destriedade do trabalhador. Uma situação equiparável é quando há vegetação densa (ex.: arbustos circundantes decorativos em meio urbano) junto ao pé da árvore, como ilustrado na figura 3-19 D.



figura 3-19 Situações comuns, causadoras de embaraço para o operador do EEV: A. Plano inclinado; B. Bifurcação junto ao pé da árvore; C. Ramificação até ao pé da árvore; D. Vegetação rasteira cobre o pé da árvore.

### 3.3 Equipamentos, EEV

Há uma grande escassez na literatura científica relacionada com os EEV; especialmente estudos de otimização da morfologia do corpo penetrante e do corpo vedante (excluíram-se os estudos realizados dentro das empresas que comercializam os próprios EEV estudados por razões óbvias). A injeção em tronco de árvore, apesar de entrar em uso há mais de 50 anos, não sentiu o desenvolvimento paralelo.

Existem várias soluções distintas, mas não um sistema científico de classificação. Neste subcapítulo concebe-se um sistema de classificação prático, baseado nas necessidades e experiência da Bios-tasia, em estudos, publicações científicas e nas discussões atuais. Analisam-se comparativamente os vários EEV e, por conseguinte, são classificados segundo a valorização das funções que oferecem, Tabela 3-3. Listam-se as patentes encontradas no mercado norte-americano, europeu e australiano. O mercado chinês também tem soluções para EEV mas a tradução fraca (ou por vezes a falta dela) deu lugar a incertezas quanto ao funcionamento dos EEV e o que as patentes protegem. Esta análise das patentes está no subcapítulo 3.3.6.

Como o objetivo inicial era melhorar o EEV Direct-Inject® da ArborSystems™, e mais tarde evoluiu para conceber uma solução rival com melhor produtividade, estudou-se escrupulosamente o EEV referido. No subcapítulo anterior, está ilustrado o modo de operação, as queixas e sugestões de melhoria para este EEV; a figura 3-21 e **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** ilustram a primeira vertente do trabalho de investigação deste EEV. Há ainda um dicionário visual que contém todos os EEV que sejam mencionados ao longo do trabalho, que pode ser consultado no Apêndice A Dicionário Visual.

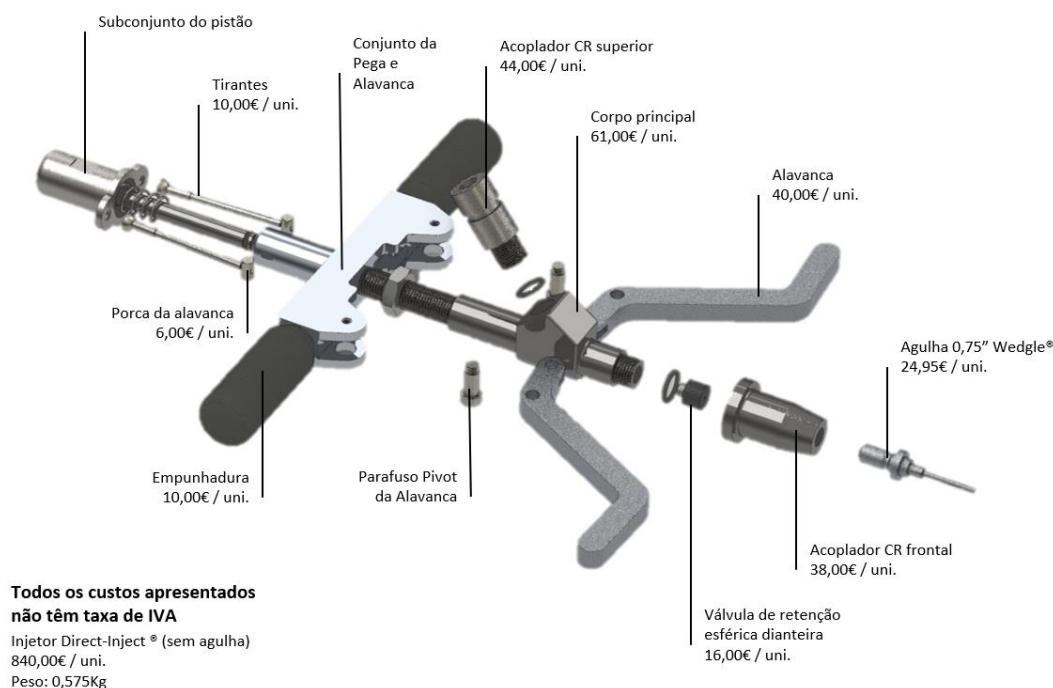


figura 3-20 Vista explodida do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ com alguma informação sobre custo e peso. A imagem é uma renderização foto realista do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ (Visualize do SolidWorks). A alavanca, tal como os restantes componentes, foram modelados seguindo o processo referido na figura 3-21.



figura 3-21 Processo de engenharia reversa, Scan to 3D, utilizado para obter um modelo paramétrico em computador dos vários componentes do EEV Direct-Inject® da ArborSystems™ com o SN:1020K4539. Na imagem observa-se o processo aplicado à alavanca do EEV. A nuvem de pontos foi obtida com o EinScan-SE.

### 3.3.1 Corpo Penetrante

#### Estrutura da Cabeça da Agulha de EV

O estudo de Shang, Liao, et al., 2011 está traduzido de um dialeto chinês para inglês e alguns aspectos importantes ficaram um pouco crípticos, mas perceptíveis. Essencialmente fala nas vantagens e desvantagens dos tipos de agulhas mais comuns e em como se conseguiu projetar com sucesso um novo tipo de agulha representada na figura 3-23. Aparentemente consegue selar a ferida de forma inteligente, aproveitando as propriedades materiais da madeira como rolha, ou então uma rolha expansível é inserida através da agulha numa única operação (não ficou exatamente claro). Os resultados mostram grandes ganhos económicos com o grande aumento na produtividade da atividade.

Seria de esperar que de uma descoberta tão grande resultasse um EEV revolucionário e o desenvolvimento desta agulha. Depois de pesquisar (embora de forma não exaustiva) não se encontrou nenhum EEV no mercado com este conjunto de características. No entanto há uma patente, figura 3-23 (Shang et al., 2019) e um estudo não traduzido deste EEV (Shang, Tan, et al., 2011). Apesar de tudo, o estudo beneficiou de financiamento independente, foi realizado numa universidade pública de Nanjing e apresentado numa conferência internacional de engenharia. Levando a crer que o erro foi meu em não encontrar o produto comercial ou pelo menos mais informação.

Também há dados com qualidade da força necessária para “empurrar” a agulha no tronco da árvore, medidos com uma CMT5105, com variação do diâmetro, figura 3-22, profundidade e velocidade. Estes dados são úteis na fase de conceção para avaliar a ideia “empurrar” e também se ganha sensibilidade para os valores de energia esperados para penetrar um tronco.

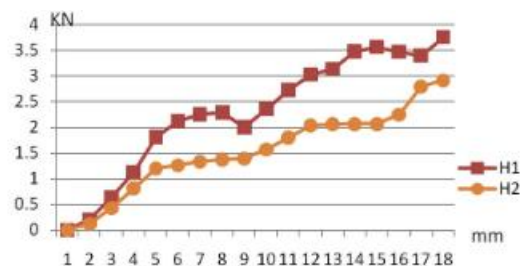


figura 3-22 A relação entre a força necessária para inserir a agulha e o seu diâmetro. Agulhas: H1 =  $\varnothing 7,8mm$ ; H2 =  $\varnothing 6,6mm$ , eixo horizontal é a profundidade a que a agulha é empurrada. (retirado de Shang, Liao, et al., 2011)

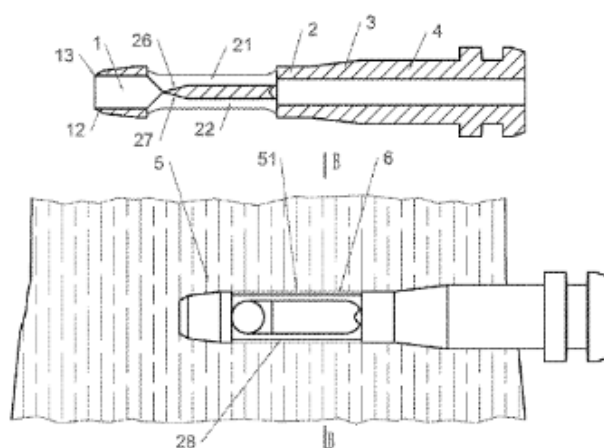


figura 3-23 Desenho principal da patente deste novo tipo de agulha (Shang et al., 2019)

### Formato Lenticular do Corpo de Injeção

O EEV da BITE® utiliza as agulhas com uma cânula lenticular (forma quase elíptica) da figura 3-25. Esta forma é mais eficiente a penetrar o tronco da árvore e mais eficaz, através de um efeito venturi figura 3-24, na injeção e velocidade de absorção natural (gotejamento) do PF (Montecchio, 2013b). Note-se que o diâmetro “real” desta agulha depende da orientação com que é inserida. Quando é utilizada de forma correta o diâmetro considerado é o mais pequeno uma vez que a quantidade de fibras afetadas contabiliza-se na direção horizontal (explicado nos subcapítulos 3.1.2 e 3.1.3). Com este formato há a preocupação adicional na orientação da agulha (requer mais precisão do operador e portanto mais envolvimento humano) e a maior área de secção dificulta o projeto de um corpo vedante. Por outro lado é possível aumentar a área de secção resistente da canula da agulha sem potencialmente causar mais dano à árvore.

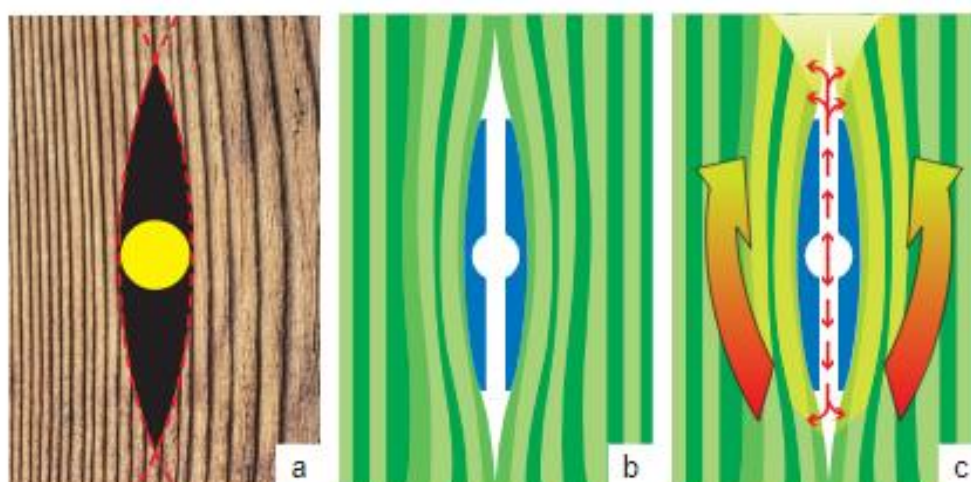


figura 3-24 Ao introduzir um objeto de qualquer forma num grupo de fibras, estas separam-se de acordo com uma geometria lenticular biconvexa (a). Diferentemente das agulhas existentes, uma lâmina lenticular separa as fibras com o mínimo de fricção e danos (b). A forma da lâmina causa uma redução temporária da área da secção dos vasos xilémicos, produzindo um efeito Venturi: as pressões da seiva diminuem e a sua velocidade aumenta. Quando a velocidade natural da seiva é substancial, os líquidos provenientes de uma fonte externa são absorvidos pela árvore (c) (imagem retirada de BITE®, 2020)



figura 3-25 Lâminas lenticulares com comprimentos de 35mm, 53mm e 63mm respectivamente. A secção da lâmina lenticular é quase elíptica sendo o seu diâmetro menor de 3,5mm. (imagem retirada de BITE®, 2020)

### Comparação das Feridas Causadas por Métodos de Perfuração VS Penetração

Existem múltiplas variáveis com influência na capacidade de recuperação das árvores após a EV por injeção. Estudaram-se as feridas causadas por perfuração (brocas de 4,4mm a 9,5mm) (Aćimović et al., 2016) com e sem aplicação de rolha vedante (Arborplug®), e por penetração (local de injeção lenticular de 1 × 28mm, semelhante à ferida causada pelo EEV Bite®). A experiência representada na figura 3-26, acompanhou durante 1 ano e 3 meses a compartimentação/regeneração (pelo modelo conceptual CODIT) das feridas. Apesar da penetração por Mi ( $\phi_{m\acute{a}x.} \leq 2,0mm$ ) não ter sido testada os resultados são úteis para o projeto. Os resultados do estudo, da figura 3-27, mostram que quanto menor o diâmetro da broca menor o tempo necessário para a árvore recuperar e menor o tamanho da ferida. Com a rolha vedante o tempo necessário para a recuperação aumentou. No entanto, a rolha impede fungos e outros agentes patogénicos de entrarem na árvore e continua a ser recomendado. A rolha foi colocada para além da casca e dentro do lenho, o que não é de todo ideal. Ao inserir um corpo estranho além da casca, pelo CODIT, entende-se que a árvore vai compartimentar toda a zona em contacto com a rolha (zona que vai apodrecer). Se a rolha for colocada apenas na casca combina-se o benefício higiénico da rolha com a recuperação mais rápida observada em feridas sem rolha. Apesar da grande diferença dimensional entre as brocas e a lâmina lenticular, a ferida que levou menos tempo a recuperar foi a causada pela lâmina lenticular. As tracoídes são elementos esguios e compridos que seguem a direção vertical do tronco, logo se a lâmina lenticular for alinhada corretamente na direção das fibras o número de tracoídes afetadas é proporcional à espessura da lâmina e não à sua largura. Como visto anteriormente uma vantagem na utilização do formato lenticular é o ganho na resistência mecânica da agulha injetora sem prejuízo no tempo de recuperação da ferida. Note-se que o estudo analisou apenas indicadores visuais exteriores da ferida, no entanto pelo CODIT, as marcas exteriores podem não contar a história completa do que se passa no interior da árvore.

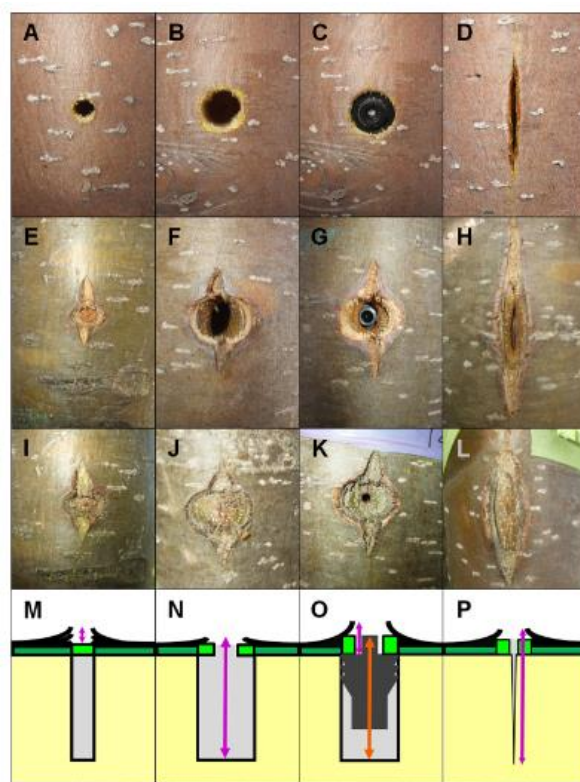


figura 3-26 Locais de injeção, em troncos de árvore, feitos a 14 de abril de 2012 (A-D) e avaliadas quanto à recuperação a 20 de julho de 2012 (E-H), 14 de abril de 2013 e em 20 de julho de 2013 (I-L). (A) broca de 4,4 mm, (B) broca de 9,5 mm, (C) 9,5 mm com rolha de silicone e plástico (Arborplug® no.4, ArborjetInc) e (D) lâmina lenticular (1x28mm). (M-P) Esquemas do local de injeção. (imagem retirada de Acímović et al., 2016)

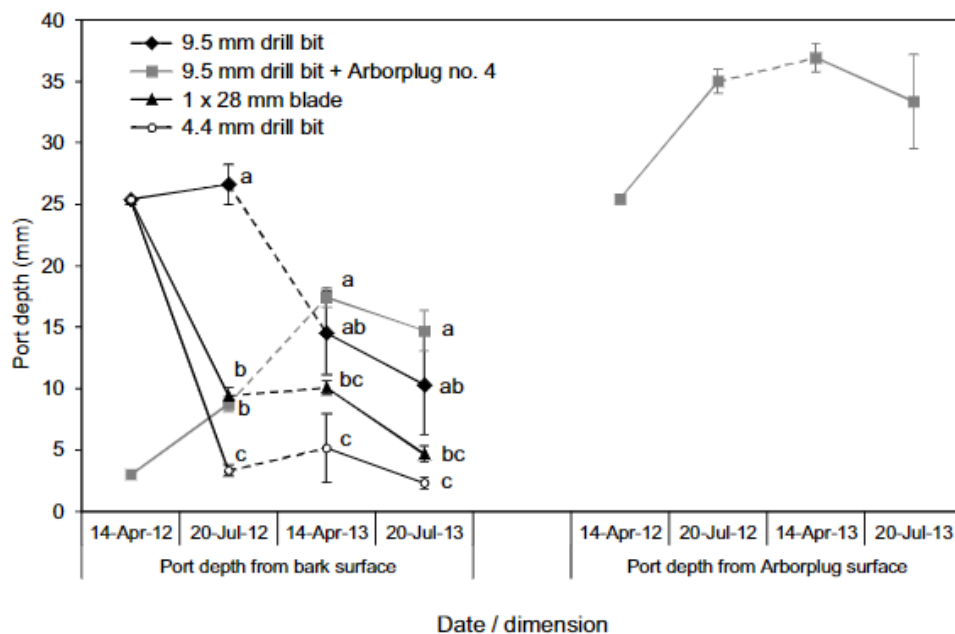


figura 3-27 Alteração da profundidade do local de injeção (por regeneração/compartimentação) ao longo de dois anos após a sua criação. As linhas a tracejado não representam a evolução temporal linearmente. As barras de erro representam um erro padrão da média (SEM). (imagem retirada de Acímović et al., 2016)

### 3.3.2 Corpo Vedante

Existem 4 tipos de mecanismos para vedar o local de injeção:

- i. Rolha colocada na casca antes da penetração (permanece no local de injeção após a EV); potencialmente oferece a melhor produtividade e é utilizado em EEV como o Direct-Inject®. É normalmente fabricada com materiais elásticos não biodegradáveis levantando preocupação ambiental. Há uma solução alternativa, a ArborBioKaps® (keytech s.r.l., 2020), que é solúvel em água.
- ii. Rolha colocada no tronco após a perfuração (permanece no local de injeção após a EV); é a mais simples de projetar e costuma ser emparelhada com EEV que perfuram o tronco com brocas, como o SideWinder (SideWinder, 2020). Como é colocada após a injeção, só funciona em árvores de grande porte e com locais de injeção largos em diâmetro, onde normalmente não há um refluxo do PF;
- iii. Vedante na cabeça de injeção (O-ring de borracha que encosta contra a árvore durante a injeção, não permanece na árvore após a EV); este método não envolve uma rolha ou outro consumível, o mecanismo vedante está na cabeça de injeção. Só funcionam em EEV por gotejamento (injeção por ação da gravidade) como é o caso do Bite® (BITE®, 2020);
- iv. Rolha expansível (Shang, Liao, et al., 2011). Parece ser a melhor solução o estudo traduzido é difícil de compreender e não há imagens ou esquemas que expliquem o seu funcionamento.



figura 3-28 Código QR para scanear com hiperligação para o vídeo de utilização das ArborBioKaps®. Hiperligação alternativa: [https://www.youtube.com/watch?v=bC\\_j16H\\_Wg4&ab\\_channel=StefanoCorinaldesi](https://www.youtube.com/watch?v=bC_j16H_Wg4&ab_channel=StefanoCorinaldesi).

### 3.3.3 Cabeça de Injeção

Existem várias soluções alternativas além das já analisadas. A maioria são bastante simples, e requerem trabalho manual, mas já há opções motorizadas. A cabeça de injeção da SideWinder® (ver apêndice A) adaptada para montar num berbequim; esta solução tem uma caixa com rolamentos vedantes e uma broca perfurada por onde o PF é injetado, combinando duas operações numa só (penetrar + injetar). Apesar do ganho em produtividade esta solução está longe de ser considerada Mi com o diâmetro da broca  $\varnothing = 9,5mm$ . Com base no estudo da injeção manual para EV, um artigo chinês propõe a viabilidade da agulha de injeção de avanço e recuo motorizado, figura 3-29. Assim como a estrutura de fixação motorizada, que foi concebida para garantir que a distância entre a agulha de injeção e o tronco é controlada (profundidade ajustável). A estrutura especial da agulha projetada, pode melhorar a estabilidade da sonda da agulha dentro e fora do tronco, e permitir que as agulhas de injeção sondam uma certa profundidade no tronco num curto espaço de tempo, o que garante a implementação do

processo de injeção (traduzido de Shang, Tan, et al., 2011). Não foi possível traduzir corretamente o resto do artigo.

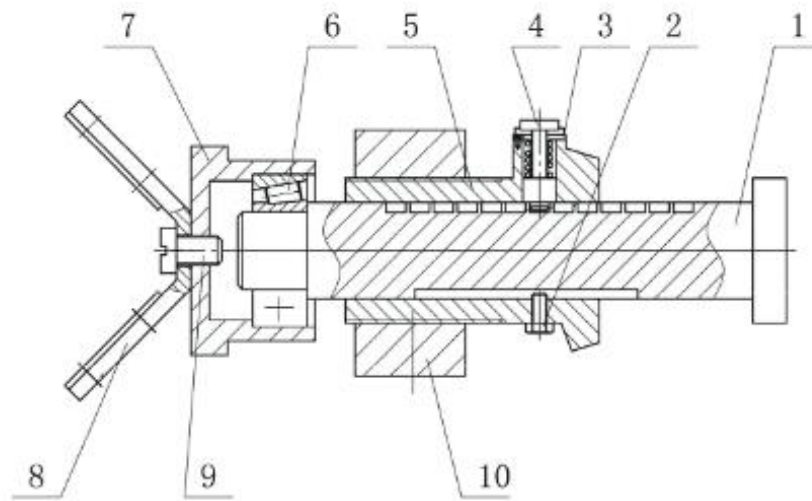


图1 装夹机构图

1. 顶杆 2. 防转螺栓 3. 压盖 4. 定位轴 5. 夹紧螺栓 6. 轴承 7. 轴承端盖 8. 夹板 9. 螺钉 10. 夹具座

figura 3-29 Vista em corte da cabeça de injeção motorizada com agulha retrátil. (imagem retirada de Shang, Tan, et al., 2011)

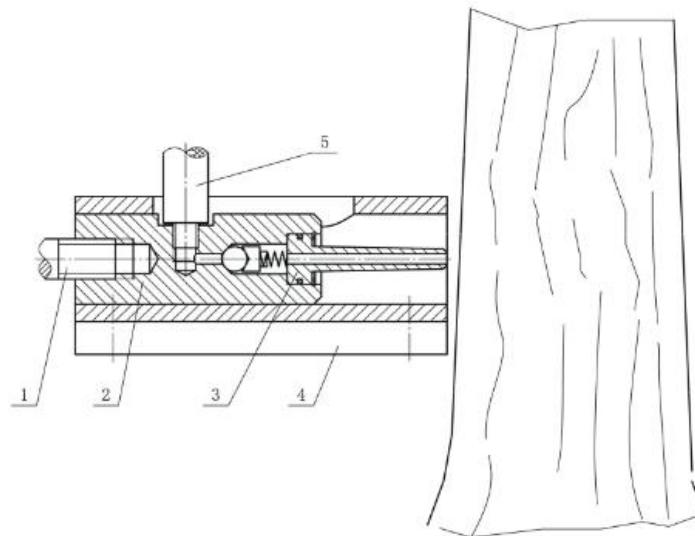


图2 注干机进退针系统

1. 活塞杆 2. 针头座 3. 针头 4. 导向座 5. 药管

系统的设计计算

退出树木所需要的力的大小通过微机控制  
f) 试验机CMT5105测定, 在40mm的深度处

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 4000}{3.14 \times 110 \times 10^6}} = 6.8 \text{mm}$$

figura 3-30 Outra vista em corte da cabeça de injeção motorizada com agulha retrátil da figura 3-29. (imagem retirada de Shang, Tan, et al., 2011)

### 3.3.4 Classificação dos Equipamentos

O tipo de furo, tem em conta o modo como se cria o canal para a injeção:

- Perfuração: mais comum; utiliza broca; rasga as fibras da árvore.
- Penetração: utiliza agulha de injeção; danifica menos as fibras da árvore.

Diâmetro do furo, patamar a partir do qual, a árvore consegue regenerar completamente:

- Injeção:  $> 3mm$ .
- Mi:  $\leq 3mm$  (depende da espécie a ser tratada; Biostasia considera máx  $2,5mm$ ).

Pressão de injeção, se a injeção é auxiliada por mecanismos de pressurização:

- Absorção natural: Pressão atmosférica (gotejamento)
- Injeção à pressão: tipicamente até  $400 Kpa$ .

Na Tabela 3-2 e Tabela 3-3 os EEV são respetivamente classificados e comprados. Na Tabela 3-4 e Tabela 3-5 encontram-se os dados referentes às patentes encontradas dos EEV.

Tabela 3-2 Vários métodos e equipamentos usados em EV. Atualizado e adaptado de Berger & Laurent, 2019 (Berger & Laurent, 2019)

Nome do equipamento	Tecnologia	Tipo de furo	Diâmetro do furo (mm)	Pressão (Kpa)	Profundidade do furo (mm)	Referências
Quick-Jet® (ArborJet Inc, MA USA)	Seringa + Gotejamento	Perfuração	9-9,5	Manual	25,4-120	(Aćimović et al., 2015; Byrne et al., 2014; Doccola et al., 2012)
Tree IV® (ArborJet Inc, MA USA)			9-9,5	207-414	16-120	(Aćimović et al., 2015; Doccola et al., 2012)
Viper® (ArborJet Inc, MA USA)			7,4-9,5	241-4136	15-40	(Aćimović et al., 2015; Doccola et al., 2007)
QUIK-jet AIR® (ArborJet Inc, MA USA)			7,4-9,5	200-750	40-50 + casca	(ArborJet, 2021, 2022)
ENDOplant® (ENDOterapia vegetal™, Girona, ES)			≥8	10-140	-	(ENDOplant, 2022)
Quantum Micro Injector® (Rainbow™ Ecoscience, MN, USA)			5,8	Adaptive PSI™ Tree Safe	-	(Rainbow Ecoscience, 2022b)
Q-Connect® (Rainbow™ Ecoscience, MN, USA)			5,8	100-400	-	(Rainbow Ecoscience, 2022a)
Stemject® (Chemicolour Industries Ltd., Auckland, NZ)	Gotejamento		6-8	3000-4000	25-100	(Dula et al., 2007; Guillaume & Lecomte, 2007)
Sidewinder® precision injector (Tree Injectors QLD, Australia)	Perfuração com seringa injetora		6	<4000	40	(Xu et al., 2009)
ChemJet® Injector (Chemjet Trading Pty. Ltd, Australia)			4,2	Mola	25-100	(Düker & Kubiak, 2009; Shin et al., 2016)
Avo-ject® syringe (Aongatete coolstores Ltd., NZ)			7,5	Mola	30	(Puttamuk et al., 2014)
EcoJect® system (BioForest Technologies Inc., Canada)			5,6-5,8	379-448	13-19	(Booth & Johnson, 2009; Grimalt et al., 2011)
Tree tech® microinjection system (Tree tech microinjection system FL USA)	Cápsula		3-5	65	5	(Kobza et al., 2011; Percival & Boyle, 2005)
Mauget® (Mauget Company, CA USA)			4	Manual	6-30	(Cowles et al., 2006; Raupp et al., 2008; Young, 2002)
Acecap® (Creative Sales, Inc, NE USA)			9-9,5	Atmosférica	3,2	(Doccola et al., 2011; Raupp et al., 2008; Young, 2002)
BITE® (P.A.N srl, Padova, Italy)	Gotejamento aberto	Penetração	3,5	Atmosférica	20	(Dal Maso et al., 2014; Montecchio, 2013b)
Wedgle® Direct-Inject™(ArborSystems LLC, NE USA)	Seringa		2-2,8 Mi	Manual	4-19	(Cowles et al., 2006; Rosenberg et al., 2012)

### 3.3.5 Valorização por Funções

Tabela 3-3 Análise comparativa dos vários equipamentos EV com valorização por funções

Nome do equipamento	Rapidez 0/3	Ø do furo 0/3	Simplici- dade 0/2	Automação 0/1	Custo 0/1	Avaliação 0/10	Comentários
Quick-Jet®	0	0	2	0	1	3	Solução construtiva lenta
Tree IV®	1	0	1	0	1	3	Mangueiras causam embaraço
Viper®	2	0	2	1	0	5	Demasiada pressão
QUIK-jet AIR®	2	0	2	1	0	5	Demasiada pressão
ENDOplant®	2	0	1	1	0	4	Diâmetro do furo muito grande
Quantum Micro Injector®	1	1	1	1	0	4	Ainda não está disponível no mercado
Q-Connect®	1	1	1	0	1	4	Mangueiras causam embaraço
Stemject®	0	0	2	0	1	3	Injetor académico
Sidewinder® precision injector	3	1	0	1	1	6	Incorpora furação e injeção, mas Ø furo grande
ChemJet® Tree Injector	0	1	1	0	1	3	Não é adequado
Avo-ject® syringe injector	0	0	1	0	1	2	Específico de abacates
EcoJect® system	1	1	1	0	1	4	Demasiada pressão
Tree tech® microinjection	0	2	1	0	1	4	Sistema diferente, cápsula
Mauget®	1	2	1	0	1	5	Sistema diferente cápsula
Acecap®	3	0	2	0	1	6	Sistema diferente implante (interessante Ø furo grande)
BITE®	0	2	2	0	1	5	Amigo das árvores, académico, muito lento
Wedgle® Direct-Inject™	2	3	2	0	0	7	O melhor, não compensa melhorar marginalmente

### 3.3.6 Patentes

Tabela 3-4 Lista de patentes dos vários equipamentos de EV

<b>Nome do equipamento</b>	<b>Patentes</b>
Quick-Jet®	(Pishdadian et al., 2014; D. Russel, 2019a, 2019b; D. JR. Russel, 2015)
Tree IV®	(Pishdadian et al., 2014; D. Russel, 2019a, 2019b; D. JR. Russel, 2015)
Viper®	(Pishdadian et al., 2014; D. Russel, 2019a, 2019b; D. JR. Russel, 2015)
QUIK-jet AIR®	(Pishdadian et al., 2014; D. Russel, 2019a, 2019b; D. JR. Russel, 2015)
ENDOplant®	(Baronat Esparraguera et al., 2017)
Quantum Micro Injector®	Sem informação encontrada
Q-Connect®	Sem informação encontrada
Stemject®	Sem informação encontrada
Sidewinder® precision injector	Existem, mas não foram encontradas. Consultar junto do gabinete IRIS
ChemJet® Tree Injector	sistema de injeção com planos PDF gratuitos
Avo-ject® syringe injector	Só tem patente de "Tratamento de planta"
EcoJect® system	Sem informação encontrada
Tree tech® microinjection system	Método divergente
Mauget®	Método divergente
Acecap®	Método divergente
BITE®	(Montecchio et al., 2013)
Wedgle® Direct-Inject™	(Doolittle, 2007; Doolittle, 2007; Doolittle & Frisina, 2014a, 2019, 2020, 2014b; Doolittle & Harrell, 1998; Doolittle Jr., 1993, 2014)

Tabela 3-5 Lista de patentes dos vários equipamentos de EV analisadas pelo gabinete IRIS, 31/01/22

<b>Patentes</b>	<b>Observações</b>
(Doolittle Jr., 1993)	Patente de 1993; já caducou. O modelo proposto pode ser utilizado livremente.
(Doolittle Jr., 2014)	Patente ativa nos EUA. Sem interesse
(Doolittle & Frisina, 2014b)	Patente relativa a uma agulha. Patente ativa nos EUA.
(Montecchio et al., 2013)	Patente ativa em Espanha e Itália (descontinuada nos EUA).
(Doolittle & Frisina, 2014a)	Patente ativa nos EUA. Rolha vedante para árvore
WO 2019064219	Patente ativa na Europa. Sem interesse
WO 2019171207	Patente ativa na Europa. Sem interesse



## ETAPA DA DEFINIÇÃO DO PROJETO

Esta é a primeira etapa do processo; envolve toda a pesquisa e imersão nas várias áreas do projeto, capítulos 2 e 3 Modelo do Projeto e Pesquisa respetivamente; a identificação da oportunidade, interpretar os pedidos da Biostasia em necessidades satisfazer e conjugar as necessidades com requisitos do projeto (que durante a etapa de desenvolvimento evoluem para se tornarem as especificações do produto). Começa-se o processo pela sequência de ações esquematizadas no fluxograma da figura 4-1.

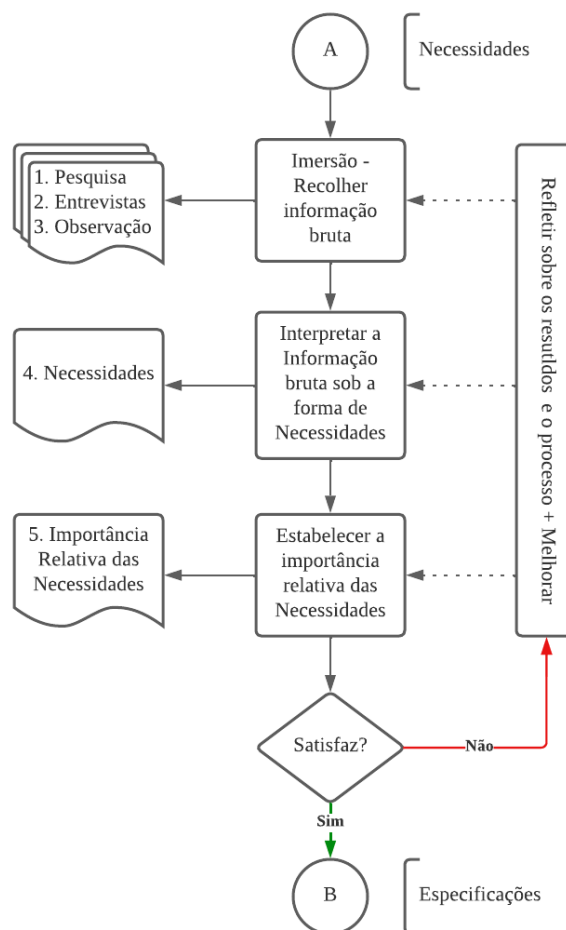


figura 4-1 Fluxograma prescritivo A, Identificar as Necessidades do Cliente

## 4.1 Imersão – Recolher Informação Bruta

O modo de operação da Biostasia quanto à atividade da EV (obtido por observação em trabalho de campo) encontra-se no subcapítulo 3.2 e está ilustrado na figura 3-10. As queixas e sugestões referentes ao EEV utilizado pela Biostasia encontram-se também no subcapítulo 3.2. A pesquisa está no capítulo 3.

A equipa do projeto entrevistou a Biostasia com o objetivo de reunir informação para construir o caderno de encargos do produto. O processo de entrevistar o cliente começa antes da reunião. O primeiro passo é escolher um método adequado para documentar a entrevista (evitar a perda de informação); gravar vídeo do modo de operação da EV e tirar notas com papel e caneta da reunião (gravar o áudio da reunião é a melhor forma de preservar informação, mas é mais intrusivo e pode deixar o entrevistado desconfortável). Todas as entrevistas e reuniões com a Biostasia foram arquivadas em ATAS e indexadas nos respetivos relatórios semanais, como se observa na figura 4-2. O segundo passo é estabelecer o propósito da entrevista ou reunião (informação que se pretende) através de uma lista de perguntas chave como:

- i. Pode descrever ou demonstrar o uso típico do EEV?
- ii. que é que gosta neste EEV (ou noutros)?
- iii. que é que não gosta neste EEV (ou noutros)?
- iv. que sugere para melhorar este EEV?
- v. Como seria o seu EEV ideal?

A lista não tem de ser grande, pode incluir só o mínimo porque numa entrevista bem guiada uma pergunta leva a outra e assim sucessivamente. As perguntas não devem ser colocadas no estilo lista de compras, mas sim surgirem naturalmente na conversa. Algumas diretrizes para reuniões e entrevistas:

- Manter um ambiente confortável e amigável, (evitar interrogatórios);
- Usar estímulos visuais (adereços e desenhos) e incentivar a sua manipulação é uma excelente forma de licitar a criatividade, ajuda a visualizar ideias e facilita a comunicação;
- Colocar as questões “burras” fundamentais. É uma tática utilizada para diminuir incertezas na comunicação e obter informação que aparentemente era um dado adquirido. Requer sentido de oportunidade e elegância. Ex.: depois de vários minutos a falar sobre a grande pressão interna das árvores, com casos práticos, esquemas, métricas e unidades, mas sempre com algumas incongruências perguntou-se: qual é a pressão de injeção? de início a pergunta choca e no extremo é vista como desrespeitosa, mas imediatamente tornou-se aparente que todos construíram modelos conceptuais diferentes da árvore, ninguém tinha a resposta para a pergunta e ficou para pesquisar;
- Seguir o fio da conversa. Quando a entrevista se afasta das perguntas chaves é um bom sinal (o entrevistado sente-se confortável), e enquanto a informação permanecer útil não há necessidade de guiar a conversa noutro rumo;

- Estar atento à linguagem corporal e outros indicadores não verbais. Ler entre linhas pode dar informação como a importância que o cliente dá a uma necessidade. Não é processo fácil de prescrever nem descrever, requer experiência;
- Fazer pausas e ficar só a ouvir. É nas pausas que o entrevistado tem tempo para assimilar a informação, raciocinar e responder; esta ferramenta aumenta a qualidade da informação e às vezes surgem necessidades latentes. A duração das pausas é a necessária para o processo lógico se desenrolar e a que baste para não colocar o entrevistado desconfortável com o silêncio.

Relatório - Semana 1		#0
Produto: Injetor para microinjeção vegetal	Empresa: FCT-UNL & BIOSTASIA	
Resumo: <i>Semana 4/4 - 8/4 hora dedicada: 20h</i> <i>- Cretos do Projeto - Reunião Biostasia</i> <i>- Ideias</i>		
<p><i>Reunião com a Biostasia</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Relevo de Situação</i></li> <li>- <i>Apresentação e Discussão de Ideias</i></li> <li>- <i>Reformulação e Redefinição de Problema (Emergentemente nos se pode ter uma câmara de injeção, o objetivo tem funções entre agulhas e paredes de injeção)</i></li> </ul> <p><i>Mais informações no Relatório #2</i></p> <p><i>Cretos do Projeto (15h)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Estudar Softwares de gestão de projetos</i></li> <li>- <i>Estudar Bibliografia sobre gestão de projetos</i></li> <li>- <i>Escolher um Software e Metodologia a implementar</i></li> <li>- <i>Execução de um plano (para começar a semana seguinte)</i></li> </ul> <p><i>Ideias</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Ampliar ideias, etc...</i></li> </ul>		
Feito por: <i>José Rodrigues</i>	Visto por:	
Data: <i>2/5/22</i>	Aprovado por:	

figura 4-2 Documentação Acessória; relatório da semana 1 com referência à ATA da reunião com a Biostasia do dia 8/4/2022

## 4.2 Interpretar e Transformar Declarações em Necessidades

Com toda a informação bruta recolhida é agora viável interpretar os pedidos e declarações do cliente, Biostasia, transformando-as em necessidades do projeto. A

Tabela 4-1 contém todas as declarações feitas nas reuniões com o cliente nos dias 20/01, 10/02 e 8/04 de 2022. Para passar um pedido a necessidade seguem-se os conselhos:

- A necessidade descreve o que o produto faz e não como o faz; a necessidade não é um constrangimento para a solução: a agulha permanece na cabeça de injeção (correto), a agulha não tem acoplador rápido (errado);
- A necessidade é tão específica quanto a declaração do cliente; evitar a perda de informação: A agulha tem diâmetro inferior àquele que causa feridas permanentes às árvores ou que levem mais de 6 meses a 1 ano a sarar (correto), a agulha é de Mi (menos correto);
- A necessidade é escrita sempre na forma positiva; facilita transformar uma necessidade num requisito, métrica ou especificação.
- Não utilizar palavras que inferem importância (ex.: deve, tem, etc); criar uma hierarquia de necessidades pode levar a uma simplificação precoce do problema.
- Agrupar declarações idênticas numa única necessidade; simplifica o projeto, mas só deve ser feito a partir de um certo nível de entendimento do problema e depende sempre da experiência do projetista: é preciso regressar às árvores para recolher as agulhas & perdem-se agulhas são declarações que expressam a mesma necessidade: a agulha permanece na cabeça de Mi.

Note-se que as necessidades já mencionam agulha em vez de corpo penetrante. Em abril já havia confiança de que a solução a adotar seria uma agulha e por isso não há perda de informação.

Tabela 4-1 Dados do cliente Biostasia com as Necessidades interpretadas.

Biostasia – UNL/FCT	Data:	Local:	Entrevistadores:
<b>Equipamento atual:</b>	20/01/2022	DEMI	Mimoso, Mourão, Martinho
Wedgle Direct-Inject	10/02/2022	DEMI	Mimoso, Mourão
Serviço B2B	8/04/2022	Biostasia	Mimoso, Mourão
Condição	Declaração do Cliente	Necessidade Interpretada	
<b>Uso Típico</b>	São precisos dois operadores para um equipamento; o primeiro coloca as agulhas e o segundo injeta.	A cabeça de Mi liga-se ao sistema de injeção.	
	É preciso regressar às árvores para recolher as agulhas.	A agulha permanece na cabeça de Mi.	
	Os operadores ficam presos em ramos e vegetação rasteira.	A cabeça de Mi é compacta e preserva a destreza do operador.	
	Os operadores têm de carregar o equipamento porque a carrinha não os acompanha dentro do mato.	A cabeça de Mi é leve e fácil de transportar no colete ou cinto do operador.	
	Perdem-se as agulhas.	A agulha permanece na cabeça de injeção.	
	Os furos não são visíveis a olho nu, então quando são feitos tem de se colocar logo a agulha em vez de se fazerem todos os furos primeiro é pouco produtivo.	A rolha que se coloca no furo é perceptível com facilidade.	
	A parede da agulha tem de ficar bem encostado à parede do furo no tronco da árvore para se poder injetar à pressão.	Diâmetro da agulha de Mi e do furo são idênticos.	
<b>Gosta</b>	O injetor nunca se estraga.	A cabeça de Mi é simples e fiável.	

Tabela 4-1 (continuação) Dados do cliente Biostasia com as Necessidades interpretadas.

<b>Biostasia – UNL/FCT</b>	<b>Data:</b>	<b>Local:</b>	<b>Entrevistadores:</b>
<b>Equipamento atual:</b>	20/01/2022	DEMI	Mimoso, Mourão, Martinho
Wedgle Direct-Inject	10/02/2022	DEMI	Mimoso, Mourão
Serviço B2B	8/04/2022	Biostasia	Mimoso, Mourão
<b>Condição</b>	<b>Declaração do Cliente</b>	<b>Necessidade Interpretada</b>	
	O injetor é fácil de montar/desmontar.	A cabeça de Mi é simples e fiável.	
	O injetor é leve, fácil de transportar e funciona bem no terreno.	A cabeça de Mi é leve e fácil de transportar no colete ou cinto do operador.	
	As agulhas têm o diâmetro certo.	A agulha tem diâmetro inferior àquele que causa feridas permanentes às árvores ou que levem mais de 6 meses a 1 ano a sarar.	
	As agulhas têm o comprimento certo.	A agulha tem o comprimento adequado para chegar ao xilema e não mais que isso, para as árvores comuns da flora tratada.	
	As rolhas têm o diâmetro certo.	A rolha tem o menor diâmetro possível que retenha a capacidade de vedar o local de injeção.	
	As rolhas têm o comprimento certo.	A rolha só deve estar em contacto com a casca da árvore e evitar a zona do cambio.	
	As feridas nas árvores são quase invisíveis.	A agulha tem diâmetro inferior àquele que causa feridas permanentes às árvores ou que levem mais de 6 meses a 1 ano a sarar.	
<b>Não Gosta</b>	As agulhas partem-se ou deformam-se com demasiada facilidade.	O material da agulha tem tenacidade e resiliência suficiente para considerar a agulha material de desgaste.	
	Alguns operadores utilizam o berbequim em vez do martelo para não danificarem muitas agulhas.	A cabeça de Mi é fácil de usar apenas com conhecimento discursivo.	
	A pressão da injeção depende da destreza do operador. Demasiada pressão causa danos irreversíveis à árvore.	A pressão da injeção correta depende maioritariamente do conhecimento discursivo do operador.	
	O injetor requer muito envolvimento físico o que leva ao cansaço do operador.	Motorizar ao máximo o processo.	
	Muitas das peças são fabricadas com as normas americanas e são difíceis de substituir na europa.	Utilizar componentes normalizados segundo normas internacionais ou europeias.	
	Algumas das peças aparentemente normalizadas são na realidade proprietárias e são muito caras quando é preciso substituí-las.	Fabricar componentes seguindo as normas internacionais ou europeias.	
	Os acessórios do equipamento: o depósito com maior capacidade, a mochila e a mala de transporte, não funcionam no terreno porque dificultam o movimento.	O equipamento de Mi é compacta e preserva a destreza do operador.	

Tabela 4-1 (continuação) Dados do cliente Biostasia com as Necessidades interpretadas.

<b>Biostasia – UNL/FCT</b>	<b>Data:</b>	<b>Local:</b>	<b>Entrevistadores:</b>
<b>Equipamento atual:</b>	20/01/2022	DEMI	Mimoso, Mourão, Martinho
Wedgle Direct-Inject	10/02/2022	DEMI	Mimoso, Mourão
Serviço B2B	8/04/2022	Biostasia	Mimoso, Mourão
<b>Condição</b>	<b>Declaração do Cliente</b>	<b>Necessidade Interpretada</b>	
	Alguns componentes: válvula esférica, acoplamento rápido da agulha e outros; falham com alguma frequência.	A cabeça de Mi é simples e fiável.	
	As rolhas de uso único são de plástico e borracha.	O material da rolha tem pouco impacto ambiental.	
	As poeiras inevitavelmente entram no EEV e nas agulhas inutilizando-os até serem limpas.	A cabeça de Mi é simples e fiável.	
	Há demasiadas válvulas no injetor. Obstruem o fluxo e é frequente haver incorporação de pequenas bolhas de ar.	O equipamento de Mi tem perdas de carga pequenas.	
	O equipamento e os seus consumíveis são caros.	O equipamento de Mi é acessível.	
<b>Sugestões &amp; Outros</b>	Em vez de agulhas com vários comprimentos era preferível uma agulha com comprimento ajustável.	Agulha com comprimento ajustável.	
	Como o serviço de EV é sazonal não há operadores com experiência. Eliminar ao máximo o envolvimento do fator humano seria ótimo.	A cabeça de Mi é fácil de usar apenas com conhecimento discursivo.	
	A rolha deve ser feita com materiais renováveis que não levarem suspeita de constituírem agentes poluentes.	O material da rolha tem pouco impacto ambiental.	
	O importante é que a rolha seja feita com um material aparentemente não poluente. Ex.: a cortiça.	O material da rolha tem pouco impacto ambiental.	
	As brocas danificam as fibras da árvore.	Utilizar agulha ou outro.	
	Os equipamentos de gotejamento não são competitivos.	Injeção à pressão.	
	Quero passar uma imagem de confiança.	Credibilidade.	
<b>Latentes</b>	n/a.	Design e nome apelativos.	
	n/a.	A cabeça de Mi funciona com os vários equipamentos de injeção existentes.	
	n/a.	Fácil de descobrir o que faz.	
	O ponto de fusão do nosso produto fitossanitário biológico é cerca de 15°C, abaixo dessa temperatura usamos químicos.	Equipamento mantém o produto fitossanitário biológico acima do ponto de fusão.	

### 4.3 Organizar as Necessidades

Trabalhar com um grande número de necessidades pode ser constrangedor. É útil agrupar as necessidades por género e construir uma hierarquia de importância. Este passo facilita eliminar as necessidades redundantes e/ou desimportantes. Para criar a hierarquia de necessidades da Tabela 4-2 todas as declarações e necessidades foram escritas em pequenos papeis; isto ajuda a visualizar o quadro geral e permite manipular a informação. A última destilação da informação produz a Tabela 4-3 onde as necessidades estão prontas a ser transformadas em requisitos do projeto. Chega-se à primeira etapa de revisão, onde o processo e as necessidades que resultaram dele são analisadas. Para passar à fase seguinte a equipa de projeto tem de estar satisfeita com o progresso.

Tabela 4-2 Lista das Necessidades organizadas por importância. O número de \* representa a importância da necessidade, sendo \*\*\* a importância máxima e ! são as necessidades latentes.

**	<b>O EEV é fácil de usar.</b>	*	<b>O EEV é fácil de manter</b>
!	Fácil de descobrir como funciona.	**	Utilizar normas internacionais ou europeias
***	Fácil de aprender a usar.		Simplicidade elétrica, hidráulica e mecânica.
**	Fácil de operar manualmente.	**	<b>O EEV é fácil de transportar.</b>
***	Não requer habilidade ou capacidade motora fina.	*	Leve.
!	A cabeça de Mi acopla-se a equipamentos injetores existentes.	**	Boa distribuição do peso.
**	Penetra o tronco da árvore com facilidade.	**	Compacto.
***	<b>O EEV é fiável.</b>	**	Preserva a destreza do operador.
*	Construção robusta.	***	<b>O EEV oferece melhor produtividade.</b>
**	Agulha resistente.	***	Rolha vedante permanece na árvore.
***	Rolha veda o local de injeção eficazmente.	***	O produto fitossanitário é injetado com pressão.
**	Funciona independentemente das condições do terreno.	***	A agulha permanece na cabeça de Mi.
**	Funciona independentemente da forma da árvore.	**	A profundidade da injeção adapta-se à árvore.
**	<b>O EEV permite a prática sustentável.</b>	*	A rolha vedante é perceptível com facilidade durante o exercício de tratamento.
**	Material da rolha tem pouco impacto ambiental.	!	Mantém produto biológico fitossanitário acima do seu ponto de fusão.
*	Rolha está em contacto apenas com a casca.	**	A cabeça de Mi e o equipamento injetor mantêm-se juntos.
***	É classificado como Mi.	**	Cada árvore é eficazmente tratada em pouco tempo.
**	Não utilizar ferramentas com gumes cortantes para furar a árvore.	*	<b>O EEV é desejável.</b>
		*	Tem credibilidade (patente, projeto da FCT).
		**	Baixo custo de produção.
		!	Design e nome chamativo.
		!	Mantém produto biológico fitossanitário acima do seu ponto de fusão.

Tabela 4-3 As Necessidades do Projeto

Nº	Tipo	Necessidade
1	Geral	O tratamento da árvore é rápido.
2	Agulha	A agulha permanece na cabeça de injeção.
3	Agulha	O equipamento é de Mi.
4	Agulha/Rolha	Compatibilidade com várias árvores.
5	Agulha	Profundidade da injeção regulável.
6	Agulha	Ponta da agulha minimiza os danos.
7	Agulha	A agulha é um material de desgaste.
8	Rolha	A rolha é inserida só na casca.
9	Rolha	A rolha permanece na árvore.
10	Rolha	A rolha veda o local de injeção.
11	Rolha	A rolha é vista como sustentável.
12	Rolha	Rolha perceptível durante o tratamento.
13	Cabeça/Injetor	O equipamento é leve.
14	Cabeça/Injetor	O equipamento é compacto.
15	Cabeça/Injetor	O equipamento é fácil de usar.
16	Cabeça/Injetor	Elimina o envolvimento humano.
17	Cabeça/Injetor	O equipamento é simples.
18	Cabeça/Injetor	O equipamento é fácil de manter.
19	Cabeça	Compatível com os injetores vigentes.
20	Injetor	Pressão de injeção não causa danos.
21	Geral	É acessível para o cliente.
22	Injetor	Mantém o produto biológico líquido.
23	Geral	Design e nome apelativo.
24	Geral	Oferece credibilidade ao cliente.

#### 4.4 Traduzir as Necessidades em Métricas

O fluxograma B da figura 4-3 representa o conjunto de ações que, a partir das necessidades obtidas no processo A, faz os requisitos do projeto. A análise comparativa das soluções do mercado está nas Tabela 3-2 e Tabela 3-3 do capítulo 3 Pesquisa. Para transformar as necessidades em métricas, Tabela 4-4, seguiram-se os princípios:

- Axioma da independência – a filosofia está adaptada ao modelo do projeto, habitualmente processa-se de forma diferente –, na adaptação, cada necessidade (DP) faz corresponder uma única métrica (que pela TAP devia ser um requisito FR). Percorre-se a lista das necessidades atribuindo a cada necessidade uma métrica. Quando mais que uma necessidade responde às mesmas

métricas ela é eliminada. Na prática, especialmente em projetos mais complexos, é difícil eliminar todas as dependências;

- As métricas devem ser práticas, não há interesse em conceber métricas que requerem equipamentos de medição fora do orçamento do projeto ou inadequadas à etapa do projeto (as métricas do projeto de pormenor são diferentes das métricas do projeto conceptual);
- Algumas necessidades são difíceis de traduzir em métricas. O produto oferecer confiança é uma necessidade que não se traduz numa métrica, mas é possível através de um questionário obter este tipo de informação.

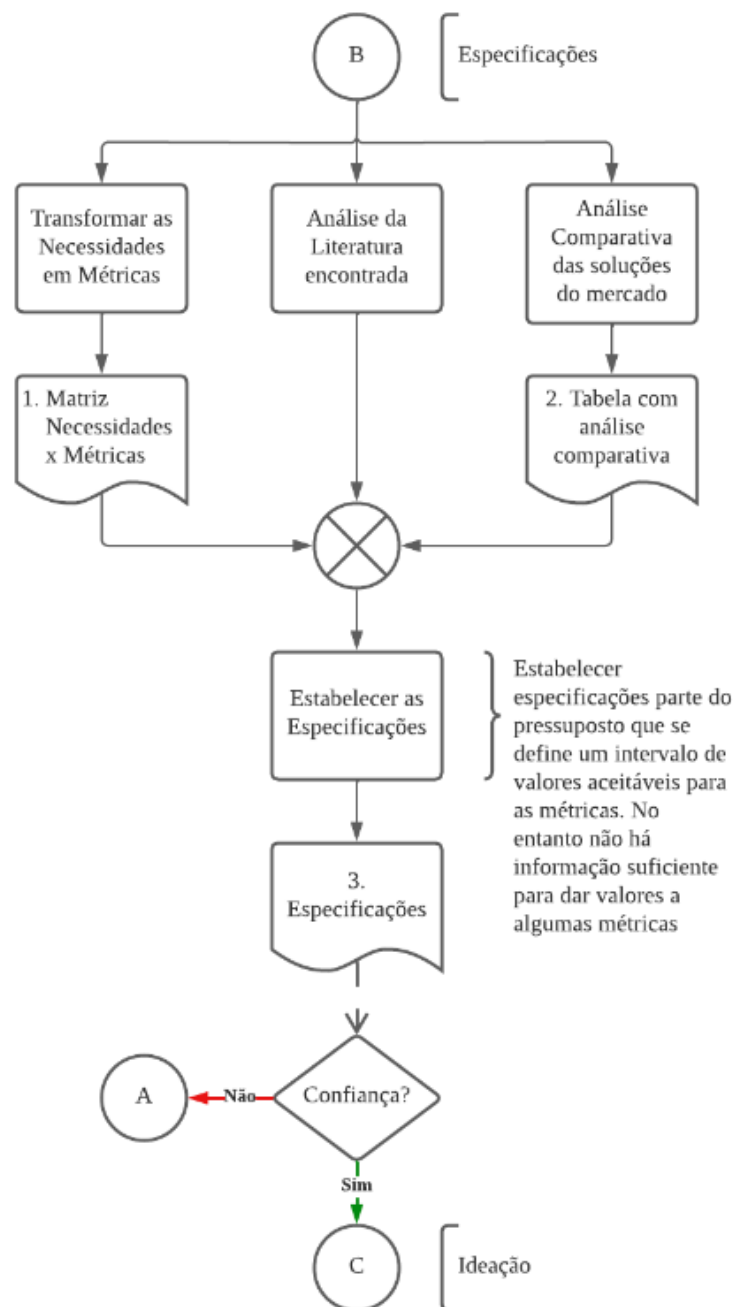


figura 4-3 Fluxograma prescritivo B, Requisitos do Projeto

Tabela 4-4 A Matriz Necessidades x Requisitos

Necessidades	Requisitos																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 O tratamento da árvore é rápido	x																					
2 A agulha permanece na cabeça de...	x																					
3 O equipamento é de Mi		x																				
4 Compatibilidade com várias árvores			x					x														
5 Profundidade da injeção regulável			x																			
6 Ponta da agulha minimiza os danos		x		x																		
7 A agulha é um material de desgaste					x	x	x															
8 A rolha é inserida só na casca								x														
9 A rolha permanece na árvore								x	x	x												
10 A rolha veda o local de injeção								x	x	x	x	x										
11 A rolha é vista como sustentável										x		x										
12 Rolha perceptível durante o tratamento									x			x										
13 O equipamento é leve													x									
14 O equipamento é compacto														x								
15 O equipamento é fácil de usar															x	x						
16 Elimina o envolvimento humano																x						
17 O equipamento é simples																	x					
18 O equipamento é fácil de manter																	x	x				
19 Compatível com os injetores vigentes																		x				
20 Pressão de injeção não causa danos																			x			
21 É acessível para o cliente																				x		
22 Mantém o produto biológico líquido																					x	
23 Design e nome apelativo																						x
24 Oferece credibilidade ao cliente																						x

## 4.5 Atribuir Valores Alvo aos Requisitos (Métricas) do Projeto

A Tabela 4-5 contém os requisitos do projeto organizados numa forma mais fácil de visualizar e pronta para atribuir valores alvo.

Tabela 4-5 Requisitos do Projeto

Requi. N°	Neces. N°	Requisito (métrica)	Unidade
1	1, 2	Tempo para tratar 1 árvore/equipamento/operador	s
2	3, 6	Diâmetro nominal da cânula da agulha	mm
3	4, 5	Comprimento nominal da cânula da agulha	mm
4	6	Forma da ponta da agulha	Lista
5	7	Material da agulha	Lista
6	7	Ciclos até a agulha falhar	N° ciclos
7	7	Resistência da agulha à Flexão	ISO 9626
8	4, 8-10	Comprimento nominal da rolha	mm
9	9, 10, 12	Forma da Rolha	Lista
10	9, 10, 11	Material da Rolha	Lista
11	10	Fidelidade da rolha a vedar local de injeção	%
12	10-12	Diâmetro nominal da Rolha	mm
13	13	Massa da cabeça de Mi	kg
14	14	Dimensões da cabeça de Mi	mm
15	15	Força que o operador aplica no injetor	N
16	15, 16	Tempo para aprender a utilizar o equipamento	hr
17	17, 18	N° de componentes	Lista
18	19, 20	Normas ISO	Lista
19	21	Pressão de injeção	MPa
20	22	Custo de produção unitário	€
21	23	Temperatura do reservatório do produto fitossanitário	°C
22	23, 24	Avaliação subjetiva	Subj 1-5

Alguns valores são definidos com o conhecimento ganho na pesquisa e análise dos EEV do mercado. Outros através das entrevistas e reuniões, onde por exemplo, se mantém o valor do comprimento da agulha, visto que a Biostasia está satisfeita com essa característica do EEV que usa.

Os restantes valores são escolhidos através do raciocínio lógico (abdução, dedução e indução). Tome-se o exemplo da conversa do balão ilustrado na figura 4-4 que antecedeu a pergunta “burra” – qual é a pressão de injeção? – esta conversa não tem informação diretamente útil ao projeto e o kg não é uma unidade de pressão, mas pelas premissas “10 Kg de pressão” e “bomba de bicicleta” conclui-se que provavelmente estava a falar-se de 10bar de pressão, valor que bate certo com o conhecimento ganho na pesquisa do capítulo 3.



Tabela 4-6 Requisitos do Projeto com Valores Alvo

Requi. N°	Neces. N°	Requisito (métrica)	Unidade	Valores Alvo
1	1, 2	Tempo para tratar 1 árvore/equipamento/operador	s	300-600
2	3, 6	Diâmetro nominal da cânula da agulha	mm	≤ 2,0
3	4, 5	Comprimento nominal da cânula da agulha	mm	10-40 (regulável)
4	6	Forma da ponta da agulha	Lista	n/a
5	7	Material da agulha	Lista	n/a
6	7	Ciclos até agulha falhar	N° ciclos	> 100
7	7	Resistência da agulha à Flexão	ISO 9626 B/C	n/a
8	4, 8-10	Comprimento nominal da rolha	mm	6-10
9	9, 10, 12	Forma da Rolha	Lista	n/a
10	9, 10, 11	Material da Rolha	Lista	n/a
11	10	Fidelidade da rolha a vedar local de injeção	%	> 95
12	10-12	Diâmetro nominal da Rolha	mm	4,5-8
13	13	Massa da cabeça de Mi	Kg	≤ 1
14	14	Dimensões da cabeça de Mi	mm (CxLxA)	80x80x250
15	15	Força que o operador aplica no injetor	N	< 100
16	15, 16	Tempo para aprender a utilizar o equipamento	hr	≤ 6
17	17, 18	N° de componentes	Lista	≤ 20
18	19, 20	Normas ISO	Lista	n/a
19	21	Pressão de injeção	MPa	0,1-1
20	22	Custo de produção unitário	€	≤ 500
21	23	Temperatura do reservatório do PF	°C	25-40
22	23, 24	Avaliação subjetiva	Subjetivo 1-5	≥ 4



## ETAPA CONCEPTUAL

Esta é a segunda etapa do anteprojeto, que compreende a decomposição do problema, a geração, avaliação e a seleção de ideias. Começa-se o processo pela sequência de ações esquematizadas no fluxograma da figura 5-1.

Existem vários métodos para gerar, avaliar, combinar e finalmente escolher ideias. Assim há que identificar ou conceber uma abordagem adequada. No problema penetrar 5.2.1 o processo para gerar ideias aconteceu de forma idêntica ao prescrito no fluxograma C da figura 5-1, já no problema vedar 5.2.1 omitiu-se o passo da tabela de combinação derivado à sua baixa complexidade (mais à frente é explicado em detalhe). Este método de ideação (geração de ideias) é adequado a um grande leque de projetos, sendo especialmente eficaz a responder a problemas simples (baixa complexidade) independentemente da sua dificuldade. Por mais complexo que seja o problema fundamental, é sempre possível decompô-lo em subproblemas simples o suficiente para aplicar o método. Define-se complexidade pelo número de componentes não normalizados e/ou número de subsistemas que funcionam em harmonia para realizar o conjunto de ações necessárias para completar a tarefa desejada; o número de peças ou subsistemas que separa um problema simples de um complexo é aquele com que o projetista se sente confortável; depende da sua experiência, conhecimento específico da área e aptidão natural. A dificuldade é a exigência e esforço necessário para executar de forma satisfatória uma solução.

### 5.1 Decomposição do Problema

Existem várias abordagens para dissecar o problema, como a decomposição por sequência de ações, por necessidades chave do cliente, entre algumas outras. Para aparelhos com funções mecânicas relativamente simples e com muita interação com o utilizador, a abordagem da divisão por sequência de ações é a mais adequada. A decomposição do problema está representada na figura 5-2, onde as três famílias principais do diagrama em árvore representam as ações principais: Penetrar, Vedar e Injetar.

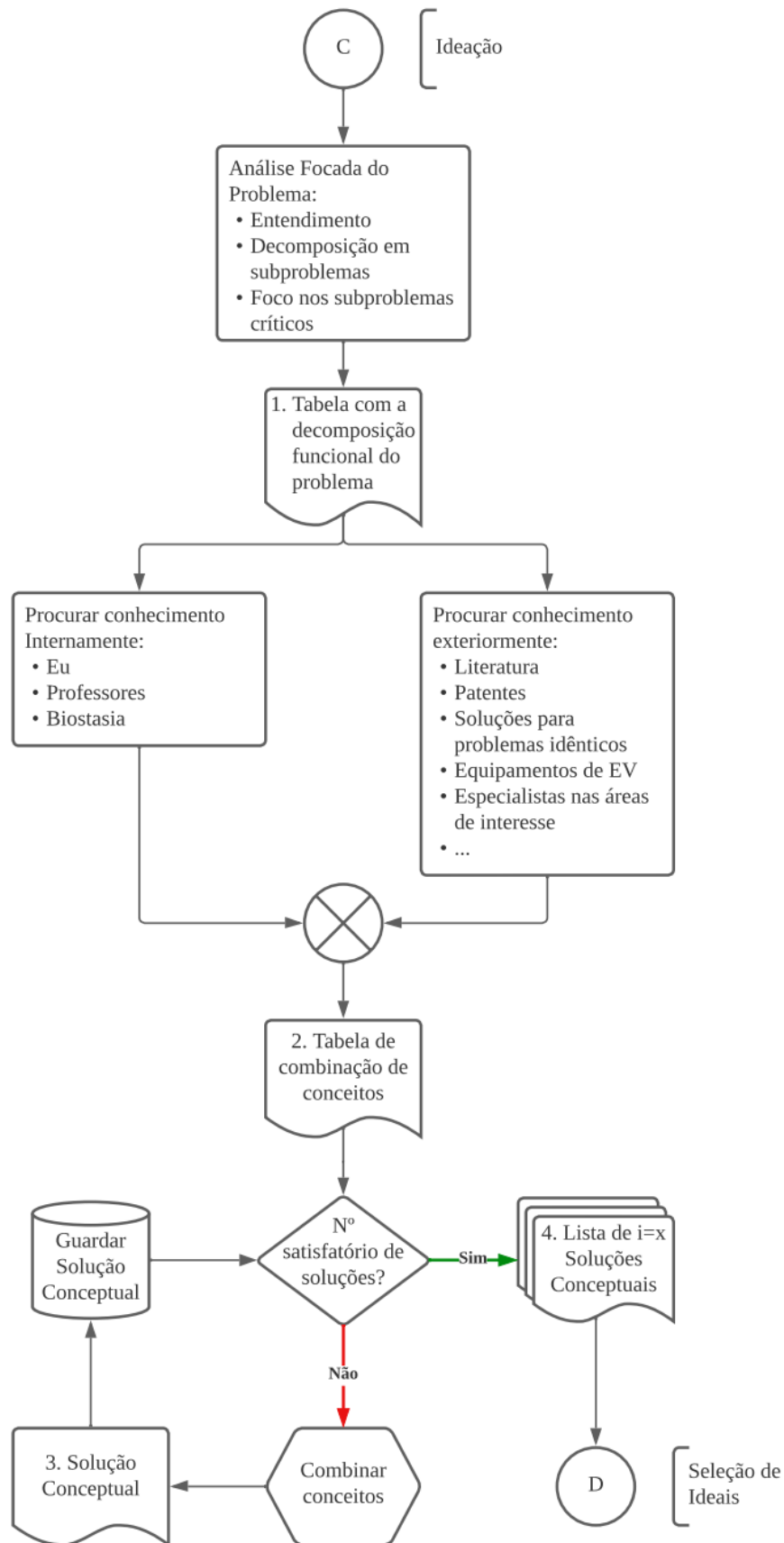


figura 5-1 Fluxograma prescritivo C, Ideação

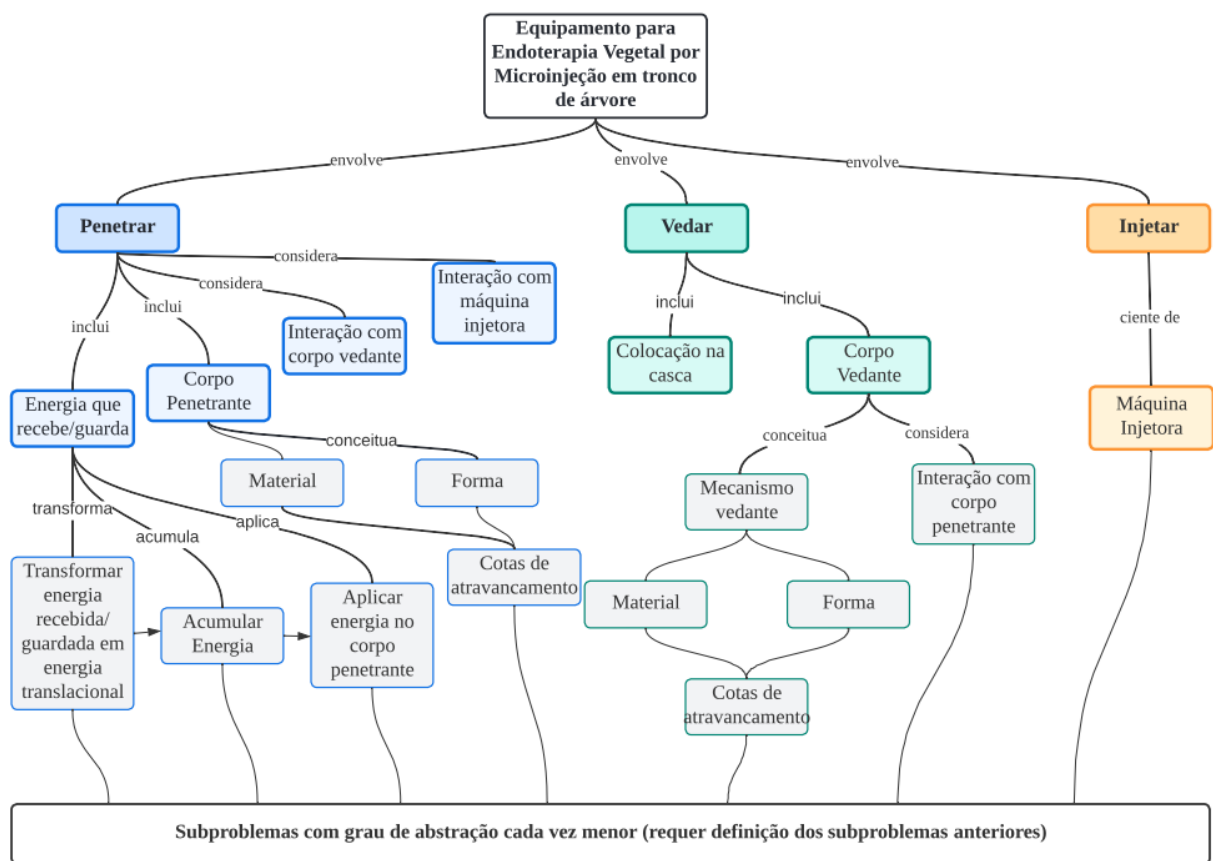


figura 5-2 Decomposição do problema pela abordagem da sequência de ações. Os subproblemas estão organizados em 3 famílias (cores diferentes) que representam as ações principais para realizar a tarefa da EV por Mi: Penetrar, Vedar e Injetar. O nível de abstração dos problemas desce à medida que se desce pelo diagrama em árvore.

## 5.2 Ideação

### Procurar Externamente

O próximo passo é procurar conhecimento (sob a forma de ideias). Procurar externamente significa ir à procura de soluções que já existem para problemas idênticos:

- Biostasia; o cliente é sempre a entidade que mais experiência tem na atividade que o produto procura auxiliar e conseqüentemente na utilização desse mesmo produto que deixou de satisfazer as suas necessidades;
- Especialistas, que têm conhecimento específico da área, por exemplo consultar um professor da área dos materiais para escolher um material biodegradável adequado à solução;
- Patentes, são usadas como constrangimento no caso de soluções para a mesma área de aplicação; ou como inspiração se forem aplicadas noutra área não relacionada. Por exemplo uma câmara colocada num braço flexível é novidade na medicina (sonda gastrointestinal) e na mecânica (câmara de inspeção mecânica);

- Literatura, que está analisada no capítulo 3 Pesquisa. Para combater a falta de experiência e do conhecimento dos mecanismos e dispositivos utilizados em soluções satisfatórias, livros como o *Mechanisms and Mechanical devices sourcebook* (Sclater, 2011) devem ser consultados.
- Pesquisa aleatória, por palavras-chave, ideias em sites de partilha de vídeos como o [www.youtube.com](http://www.youtube.com), um fórum online ou no repositório de soluções industriais [www.thomasnet.com](http://www.thomasnet.com) é uma forma rápida de expandir a “caixa das possibilidades”.

### Procurar Internamente

Procurar internamente significa usar o conhecimento e criatividade da equipa do projeto para gerar ideias (*brainstorming*):

- Priorizar a quantidade de ideias à qualidade das ideias. O grande inimigo da invenção é a qualidade, nada é perfeito ao início. Gerar ideias em quantidade baixa a expectativa da qualidade e por isso encoraja a partilha de ideias que de outra forma não eram participadas por vergonha ou falta de reconhecimento do seu valor. Para além do mais cada ideia estimula outras ideias e pode desbloquear o projetista;
- Não julgar ideias, mesmo que pareçam inexecutáveis; em alguns casos estas ideias evoluem para outras melhores e mais simples; esta mentalidade também é um bom veículo para a criatividade, e quanto mais inexecutável for a ideia mais se expande a “caixa das possibilidades”;
- Desenhar muito, porque o meio escrito e verbal é fraco em comunicar modelos conceptuais. A responsabilidade da comunicação está sempre do lado que transmite, se o resto da equipa não entender uma ideia a culpa é de quem a comunicou. A qualidade dos desenhos (esboços) não é importante desde que a ideia fique clara;
- Prototipar rapidamente as ideias, de forma simples e com materiais que estejam ao alcance no momento da troca de ideias, ou levar modelos já preparados (ex.: impressão 3D). Este meio de comunicação é superior ao desenho, pois permite a manipulação e observação das ideias. Há uma correlação positiva entre o número de sentidos estimulados (visão, tato, audição, ...) e a quantidade de ideias geradas.

### Dicas Úteis

Dicas úteis para projetistas inexperientes que ainda não desenvolveram os seus próprios métodos de trabalho:

- Ligar os pontos. Perguntar que outras soluções já foram utilizadas com sucesso para resolver problemas comparáveis (figura 5-4). Perguntar se existe alguma analogia natural ou biológica com o problema (biomimética). Perguntar se o problema já foi resolvido numa escala muito maior ou mais pequena (grandes obras de perfuração usam brocas que “injetam” água na pedra como lubrificação e formação de lama);
- Método SCAMPER (acrónimo para *substitute, combine, adapt, modify/magnify/minimize, put to other use, eliminate and reverse/rearrange*). É usado para gerar novas ideias combinando/modificando fragmentos de outras ideias;

- Sinergia, um motor gerador de ideias são outras ideias; quando uma ideia é apresentada a outro elemento do grupo do projeto é possível que se crie uma sinergia entre ambos, onde a primeira ideia atua como um estímulo para desbloquear a criatividade do segundo elemento que vê o problema à sua maneira segunda a sua sensibilidade e experiência prévia;
- Estar alerta no dia-a-dia, ainda que passivamente, para não consumir demasiada energia cognitiva. Nunca se sabe quando e como nos cruzamos com um objeto que pode ser a solução para um ou mais problemas do projeto. Por exemplo máquina de café portátil tem uma bomba doseador capaz de pressões superiores a 10bar e usa baterias de 18V como fonte de energia.
- Estipular uma meta para a quantidade de ideias a gerar em cada sessão, isto cria a sensação de progresso e com isso motivação sobe porque o objetivo é tangível e alcançável. Este passo foi ignorado erradamente durante a dissertação (a única meta estipulada foi de 3 soluções alternativas para apresentar à Biostasia no final de julho).

Seguidamente o processo de ideação é exemplificado através de várias séries de ilustrações escolhidas e organizadas com a intenção de transmitir uma narrativa verdadeira, mas acima de tudo clara. O aspeto real do processo de ideação é mais desgovernado e sem cuidado no desenho, como observado na figura 5-3; não apresenta uma tradução direta para o meio escrito.

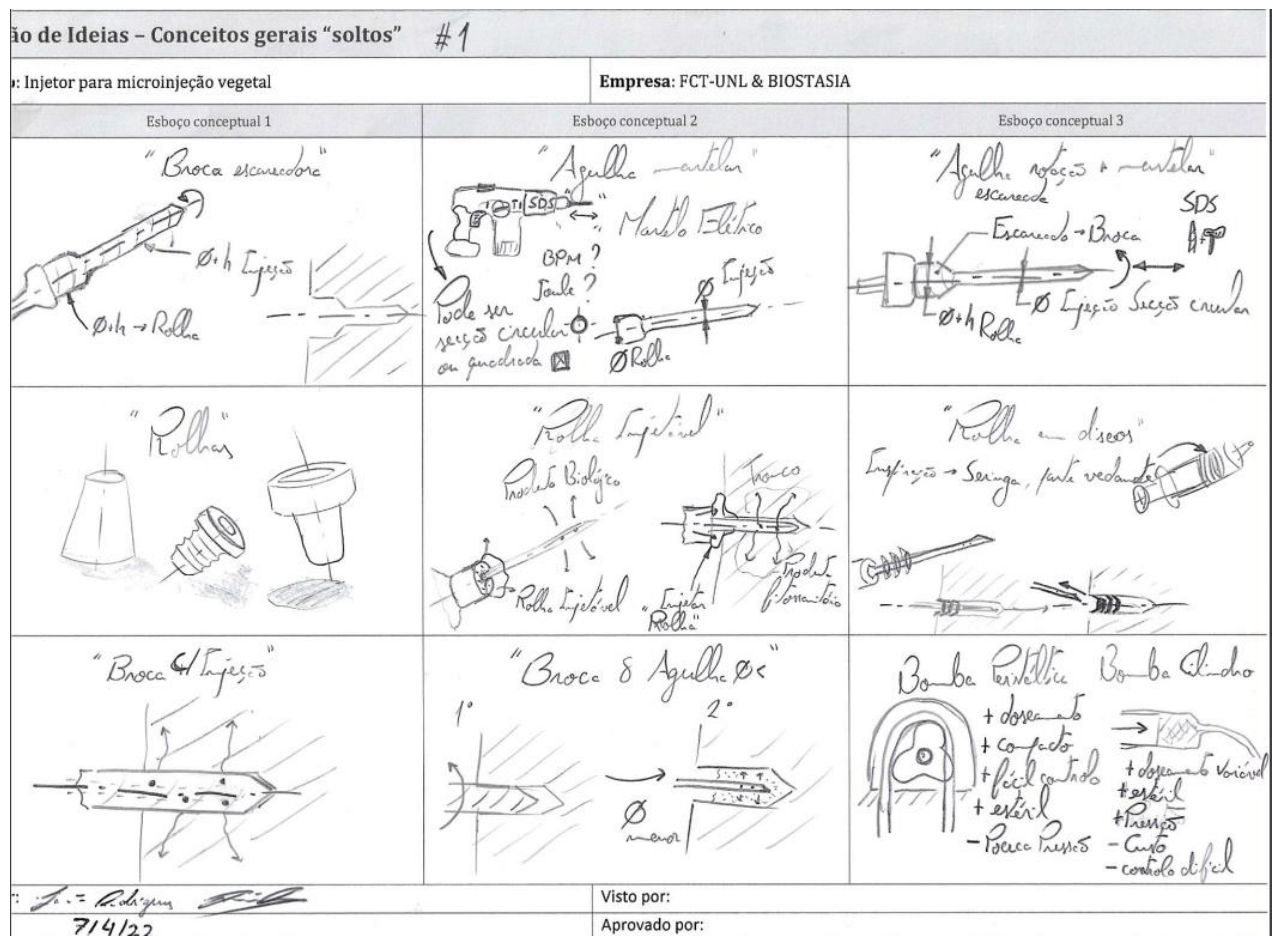


figura 5-3 Documentação Acessória, Geração de ideias. O documento está sempre ao alcance do projetista para anotar qualquer ideia que surja; tem vários esboços soltos e sem relação entre si.

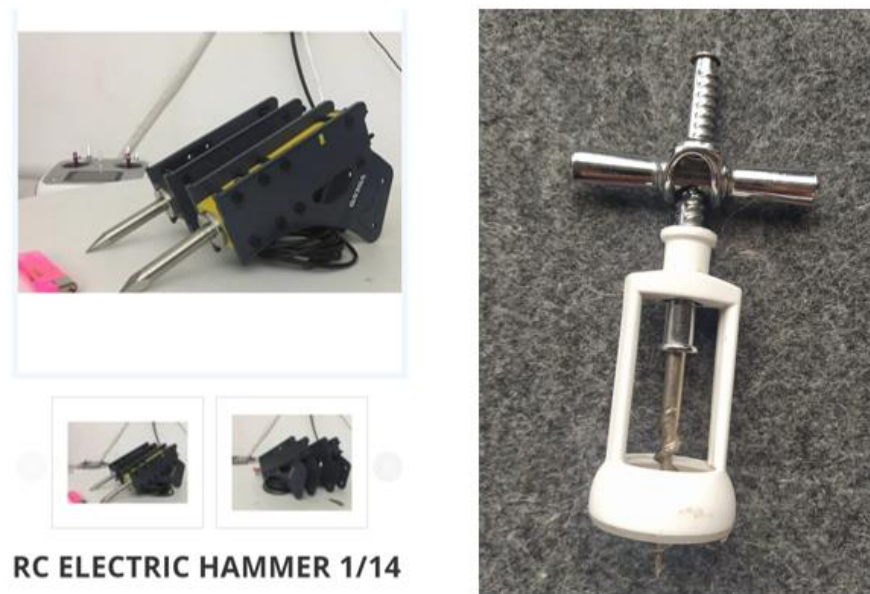


figura 5-4 Soluções utilizadas com sucesso para resolver problemas comparáveis. À esquerda um martelo demolidor à escala 1/14 para modelismo telecomandado de máquinas de construção (em vez de um circuito hidráulico esta solução usa um solenoide para vibrar o martelo a alta frequência). À direita um saca-rolhas pouco convencional, que tira partido do movimento relativo entre uma porca e um veio roscado para retirar a rolha da garrafa com pouco esforço.

### 5.2.1 Vedar

É o problema de inserir um corpo na casca da árvore para vedar o local de injeção. Esta secção do projeto envolve projeto conceptual, original e incremental. Este é o problema mais difícil e um que no futuro requer especial atenção. No entanto, é possível no contexto da dissertação, alcançar um conceito executável e que transmita confiança. Como o problema vedar tem um baixo grau de complexidade (simples) o método da tabela de combinação não se adequa. As ideias do espaço de soluções compreendem todo o problema e não partes do problema a serem combinadas.

#### Corpo Vedante

O maior constrangimento do problema vedar é o material, que simultaneamente é biodegradável, passa a imagem de que é ecológico, é capaz de vedar e é de baixo custo. O processo de ideação foi conduzido principalmente pelo material. Os materiais que foram considerados foram: a cortiça, o papel, a borracha natural, a espuma, o gel entre outros. Claro que desenvolver um material novo com este conjunto de características é sempre uma possibilidade, no entanto não é uma opção viável para o orçamento e recursos do projeto. O outro constrangimento do problema vedar é dimensional, figura 5-5; o corpo vedante não passa da casca da árvore e não salta à vista (se o diâmetro for demasiado largo não é visto como ecológico).

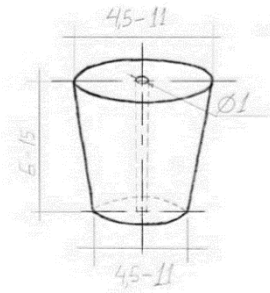
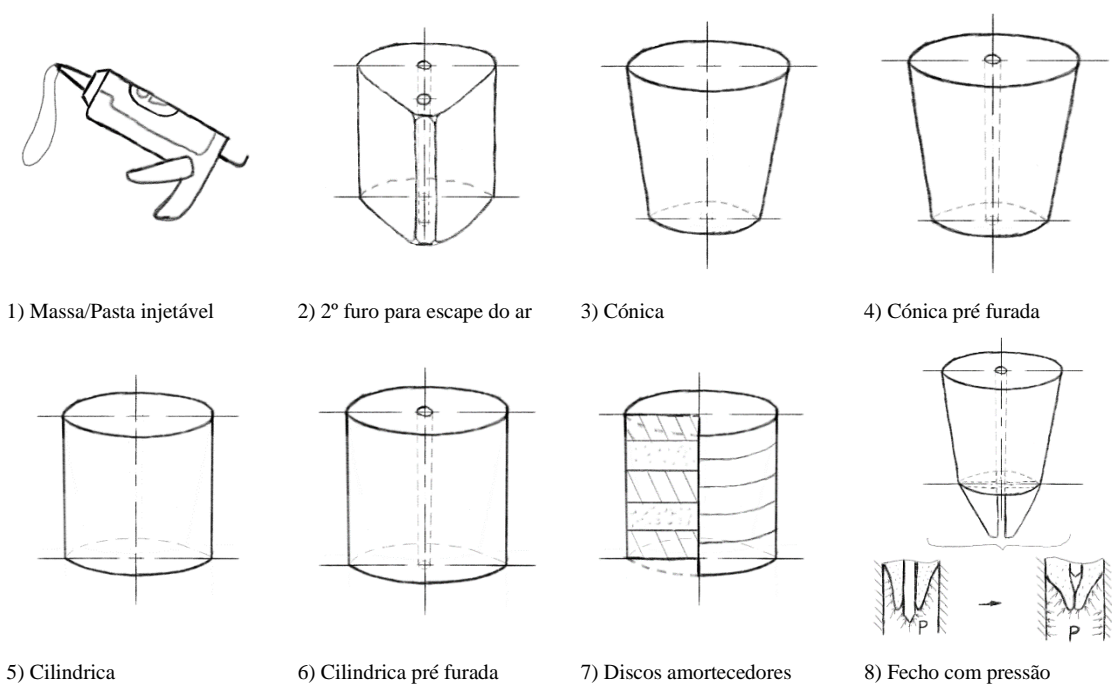


figura 5-5 Esboço do corpo vedante com as sua cotas de atravancamento (dentro de um cilindro imaginário de diâmetro máximo 11mm e altura máxima de 15mm tudo é válido).

As diferentes ideias e materiais do corpo vedante, Tabela 5-1, foram testadas como uma máquina que emula o processo de EV por Mi em tronco de árvore. O desenvolvimento e fabrico da máquina emuladora, os protótipos e os resultados do teste estão no próximo capítulo, 6 Prototipagem.

Tabela 5-1 Várias ideias para o corpo vedante



1) Massa/Pasta injetável

2) 2º furo para escape do ar

3) Cônica

4) Cônica pré furada

5) Cilíndrica

6) Cilíndrica pré furada

7) Discos amortecedores

8) Fecho com pressão

### Interação Corpo Vedante com Máquina Injetora

O corpo vedante é colocado na casca da árvore antes do tronco ser penetrado pelo EEV; permanecendo na casca após a EV por Mi. Ao retirar o corpo penetrante através do corpo vedante a força do atrito puxa-o para fora da casca. A interação do corpo vedante com a máquina injetora responde a este problema. Seguem-se três ideias para esta interação: a primeira, ilustrada na figura 5-6, é de acordo com a TAP uma solução independente, onde o FR – rolha permanece na casca após a agulha ser retirada – é ajustado por um e só um DP – mecanismo flexível idêntico a uma bucha convencional –; a segunda ideia, ilustrada na figura 5-7, na qual uma ferramenta extra é necessária para satisfazer o requisito, é um

projeto redundante porque o FR – rolha permanece na casca após a agulha ser retirada – é ajustado por três DP: ferramenta especializada, superfície de acoplamento na rolha e superfície de acoplamento na cabeça de injeção; a terceira ideia, ilustrada na figura 5-8, o mesmo FR é satisfeito com dois DP: um encostador na cabeça de injeção e uma superfície de acoplamento na rolha.

A primeira ideia é a melhor, mas um mecanismo flexível só pode ser sintetizado com materiais pouco compressíveis e pouco elásticos, difícil de tornar ecológico (ex.: polímeros). Entre as restantes ideias a terceira tem a vantagem de ser mais simples e, caso se verifique que a primeira ideia é exequível podem combinar-se ambas numa solução redundante, onde expectavelmente a fiabilidade aumente.

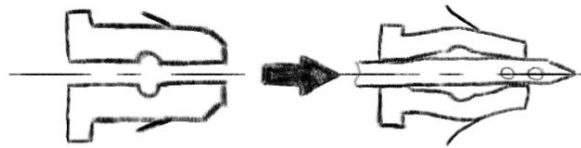


figura 5-6 Rolha com espigões e/ou com mecanismo flexível (*compliant mechanism*), semelhante a uma bucha. A rolha expande com o corpo penetrante e faz pressão na casca da árvore.

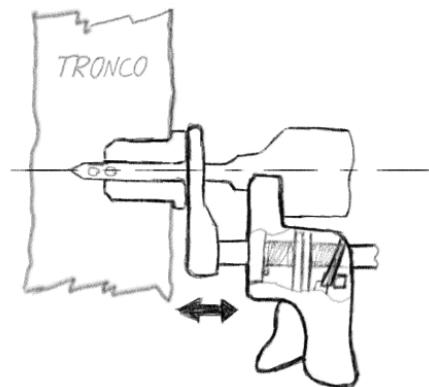


figura 5-7 Ferramenta semelhante a um grampo invertido (faz força para abrir). Um dos encostos monta na rolha (pressionando-a contra a árvore); o outro monta na cabeça de injeção (empurrando-a na direção oposta).

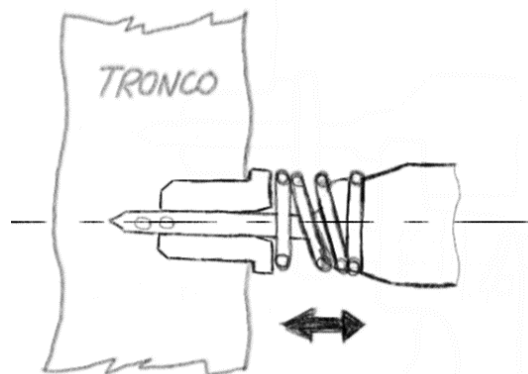


figura 5-8 A cabeça de injeção comporta um batente que pressiona a rolha contra a árvore.

---

## 5.2.2 Penetrar

É o problema de inserir um meio de injeção no interior do tronco, mais concretamente no xilema (zona de translocação), causando o menor dano possível à árvore e ser fácil de realizar a tarefa. O problema envolve principalmente o projeto conceptual, o original e o de seleção. Apesar de não estar ao mesmo nível de dificuldade do problema vedar, está longe de ser trivial uma vez que se pretende a qualidade de novidade. Para além do mais é a parte do projeto em que foi dada mais liberdade, essencialmente uma folha em branco, que é sempre uma situação assustadora, mas também entusiasmante para um projetista/designer. O problema penetrar é sucessivamente decomposto; fundamentalmente quer-se uma forma de receber, acumular/transformar e transferir energia para um corpo penetrante. Cabe ao projetista gerar e escolher adequadamente as ideias para cada um destes problemas. O próximo passo é organizar todas as ideias encontradas nos passos anteriores (procura interna e externa) em tabelas de combinação. A tabela tem espaços para cada problema; em cada espaço são colocadas as ideias encontradas para esse problema; de seguida, e sem criticar/avaliar, escolhe-se uma ideia por problema e juntam-se todas as ideias para formar uma solução conceptual. O objetivo aqui é tentar explorar o máximo de combinações possível e fazê-lo rápido. Só no subproblema energético/mecanismo existem 672 combinações possíveis ( $7 \times 6 \times 4 \times 4$ ), e o problema penetrar só fica completo com o corpo penetrante e a interação com o corpo vedante num total de quase 500.000 de combinações possíveis. Claro que algumas são logo excluídas por serem impossíveis – por cada caminho combinatório impossível cortado o espaço das soluções reduz exponencialmente –. Todas as soluções conceptuais possíveis são anotadas e só depois há um processo de triagem. As soluções que passam o processo de triagem são esboçadas na documentação acessória e aguardam avaliação.

Problema Energético/Mecanismo (Tabela de Combinação)

Tabela 5-2 Exploração e combinação do espaço de ideias para o problema energético/mecanismo. Existem 672 combinações possíveis (7 x 6 x 4 x 4).

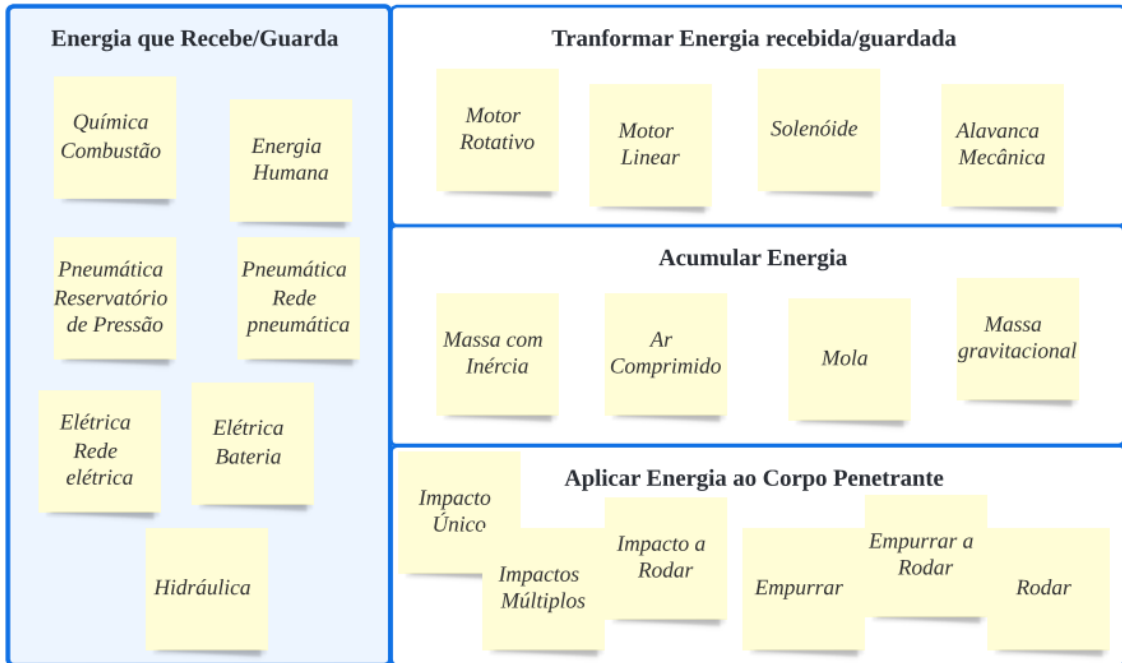
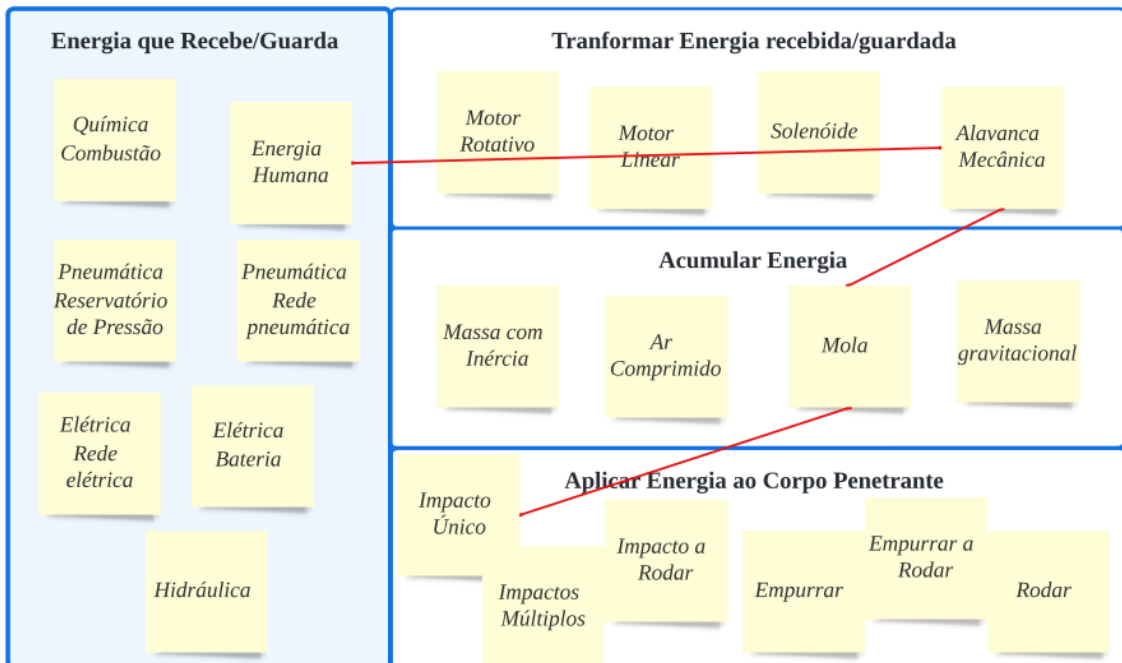


Tabela 5-3 Um caminho combinatório possível: Energia Humana + Alavanca Mecânica + Mola + Impacto Único, figura 5-9.



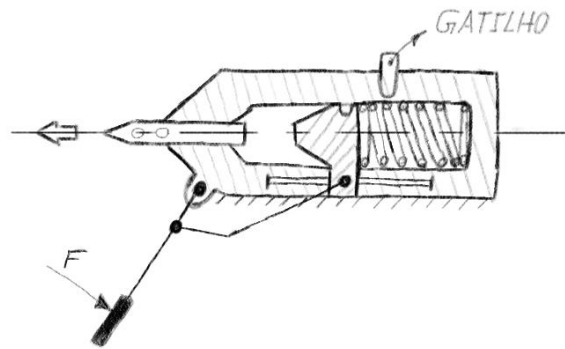
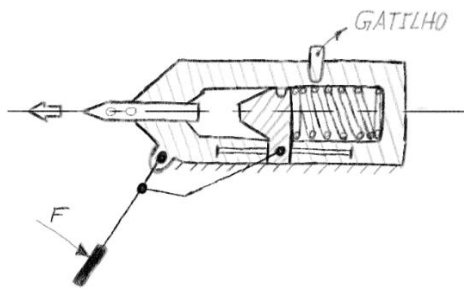
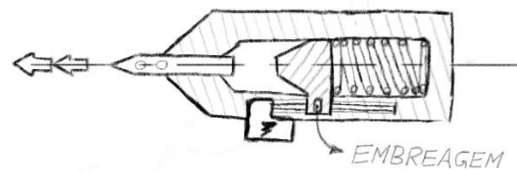


figura 5-9 Esboço da solução conceitual resultante da combinação das ideias: Energia Humana + Alavanca Mecânica + Mola + Impacto Único. Outros exemplos de soluções encontram-se na Tabela 5-4.

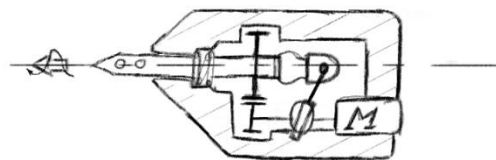
Tabela 5-4 Vários esboços de soluções conceituais possíveis através da combinação das ideias da Tabela 5-2.



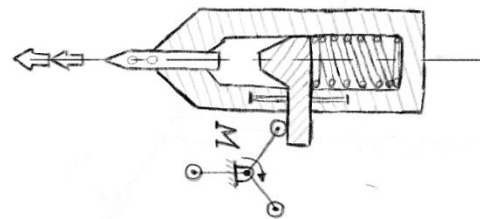
1) E. Humana + Alavanca Mecânica + Mola + Impacto Único



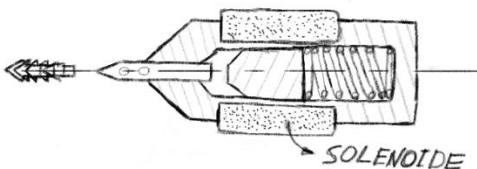
2) E. Elétrica + Motor Linear + Mola + Impactos Múltiplos



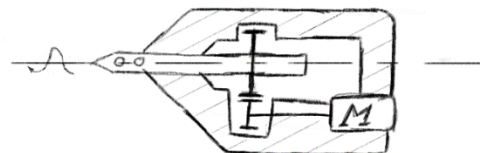
3) E. Elétrica + Motor Rotativo + M. c/Inércia + Impacto a Rodar



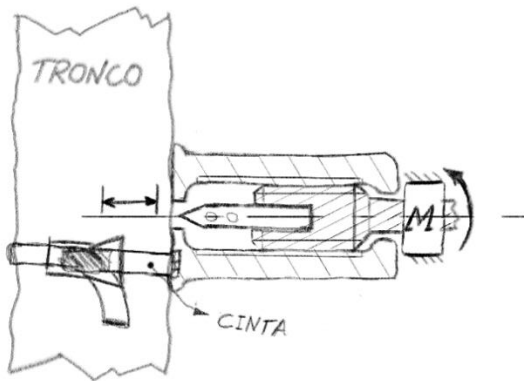
4) E. Elétrica + Motor Rotativo + Mola + Impactos Múltiplos



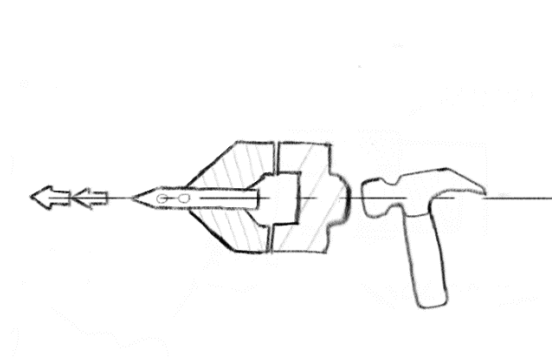
5) E. Elétrica + Solenoide + Mola + Impactos Múltiplos



6) E. Elétrica + Motor Rotativo + M. c/Inércia + Rodar



7) E. Elétrica + Motor Elétrico + Empurrar



8) E. Humana + Alavanca + Massa c/Inércia + Impacto Múltiplo

### Corpo Penetrante (Tabela de Combinação)

Tabela 5-5 Exploração e combinação do espaço de ideias para o problema corpo penetrante. Existem 240 combinações possíveis (4 x 3 x 4 x 5).

Acoplamento (Cubo)			
Engate rápido de colar e esferas	Rosca	Compressão	Normalizado uso médico/veterinário
Cânula			
Secção Circular	Gumes de Corte	Secção Elíptica	
Furação			
Furação Circular Lateral	Furação Elítica Lateral	Ponta Aberta	Rasgo Lateral
Ponta			
Lanceta com Biséis	Trocarte	Afilada	Extremidade Achatada
			Cônica

Tabela 5-6 Um caminho combinatório possível para o problema corpo penetrante: Compressão + Secção Circular + Furação Circular Lateral + Trocarte, figura 5-10.

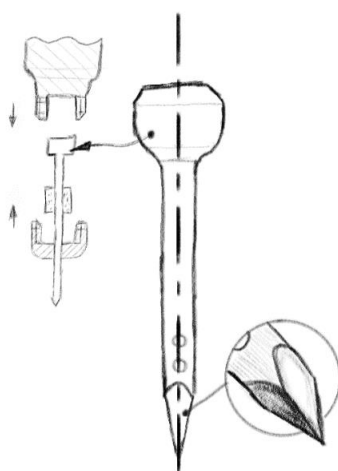
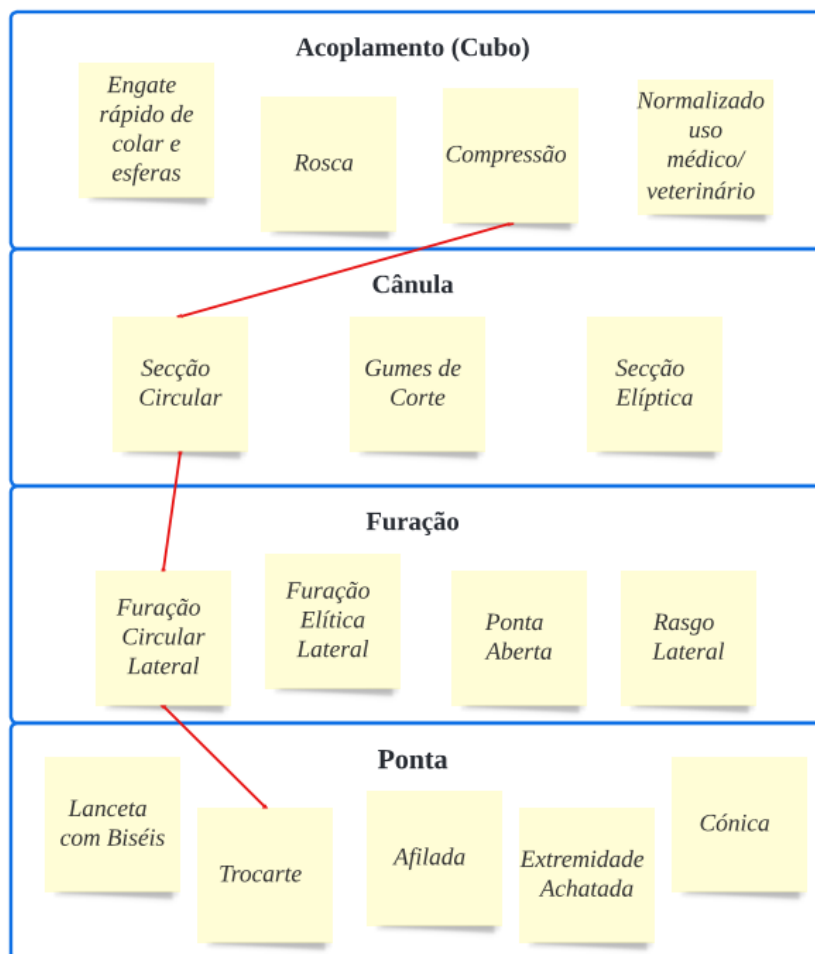
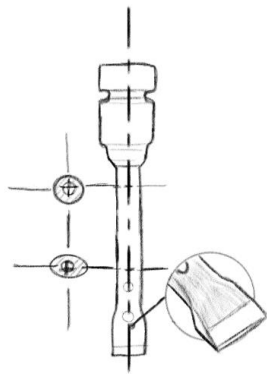
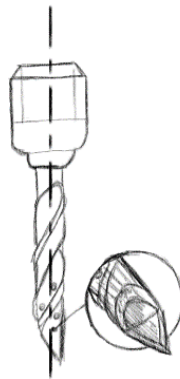


figura 5-10 Esboço da solução conceptual para o corpo penetrante resultante da combinação das ideias: Compressão + Secção Circular + Furação Circular Lateral + Trocarte. Outros exemplos de soluções encontram-se na Tabela 5-6.

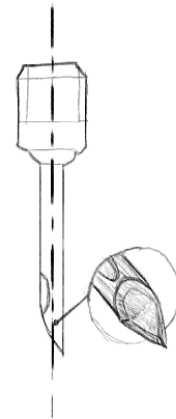
Tabela 5-7 Esboços de soluções conceituais do corpo penetrante possíveis através da combinação das ideias da Tabela 5-5.



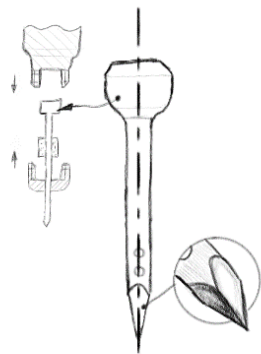
1) Engate Rápido + Secção Elíptica + Furação Circular Lateral + Achatada



2) Rosca + Gumes de Corte + Furação Circular Lateral + Lanceta com Biséis



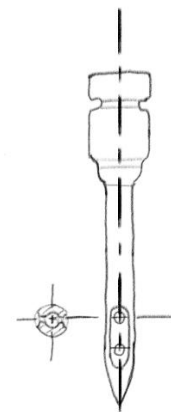
3) Rosca + Secção Circular + Rasgo Lateral + Lanceta com Biséis



4) Compressão + Secção Circular + Furação Circular Lateral + Trocarte



5) Normalizado + Gumes de Corte + Furação Circular Lateral + Cônica



6) Cônica + Furação elítica + Engate rápido + Trocarte

### 5.2.3 Injetar

Das três ações principais, injetar, é a de menor dificuldade, sendo que o maior desafio é responder à necessidade de manter a temperatura do PF acima do ponto de fusão. O objetivo não é conceber e desenvolver uma máquina injetora inovadora ou potencialmente disruptiva, mas sim projetar ou adaptar um sistema convencional com ou sem assistência elétrica/pneumática (ambos os sistemas existem). Este projeto pode ser classificado como de seleção, configuração e paramétrico. Durante a dissertação e como consequência do grande alcance deste projeto, a máquina injetora ideal é imaginada com um nível de abstração elevado e sem atenção aos constrangimentos do projeto. A máquina injetora é eficiente, leve, motorizada, usa baterias comuns como fonte de energia, controla a pressão de injeção consoante a variabilidade natural da árvore, rápida e intuitiva para o operador.

Na fase de desenvolvimento, posterior à dissertação, um protótipo da cabeça de injeção (protótipo físico, compreensivo e de alta-fidelidade) vai ser fabricado com a característica de funcionar com uma vasta gama de máquinas injetoras existentes no mercado. Isto irá ser conseguido com ligações

---

hidráulicas normalizadas e/ou com componentes comutáveis. Com o conhecimento ganho nos testes do protótipo, vai ser possível conceber e desenvolver uma máquina injetora sem caráter de novidade, ou adaptar integralmente uma máquina injetora existente para ser utilizada com a cabeça de injeção. Deste modo não se deu mais atenção a esta família do problema.

### 5.3 Contradições Encontradas (TRIZ)

As contradições são vistas em engenharia como cedências. A contradição é identificada quando há o melhoramento de uma característica em deterioramento de outra. As contradições encontradas:

1. A agulha deve ser o mais resistente possível. Aumentar o diâmetro da agulha aumenta a sua resistência (bom), mas dificulta vedar o local de injeção e aumenta o tamanho da ferida causada na árvore (mau);
2. A agulha deve ser longa (bom) e curta (bom) dependendo da árvore a ser tratada;
3. A rolha tem de vedar o local de injeção. Aumentar a sua fiabilidade (bom), confiar nas propriedades elásticas de materiais não degradáveis (mau);
4. A rolha tem de permanecer na árvore. Aumentar a sua fiabilidade quanto à sua capacidade de permanecer na árvore após ser puxada durante a retirada da agulha (bom), mas aumentar a sua área ou volume (mau);

Através dos princípios do TRIZ é possível solucionar todas estas contradições. Existem ferramentas que guiam o processo de aplicar o TRIZ como as tabelas interativas de Oxford Creativity em [www.triz.co.uk](http://www.triz.co.uk). Uma dificuldade encontrada para o projetista sem experiência é entender os 40 princípios do triz, a Oxford Creativity mandou que todos os princípios fossem ilustrados e apresentados de forma não assustadora para que qualquer um consiga entender e aplicar o TRIZ.

#### 2. Retirar

- b. extrair só a parte ou propriedade necessária

Por observação da natureza (biomimética) todos os animais que escavam ou furam numa escala macro, fazem-no rápido com ações sucessivas com alta frequência. O Pica-pau, para além da morfologia do bico, usa múltiplos impactos com baixa força para perfurar/escavar o tronco da árvore sem danificar o seu bico. Extrair a propriedade necessária do Pica-Pau – múltiplos impactos, baixa força –. (não é novidade no mercado)

#### 7. Boneca Russa

- a. Conter um objeto dentro de outro, que por sua vez é contido noutra objeto.
- b. Um objeto passa através de outro objeto.

Fazer a agulha passar por dentro de outro objeto como um encostador ou uma guia, permite regular a profundidade da penetração e usar apenas um tamanho de agulha. (é novidade no mercado)

## 9. Contra Ação Prévia

- a. Se for necessário realizar uma ação, considerar uma contra ação antecipadamente.
- b. Se um objeto tem de estar sob tensão, fornece anti tensão antecipadamente.

Posicionar um encostador antes da ação penetrar alivia a tensão na agulha (anti tensão). À partida sabe-se que a agulha vai ser retirada após a injeção, ter o encostador posicionado a guiar a agulha alivia a tensão na agulha. (é novidade no mercado)

## 10. Ação Prévia

- a. Realizar a ação pretendida antecipadamente, totalmente ou parcialmente.
- b. Dispor os objetos para que entrem em ação, sem perda de tempo enquanto aguardam a ação (e da posição mais conveniente)

Para aliviar a tensão na agulha, a ação perfurar pode ser realizada com outro objeto (berbequim, ou punção adequada). (não é novidade no mercado/não foi usado)

A disposição de todos os objetos vai ser considerada no futuro do projeto.

## 11. Amortizar Antecipadamente

- a. Compensar a fiabilidade relativamente baixa de um objeto através de contra medidas prévias

Projetar um corpo que impeça a rolha de sair da árvore quando a agulha injetora é retirada. (é novidade no mercado)

## 15. Dinamismo

- a. Fazer com que as características de um objeto ou ambiente exterior se ajustem automaticamente para um desempenho ótimo para cada etapa da operação.

Fazer com que o cubo da agulha não seja rígido, assim quando esta sofrer um carregamento exterior durante a operação, o mecanismo flexível do cubo reage aliviando a tensão na agulha que de outra forma falhava à flexão. (é novidade no mercado)

## 17. Movimento noutra Dimensão

- a. Remover os problemas relacionados com mover um objeto sobre uma linha, permitindo um movimento bidimensional contido num plano.

Em vez de puxar longitudinalmente ao eixo da agulha para a retirar – que é um movimento desajeitado e difícil para manter a agulha direita – pode, através do movimento relativo entre um conjunto de roscas, passar este movimento linear a um rotativo e confortável – manivela – contido num plano normal ao eixo da agulha. (é novidade no mercado)

## 18. Vibração Mecânica

- a. Colocar um objeto em oscilação.
- b. Se uma oscilação existe, aumentar a sua frequência, mesmo até ao ultrassónico.

---

Colocar a agulha a oscilar (impactos a uma frequência) e jogar com a frequência. Foi considerado usar um solenoide ou outro tipo de martelo elétrico de alta frequência. O resultado é semelhante aquele obtido pelo princípio 2. Retirar, mas com uma frequência muito mais alta. (é novidade no mercado)

#### 21. Apressar

- a. Realizar ações prejudiciais ou perigosas a uma velocidade muito alta.

Penetrar o tronco com um impacto único pode ser a solução para não deformar a agulha. Não foi testado apropriadamente, mas é um caminho com potencial se conjugado com outras características.

#### 23. Retorno (*Feedback*)

- a. Introduzir um retorno.

Retorno que indica quando a agulha alcança a profundidade desejada (xilema). (não foi usado/ é novidade no mercado)

#### 28. Substituir um Sistema Mecânico

- a. Usar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interagir com o objeto.

Usar um solenoide para oscilar a agulha a uma certa frequência. É uma das possibilidades no futuro do projeto. (é novidade no mercado)

#### 30. Membranas Flexíveis / Camada fina

- a. Isolar um objeto do ambiente exterior com uma camada ou membrana fina.

Tratamento superficial de baixo atrito na superfície da agulha, diminui a força de atrito que puxa a rolha para fora da casca quando a agulha é retirada. (é novidade no mercado)

#### 40. Material Compósito

- b. Substituir um material homogêneo por um compósito.

Substituir o aço da agulha por um material compósito (não foi usado/é novidade no mercado). Fabricar a rolha a partir de um material compósito com boa capacidade de recuperação e biodegradável (pode ser novidade no mercado, já existe uma “rolha” solúvel, mas sem boa capacidade de recuperação)

## 5.4 Classificação e Seleção de Ideias

O próximo passo do modelo do projeto é avaliar e escolher as ideias a desenvolver. Seguindo o fluxograma D, figura 5-11, começa-se por planejar uma matriz de decisão/seleção seguindo uma lista de ações, para avaliar as ideias. A dificuldade em selecionar ideias conceptuais é que têm de ser avaliadas e escolhidas com o conhecimento limitado que houver. Idealmente nesta fase já se reuniu o conhecimento suficiente sobre cada ideia conceptual para tomar a decisão de alocar todos os recursos do projeto para desenvolver “a ideia”. No entanto é menos arriscado aprimorar várias ideias antes de tomar tal decisão; nisto dispersam-se os recursos do projeto e possivelmente nenhuma das ideias é bem

desenvolvida. Para diminuir o risco associado ao projeto sem dispersar os seus poucos recursos, o modelo do projeto comporta uma matriz de decisão (existem vários métodos para matrizes de decisão, ex.: Método de Pugh). Apesar do planeamento o processo divergiu do modelo adotado. Todo o processo de avaliação, seleção e combinação de ideias desenrolou-se de forma orgânica ao passo dos protótipos, das reuniões e de pequenos momentos isolados onde pedaços essenciais de conhecimento eclodiam. Desarte, a seleção da ideia a desenvolver ficou ao encargo do discernimento da equipa do projeto. Quatro ideias sobreviveram para a cabeça de injeção:

- a. A combinação das ideias números 8) do problema energético da Tabela 5-2, e 4) do corpo penetrante da Tabela 5-4. (desenhos no anexo B: CNCPT\_1). Esta ideia é inovadora;
- b. A combinação das ideias números 7) do problema energético da Tabela 5-2, e 4) do corpo penetrante da Tabela 5-4. (desenhos no anexo B: CNCPT\_2). Esta ideia é inovadora;
- c. A combinação da ideia número 3) do problema energético da Tabela 5-2, com um corpo penetrante sem gumes de corte e cortes elípticos. Esta ideia é segura – há conhecimento suficiente para afirmar que é exequível e satisfatória – mas não é totalmente inovadora, apenas uma melhoria ao EEV da Sidewinder® (troca a broca injetora por uma agulha injetora).

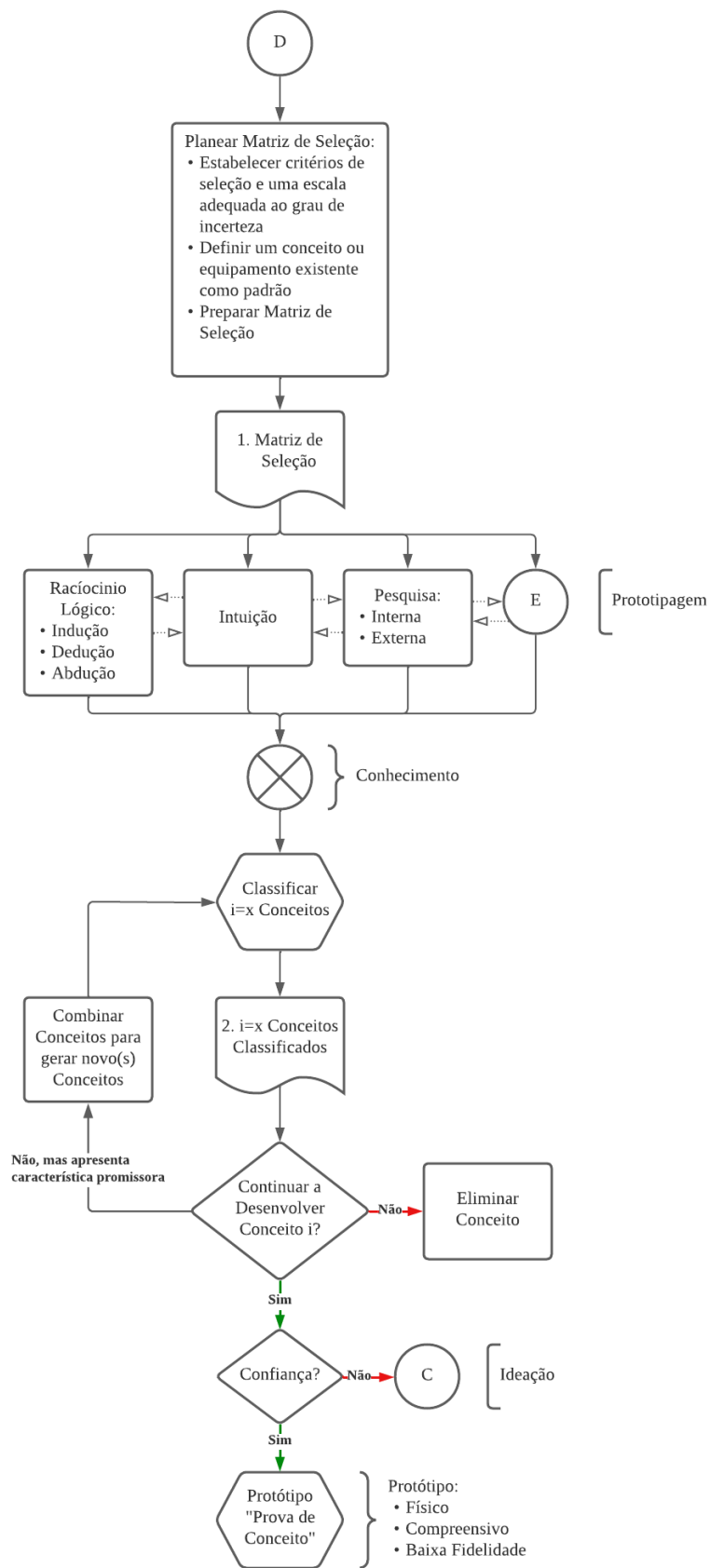


figura 5-11 Fluxograma prescritivo D, Seleção de Ideias



## PROTOTIPAGEM

Define-se protótipo como sendo uma aproximação do produto segundo uma ou mais dimensões de interesse. Qualquer entidade que exiba pelo menos um aspeto do produto, que seja do interesse da equipa do projeto, pode ser encarado como um protótipo. Esta definição desvia-se da utilização padrão na medida em que inclui formas tão diversas de protótipos como esboços, modelos matemáticos, simulações, componentes de teste e até versões de pré-produção totalmente funcionais do produto. Usaram-se protótipos para aprofundar o conhecimento sobre as ideias geradas, de modo a tomar decisões como eliminar, selecionar, combinar ou desenvolver a ideia.

Os protótipos podem ser classificados de forma útil segundo duas dimensões principais: tangibilidade e extensão; e uma terceira dimensão, a fidelidade. A tangibilidade indica se o protótipo é físico ou analítico, num espectro. Um protótipo físico é um objeto tangível que se aproxima ao produto com um determinado grau de fidelidade. Geralmente são fabricados com o intuito de ensaios reais. Os protótipos analíticos representam o produto de forma não tangível com um certo grau de fidelidade. Cálculos, modelos de FEM ou FDC, desenhos técnicos e modelos paramétricos de DAC são protótipos analíticos. A dimensão da extensão indica o quão compreensivo ou focado é o protótipo. Um protótipo compreensivo implementa a maioria senão todos os atributos que formam o produto. Em contrapartida um protótipo focado “foca-se” na representação de apenas um ou poucos atributos do produto. Pela definição utilizada há uma correlação entre a extensão e a fidelidade do protótipo, no entanto existem protótipos focados de alta-fidelidade e compreensivos de baixa, ex.: um desenho de conjunto de todo o produto, é um protótipo analítico, compreensivo (é o conjunto de todos os subsistemas que constituem o produto), mas de baixa fidelidade (representação distante da realidade do produto). Enquanto um componente na fase de pré-produção desse mesmo produto é físico, focado e de alta-fidelidade. A fidelidade do protótipo indica o grau de aproximação ao produto. Um protótipo de produção é considerado de alta-fidelidade pois é quase idêntico ao produto (em alguns casos igual), serve apenas para testar a habilidade ou a capacidade da produção na tentativa de aumentar a qualidade do projeto. Os cálculos na parte de trás de um envelope são de baixa fidelidade, mas permitem rapidamente testar a viabilidade de uma ideia. No processo de desenvolvimento mecânico há uma correlação positiva entre a fidelidade e a tangibilidade do protótipo uma vez que o produto final é sempre físico (no caso da engenharia mecânica).

A regra geral é a fiabilidade dos protótipos aumentar há medida que o processo de desenvolvimento avança.

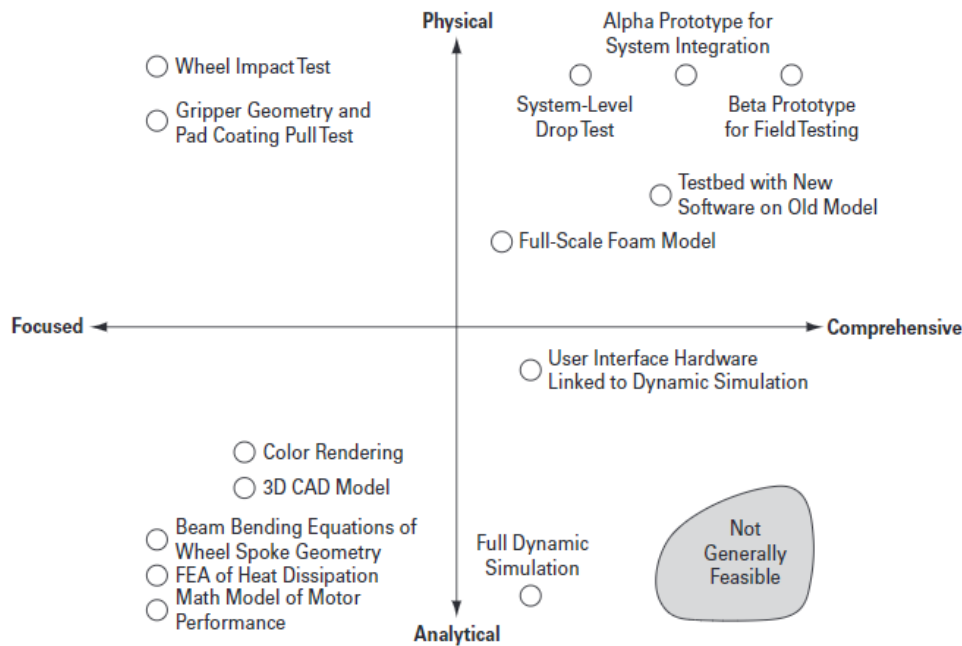


figura 6-1 Tipos de protótipos segundo as duas dimensões principais. Os protótipos podem ser classificados quanto ao seu grau de tangibilidade na medida em que são físicos e quanto ao número de partes ou subsistemas que abrange. (imagem retirada de Ulrich & Eppinger, 2016)

## 6.1 Testar Corpo Vedante

Seguindo o fluxograma D, figura 5-11 do subcapítulo 5.4, uma das formas de obter conhecimento acerca das ideias geradas ou encontradas é através de protótipos e ensaios. O processo de prototipagem, na sua generalidade, seguiu o processo ilustrado no fluxograma E, figura 6-2, e é exemplificado acompanhando o teste das ideias para o corpo vedante – Testar Rolhas – no qual se planeia e projeta uma máquina que simula a pressão de injeção durante a atividade da EV; fabricaram-se e testaram-se as várias ideias para as rolhas. Praticamente todas as ideias encontradas para o corpo vedante são rolhas e daqui adiante as palavras corpo vedante e rolha são usadas de forma intercambiável.

### 6.1.1 Definição e Planeamento

A primeira etapa do processo de prototipagem é definir o caderno de encargos do protótipo; isto é, identificar o seu objetivo, definir adequadamente as suas dimensões, definir um método/procedimento experimental, orçar e calendarizar, como se observa na tabela 6-1.

O corpo vedante é o problema com menos conhecimento dentro do projeto. É importante seguir um processo que permita ganhar o máximo de conhecimento no menor tempo possível. O objetivo para o teste das rolhas é então: testar o máximo de materiais/formas para a rolha e rapidamente, para ganhar conhecimento dos mecanismos em jogo e descobrir fenómenos imprevistos.

Os protótipos analíticos – aproximações matemáticas – são mais flexíveis que os protótipos físicos; numa simulação computacional através da variação de alguns parâmetros, obtém-se uma grande quantidade de dados e conhecimento em pouco tempo. No entanto os protótipos físicos são uma obrigatoriedade para detetar fenómenos não antecipáveis. O protótipo que melhor se alinha com o objetivo é por isso o físico. Como o problema é simples podem fabricar-se protótipos compreensivos e com um grau médio/alto de fidelidade.

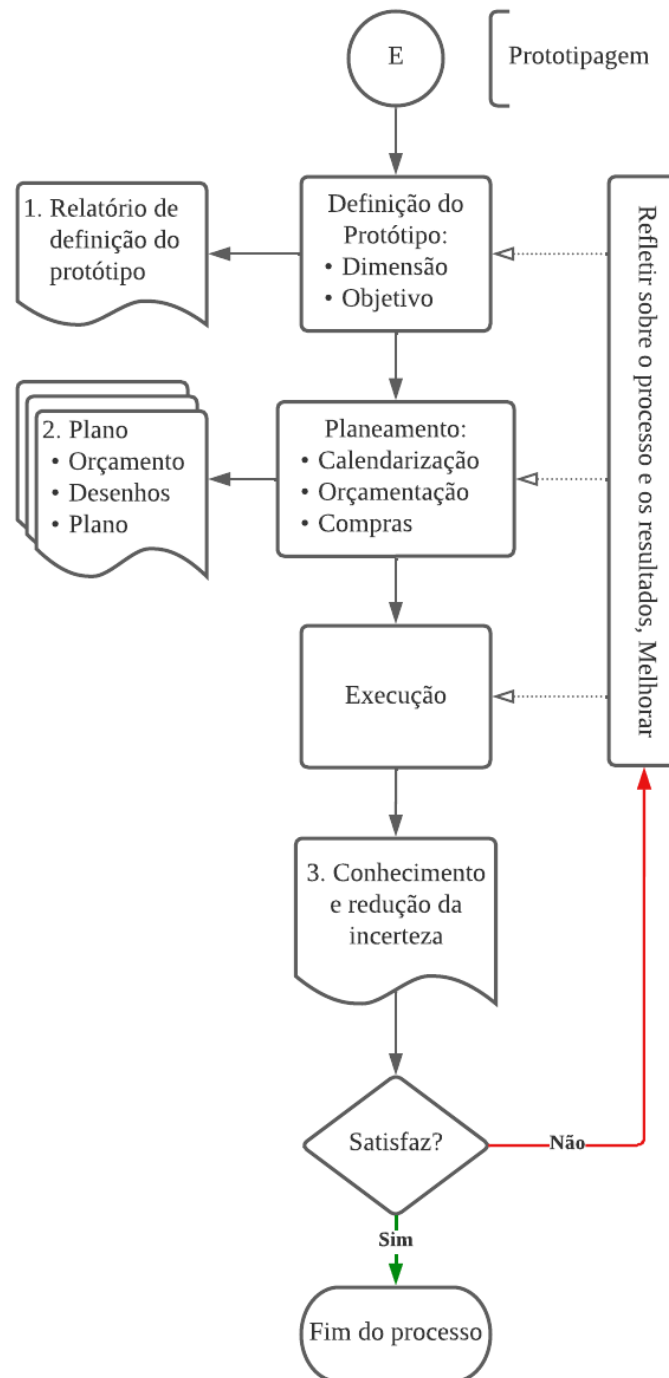


figura 6-2 Fluxograma prescritivo E, Prototipagem

Tabela 6-1 Caderno de Encargos para o protótipo Testar Rolhas.

<b>Testar Rolhas</b>	
<b>objetivo</b>	Testar o máximo de materiais e formas para a rolha, rapidamente, para ganhar conhecimento dos mecanismos em jogo e descobrir fenómenos imprevistos.
<b>dimensão</b>	Físicos, Compreensivos e de fidelidade média-alta.
<b>Orçamento</b>	Fundo de maneiio ( $\pm 100\text{€}$ ), sucata nos laboratórios do DEMI e máquinas do DEMI consoante disponibilidade.
<b>Calendarização</b>	<p>Início – 14/3/22      Planeamento e Orçamento.</p> <p>14/3/22 – 3/6/22      Projetar e Fabricar uma máquina emuladora do local de injeção.</p> <p>14/3/22 – 3/6/22      Fabricar as rolhas da Tabela 5-1 fazendo variar as dimensões e material: papel, cortiça, borracha natural, espuma, celulose, entre outros.</p> <p>6/6/22 – 4/7/22      Ensaaios experimentais e resultados.</p>
<b>Procedimento</b>	<p>Rolha controlo: ArborSystems™</p> <p>Cada tipo de rolha a ser ensaiada faz parte de um conjunto de 3 rolhas idênticas, figura 6-11.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar uma rolha nova na peça que emula o local de injeção (Apêndice B, TR_1_1);</li> <li>2. Com um prego <math>\varnothing 1,8\text{mm}</math> penetrar a rolha;</li> <li>3. Pressionar a alavanca da máquina de injeção até pressurizar o local de injeção.</li> <li>4. Retirar o prego devagar. Nas primeiras duas rolhas do conjunto observar a rolha. Na última rolha observar o manómetro.</li> <li>5. Tirar notas e repetir o processo para outro conjunto de rolhas.</li> </ol>

## 6.1.2 Máquina Emuladora

Quer projetar-se e fabricar uma máquina emuladora do local de injeção durante a atividade da EV que permite controlar a pressão de injeção até 6 bar. Na primeira reunião da equipa do projeto foi apresentada a ideia da figura 6-3 que utiliza componentes normalizados para formar um circuito hidráulico simples, com o controlo das variáveis de interesse. Esta ideia oferece o conjunto de características procuradas e é relativamente rápido de desenvolver e fabricar, mas também é evidente que sai fora do orçamento.

Após descartar a primeira ideia, pensou-se em adaptar um macaco hidráulico – abrir o seu circuito hidráulico e ligar uma mangueira a um tronco de árvore perfurado com os vários diâmetros e profundidades admissíveis para a injeção – que mais tarde evoluiu para adaptar uma bomba repartidora de um automóvel sucateado; na figura 6-4 está registado o momento em que se apresentou esta última ideia para discutir possíveis limitações. Com a ideia selecionada começou o processo de procurar, angariar e escolher sucata para projetar a máquina emuladora, a figura 6-5 é uma digitalização do desenho da solução projetada para a máquina emuladora. A figura 6-6 e figura 6-7 expõe parte do processo de fabricar algumas peças da máquina emuladora. A máquina fabricada tem uma pressão máxima desconhecida (possível de calcular teoricamente) mas muito acima dos 6 bar intencionados e oferece bom controlo com uma alavanca longa. Adquiriram-se 3 manómetros com alcances diferentes, 0-2 bar, 0-6 bar e 0-10 bar, mas nenhum deles com leitura de pico (bom de se ter, mas não é indispensável).

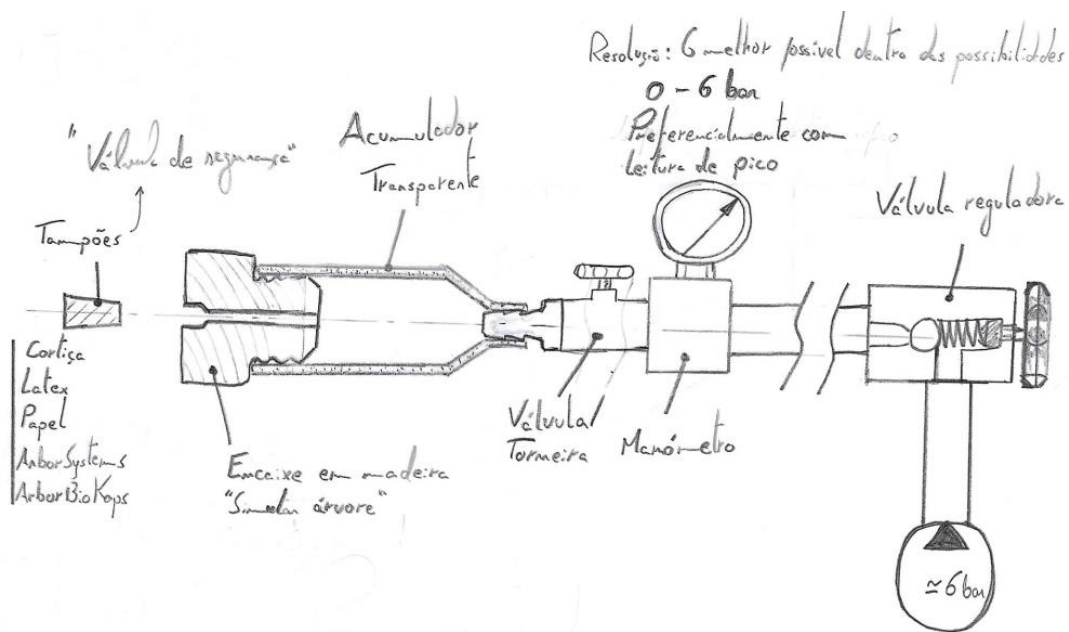


figura 6-3 Documentação Acessória. Esboço apresentado na primeira reunião da equipa de projeto, com a finalidade de definir uma ideia para ser projetada e fabricada. O circuito hidráulico simples da figura tem um reservatório ou bomba de pressão, para pressurizar o PF que passa por um manómetro (com indicador da leitura de pico) e acaba numa câmara com um encaixe de madeira (emular a casca da árvore) tapado pela rolha a ensaiar.

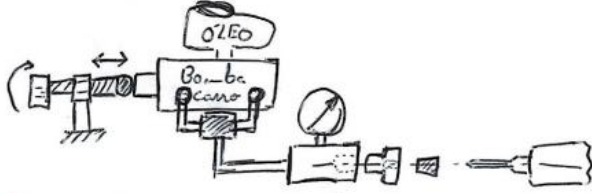
Relatório - Reunião com Biostasia. Sexta-feira 8/4/22. Ponto de situação #2	
<b>Produto:</b> Injetor para microinjeção vegetal	<b>Empresa:</b> FCT-UNL & BIOSTASIA
<b>Resumo:</b> Apresentar o trabalho desenvolvido até este ao Carlos (CEO Biostasia) → 6 que até a um fato → 6 plano → Solução Conceptual	
<p>1. Foi apresentada a planificação do projeto: Invenção; Ideação; Desenvolvimento; Protótipo.</p> <p>Está a construir-se um banco de testes para emular a árvore:</p> 	
<p>2. Com alguma brevidade explicou-se o que se até a fazer no projeto</p>	

figura 6-4 Documentação Acessória. Reunião com apresentação da planificação do protótipo (máquina emuladora com a bomba repartidora adaptada).

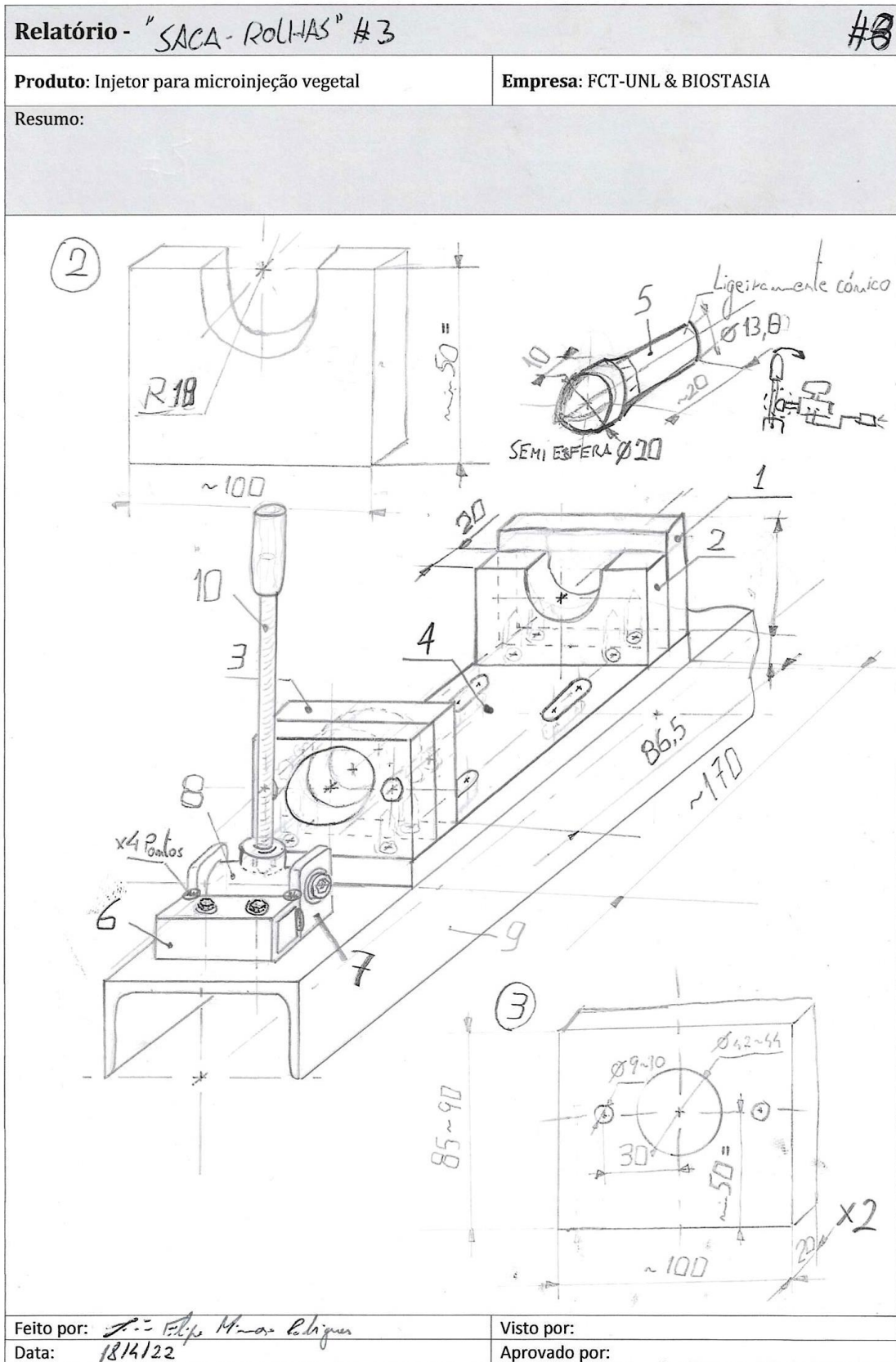


figura 6-5 Desenho técnico à mão livre da máquina emuladora.



figura 6-6 Máquina emuladora do local de injeção com a bomba repartidora adaptada; outros desenhos técnicos no Apêndice B. 1. A Máquina Emuladora 2. Brasagem da cruzeta para ligar as duas linhas de pressão que saem da bomba repartidora, a mangueira que transporta o PF até à ligação mangueira/rolha e o manómetro.

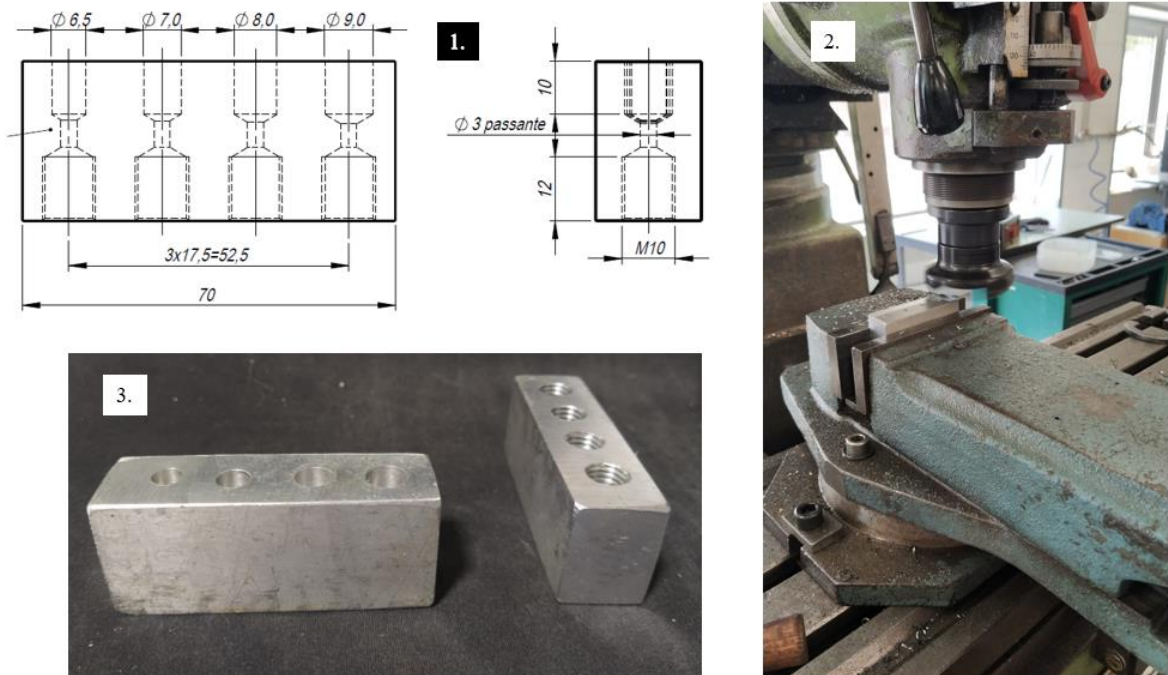


figura 6-7 Ligação hidráulica máquina/rolha; desenhos técnicos no Apêndice B. 1 TR\_0\_1. Parte do desenho técnico da ligação 2. Fabrico com retificação de uma das faces (o material base era um paralelepípedo de alumínio com faces não paralelas) 3. A peça acabada.

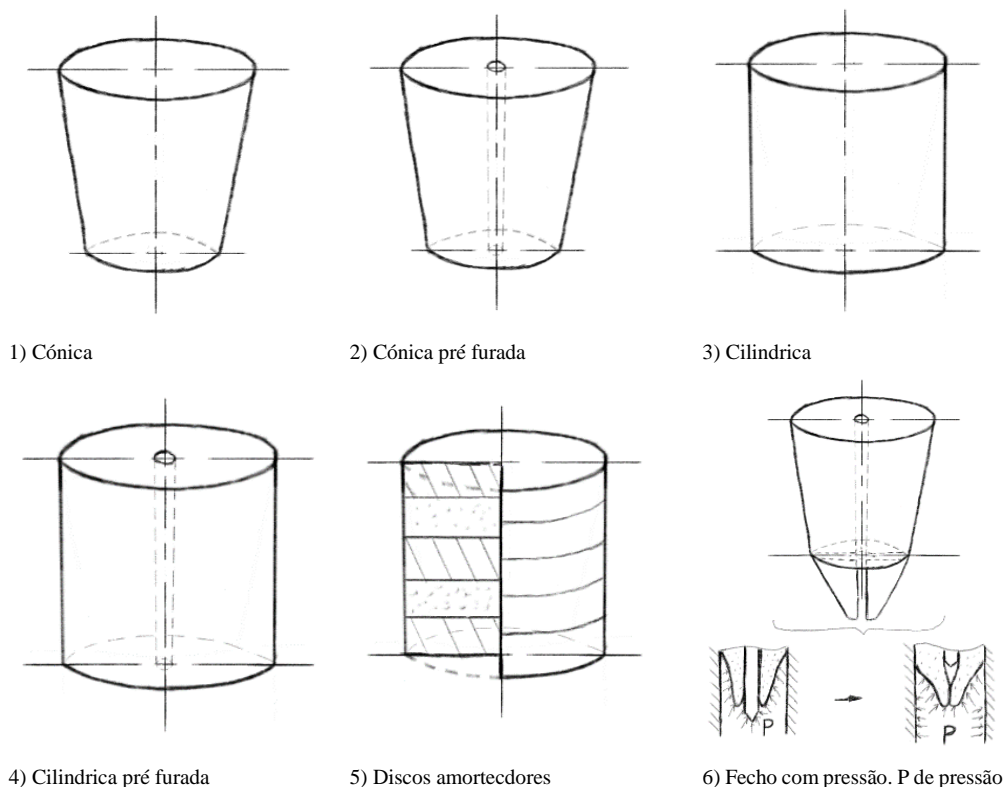
### 6.1.3 Corpo Vedante

O constrangimento principal do corpo vedante é o material, que simultaneamente é biodegradável, passa a imagem de ser ecológico, é capaz de vedar com fiabilidade e é de baixo custo. Os materiais considerados são:

- Papel reciclado compactado (caixas de ovos, cartão, vários tipos de folhas de papel, etc);
- Feltros (celulose dos filtros para cigarro, lã);
- Cortiça (natural e aglomerada);
- Silicone (Suba-Seal®);
- Borracha Natural;
- Rolha de discos amortecedores (várias combinações de materiais);
- Espuma (proteções de ouvidos de alta densidade);
- Gel balístico (feito com gelatina em pó de compra numa proporção de 1:10 m/m%)
- massa (farinha, água, leveduras e outros ingredientes capazes de produzir massas elásticas; Ex.: Bánh da lợn é um bolo de camadas vietnamita denso e elástico e a True Gum que é uma alternativa biodegradável à pastilha elástica).

O outro constrangimento da rolha é a dimensão; o corpo vedante não passa da casca da árvore e não salta à vista (se o diâmetro for demasiado largo não é visto como ecológico). As ideias para a forma da rolha (do capítulo de ideiação) estão representadas na Tabela 6-2.

Tabela 6-2 As formas que foram ensaiadas. A rolha tem de estar contida num cilindro imaginário com diâmetro de 11mm e altura de 15mm.



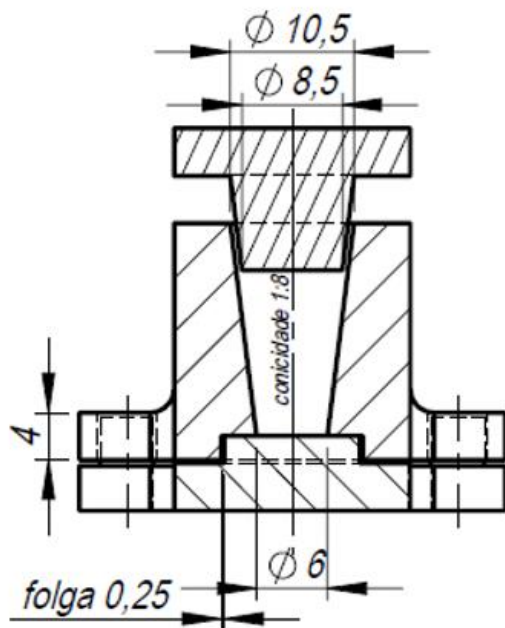


figura 6-8 Molde para fabricar as rolhas de papel e eventualmente outros materiais com características semelhantes; à esquerda está parte do desenho técnico do molde (completo no Apêndice B.); à direita está o molde fabricado por FDM e algumas rolhas cónicas produzidas.



figura 6-9 Rolha em cortiça talhada. Rolha fecho com pressão, Tabela 6-2: 6). Como referência a agulha da fotografia tem 2mm de diâmetro.



### 6.1.4 Ensaios

Seguiu-se o procedimento ilustrado na figura 6-11: 1. Colocar rolha no local de injeção; 2. Penetrar a rolha com um prego; 3. Pressurizar o local de injeção; 4. Retirar o prego: observar rolha e manómetro. Anotar observações. Os resultados dos ensaios encontram-se no subcapítulo 7.2 Corpo Vedante.

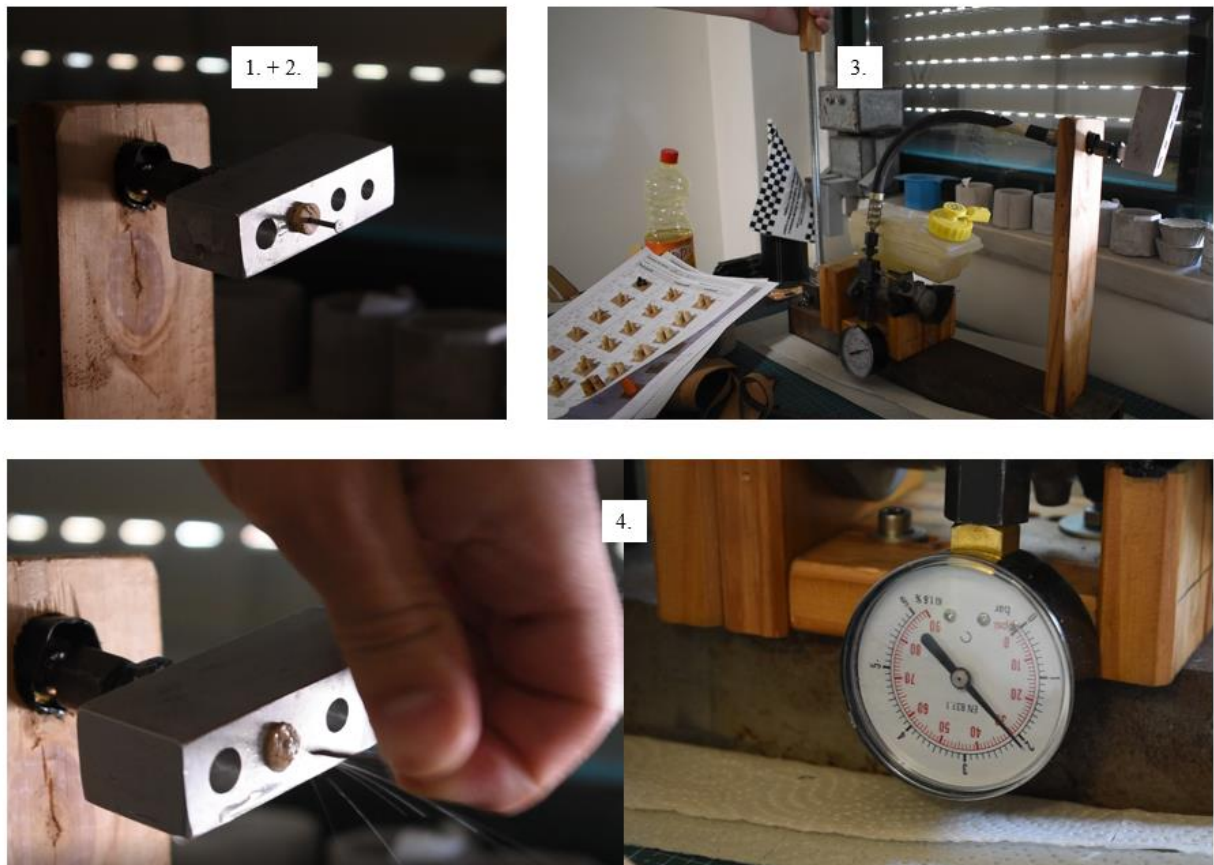


figura 6-11 Procedimento Experimental: 1. Colocar rolha no local de injeção; 2. Penetrar a rolha com um prego; 3. Pressurizar o local de injeção; 4. Retirar o prego: observar rolha e manómetro. Anotar observações.

## 6.2 Outros Protótipos

O processo de ideação foi sempre acompanhado de protótipos para aumentar o conhecimento do projeto. Seguem-se alguns exemplos.

### Protótipo 1. - Agulha (Analítico, Focado, Baixa Fidelidade)

Modelação paramétrica em DAC e produção do desenho técnico de uma agulha injetora; com a finalidade de discutir alguns pormenores do corpo penetrante (cubo, cânula, furação e ponta). O desenho está no Apêndice B sob o nome de CNCPT\_1\_0. Daqui resultou o diálogo entre a equipa do projeto: discussão de ideias alternativas; exploração sistemática dos catálogos de fabricantes de agulhas; correções e comentários sobre o desenho técnico.

### Protótipo 2. – Rodar ou Impactos (Físico, Focado, Média Fidelidade)

Alguns protótipos são muito simples e rápidos de ensaiar. Para testar as ideias: rodas e impactos; do problema energético da ação penetrar, a mesma agulha (ponta, cânula e furação igual) foi usada para penetrar um tronco, uma a rodar, figura 6-12 a. e outra martelada, figura 6-12 b. Observa-se que colocar a agulha a girar e pressioná-la contra o tronco é eficaz em penetrá-lo e reduz significativamente a probabilidade de deformar ou partir a agulha. Porém entope os seus canais de injeção, figura 6-12, c. e o processo produz muito calor; cheiro distinto a madeira queimada. A ideia da furação elíptica rebaixada em relação à superfície da cânula pode solucionar o problema de entupir. O coeficiente de atrito pode ser reduzido com revestimentos especiais da cânula da agulha, que apesar de mitigar não resolve o problema do calor. A principal desvantagem é projetar uma rolha compatível com o movimento rotativo da agulha de injeção.

### Protótipo 3. Cubo da Agulha (Físico, Compreensivo, Média Fidelidade)

Tem o objetivo de testar a ideia do cubo da agulha com compressão (dinamismo). O desenho técnico do protótipo encontra-se no Apêndice B sob o nome de CNCPT\_2\_0 e o protótipo fabricado pode ser observado na figura 6-13, 1a. O cubo com o encaixe à compressão mostra resultados promissores quando comparado a martelar o prego sem uma articulação dinâmica, figura 6-13, 1. e 2. No entanto não é eficaz a proteger a agulha quando ela é retirada do tronco figura 6-13, 3. A ideia deve ser testada com um protótipo mais fiel. Ideia a desenvolver.

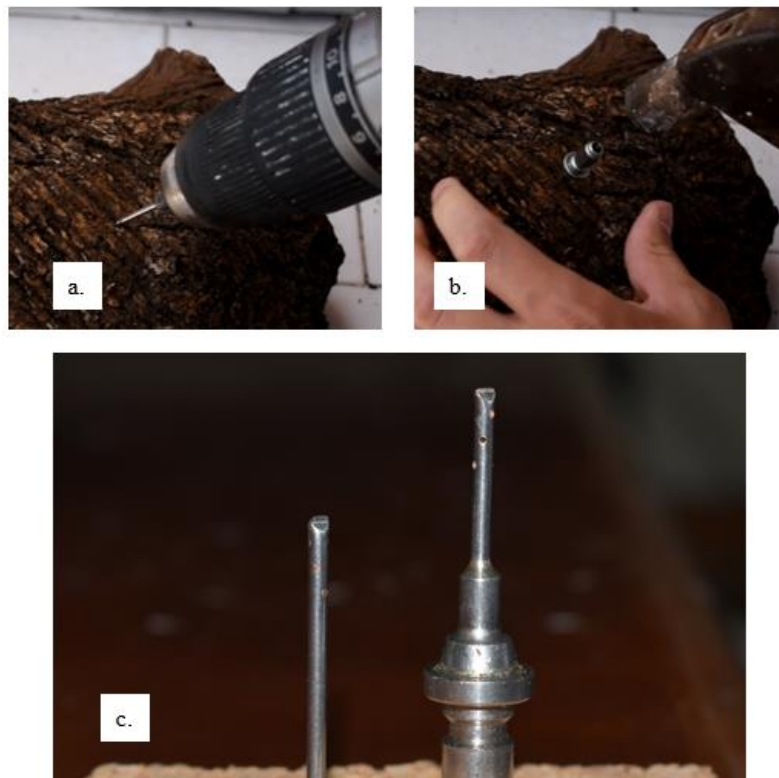


figura 6-12 Fotografia do ensaio dos protótipos das ideias: a. Rodar; b. Impactos. Na fotografia c. observam-se ambas as agulhas após o ensaio; à esquerda a agulha colocada a rodar, que ficou entupida, e à direita a martelada que tem alguns detritos, mas ainda operacional.

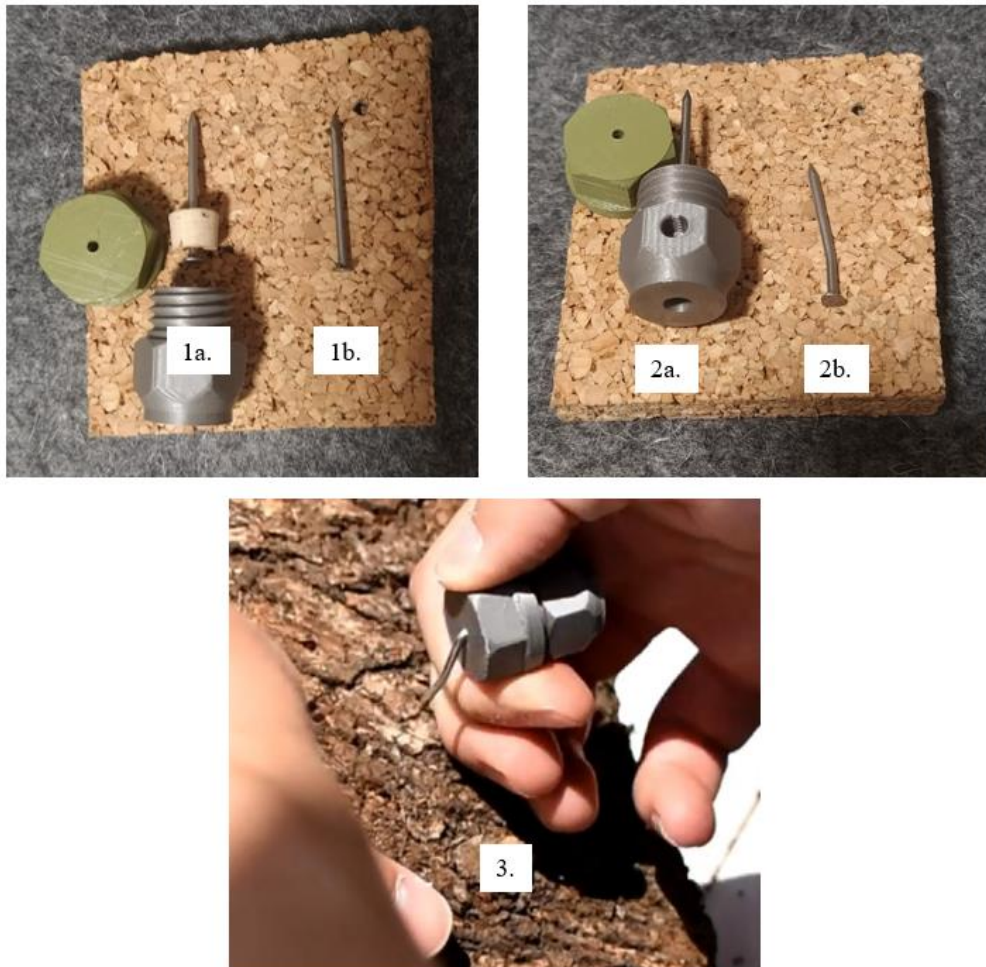


figura 6-13 Fotografias do protótipo da ideia cubo compressão: 1. Antes do ensaio; 2. Depois do ensaio; a. Prego normal com Cubo compressão (dinamismo); b. Prego normal. Pela observação da fotografia 2. o prego com o cubo de compressão não deformou tanto plasticamente como o prego sem o cubo de compressão. 3. Ensaio no qual a agulha com o cubo de compressão foi retirada sem cuidado (situação mais próxima da realidade). O protótipo do cubo de compressão só parece ser eficaz na penetração do tronco, mas não oferece benefícios na retirada da agulha.



## RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados decorrentes do processo do projeto. Primeiro expõem-se os resultados referentes à cabeça de injeção (ensaios dos protótipos, atividade inventiva, entre outros) seguido por uma caracterização da ideia final para a cabeça, que é repercussão da metodologia do projeto empregue. Segundo expõem-se os resultados referentes ao corpo vedante (ensaios de protótipos, atividade inventiva, entre outros) seguido por uma caracterização da ideia final da rolha, que é repercussão da metodologia do projeto empregue. Por último comparam-se os requisitos do projeto face aos valores esperados/obtidos pela ideia final para confirmar que as necessidades do projeto foram satisfeitas.

### 7.1 Cabeça de Injeção

Com todo o conhecimento durante o processo de projetar: pesquisa, necessidades, requisitos, ideiação, prototipagem, entre outros, resultou a cabeça de injeção com os seguintes atributos:

- i. A agulha é martelada na árvore (protótipo 6.2, 2. + TRIZ 5.3: 18 a., b.);
- ii. O cubo com o encaixe à compressão protege a agulha quando é martelada, mecanismo flexível dinâmico (protótipo 6.2, 3. + TRIZ 5.3: 15 a.);
- iii. Extrair a propriedade necessária do pica-pau (pássaro), múltiplos impactos, baixa força (TRIZ 5.3: 2 b.);
- iv. Fazer a agulha passar por dentro de outro corpo, permite regular a profundidade da penetração e usar apenas um tamanho de agulha (TRIZ 5.3: 7 b.);
- v. Posicionar um encostador antes da ação penetrar alivia a tensão na agulha (TRIZ 5.3: 9 a., b.);
- vi. A disposição de todos os objetos vai ser considerada no futuro do projeto (TRIZ 5.3: 10 b.);
- vii. Projetar um corpo que impeça a rolha de sair da árvore (TRIZ 5.3: 11 a.);
- viii. Fazer com que o cubo da agulha não seja rígido, o mecanismo flexível do cubo reage quando é solicitado (TRIZ 5.3: 15 a.);
- ix. Transformar o movimento linear de puxar a agulha num rotativo (TRIZ 5.3: 17 a.);
- x. Revestimento com baixo coeficiente de atrito da cânula da agulha (TRIZ 5.3: 30 a.);

- xi. Usar um solenoide para oscilar a agulha a uma certa frequência. É uma das possibilidades para o futuro do projeto (TRIZ 5.3: 18 a., b. & 28 a.);
- xii. Problema energético/mecanismo ideia escolhida: combinação 7) + 8) (Penetrar 5.2.1, Tabela 5-4. A ideia resultante da combinação figura 7-1);
- xiii. Problema do corpo penetrante, ideia escolhida: 4) (Penetrar 5.2.1, Tabela 5-7);
- xiv. Interação cabeça de injeção/corpo vedante, ideia escolhida: 3. (Vedar 5.2.1, figura 5-8).

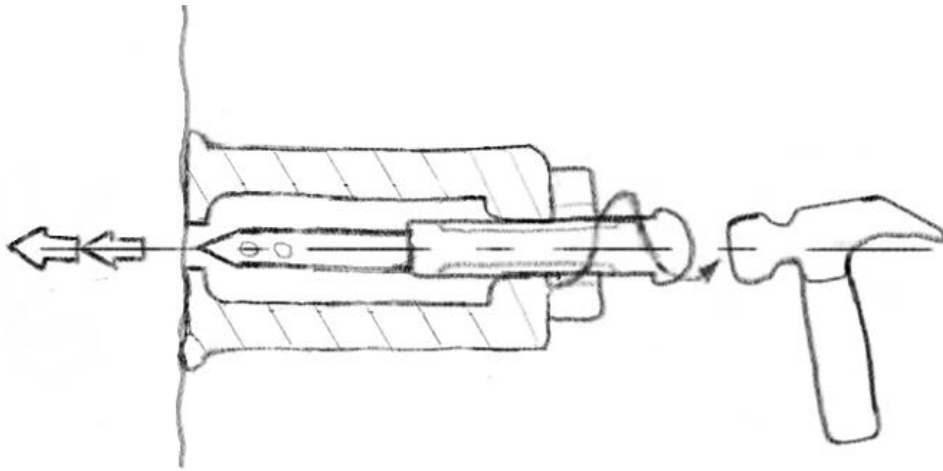


figura 7-1 Ideia que resulta da combinação das ideias 7) e 8) do problema energético/mecanismo, penetrar 5.2.1. E. Humana + Alavanca + Massa c/Inércia + Impacto Múltiplo.

### Ideia final

A partir do conjunto de atributos mencionados acima elaborou-se os planos para o fabrico de um protótipo compreensivo, físico de média fidelidade para testar a ideia final. Na figura 7-2 observa-se parte do desenho CNCPT\_2 (apêndice B) no qual estão representadas duas vistas do protótipo da cabeça de injeção concebido na dissertação.

Fabricou-se o corpo da cabeça de injeção e o cubo da agulha em PLA por manufatura aditiva (FDM) numa impressora Prusa Mk3; as restantes peças foram fabricadas com materiais do DEMI à disposição dos alunos: par veio roscado e porca M6, chumaceira em polímero de baixo atrito e um prego com 1,8mm de diâmetro como se observa na figura 7-3 a). A mola encostadora não foi fabricada.

O protótipo foi ensaiado como observado na figura 7-3 b): 1º posicionar o encostador contra o tronco (madeira seca e, portanto, dura); 2º regular a profundidade de injeção com a porca; 3º segurar o corpo da cabeça de injetar e martelar a agulha; 4º rodar a manivela (chave de bocas) para retirar a agulha; 5º anotar observações. O resultado da experiência foi encorajador, verificando-se que a agulha não deformou mesmo após várias repetições do ensaio, figura 7-3 c). Infere-se pelo sucedido que o resultado do encostador e de transformar o movimento linear de puxar a agulha num movimento rotativo (rosca) é melhor que o esperado – a cabeça de injeção é mais que a soma das suas partes – quando contrastado com o fracasso do protótipo 6.2, 3, figura 6 13.

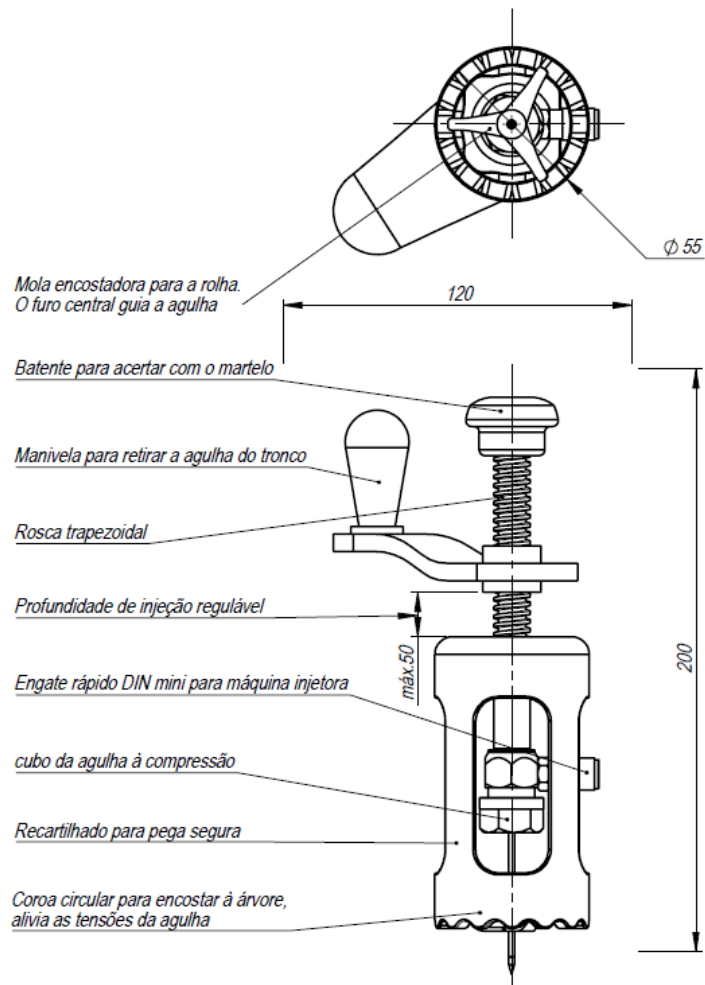


figura 7-2 Duas vistas do desenho técnico de conjunto do protótipo da cabeça de injeção. O desenho completo está no apêndice B CNCPT\_2.



figura 7-3 a) Protótipo da cabeça de injeção “Pica-Pau”. b) Ensaio experimental. c) A agulha (prego) está intacta.

## 7.2 Corpo Vedante

### 7.2.1 Controlo (ArborSystems™)

A rolha da ArborSystems™ vedou eficazmente o local de injeção. É de uso único, a fiabilidade baixa se for reutilizada. Depois de retirar o prego sai apenas uma pequena gota de óleo. A rolha de controlo falha aos 2 – 3 bar, saindo disparada da máquina emuladora. A rolha de controlo não pode ser utilizada por não ser biodegradável. É cilíndrica (com uma cabeça que sobressai da casca) composta por dois materiais, plástico para a casca exterior (parecida a uma bucha convencional) e um elastómero para o cerne.

### 7.2.2 Quanto ao Material

- Cortiça, é muito compressível e tem um coeficiente de Poisson perto de zero. Isto faz com que a força da reação normal no exterior (em contacto com a “casca da árvore”) e interior (em contacto com a agulha) da rolha sejam idênticas. Em grosso a rolha é puxada para fora da “casca” ao retirar o prego. A recuperação elástica da cortiça não é suficiente para vedar o local de injeção com fiabilidade – ocasionalmente consegue vedar para pressões de até 1,5 bar. Estas características fazem da cortiça um material fraco para utilizar na casca exterior da rolha, mas assume-se plausível para fabricar o cerne da rolha (mecanismo vedante); a cortiça natural apresenta elevada variabilidade da porosidade de rolha para rolha.
- Papel reciclado prensado, nunca vedou o local de injeção. O papel prensado não é elástico, absorve o PF, satura e desfaz-se rapidamente. Este conjunto de características inviabilizam o papel de ser usado para o cerne da rolha; no entanto pode ser utilizado como alternativa ao plástico para fabricar a casca exterior das rolhas.
- Feltro de Celulose/Lã, nunca vedou o local de injeção. Ao contrário do papel não é um bom material para utilizar na casca exterior da rolha.
- Silicone, vedou eficazmente o local de injeção. Pode ser reutilizado várias vezes até deixar de vedar com fiabilidade. Depois de retirar o prego sai apenas uma pequena gota de óleo. A rolha de silicone falha aos 3 – 3,5 bar saindo disparada da máquina emuladora. O silicone não pode ser utilizado porque não é biodegradável.
- Borracha Natural, o seu manuseamento transmite uma sensação semelhante ao silicone. Ao consultar tabelas com propriedades dos materiais, o silicone é idêntico à borracha natural. A rolha de borracha natural foi talhada a partir de uma rolha maior para tubos de ensaio; não se obteve uma forma cilíndrica uniforme e por isso falhou em vedar o local de injeção. Tem um impacto ambiental muito inferior às borrachas sintéticas e a biodegradação pode ser acelerada com catalisadores (Scharnesky et al., 2008).
- Espuma, é injetável (a exequibilidade de injetar a espuma é baixa), não vedou o local de injeção. Talvez uma espuma mais densa atinja o objetivo.

- 
- Gel, ao retirar a agulha, mas sem pressão, é o material que recupera mais rápido, fechando o canal de entrada quase de imediato. No entanto o óleo, mesmo com pouca pressão, reabre sempre o canal. Não oferece quase resistência nenhuma ao retirar o prego, e nunca saiu da casca. Desfaz-se pouco tempo depois de ser exposto ao sol.
  - Massas alimentares, comportamento ligeiramente mais promissor ao observado no gel (mas sempre sem qualquer sucesso); oferece mais resistência ao retirar o prego, especialmente no caso da pastilha elástica biodegradável. A indústria química alimentar pode dar respostas para alguns problemas da rolha.

### 7.2.3 Quanto à Forma:

- Cônica, só apresenta desvantagens em comparação à rolha cilíndrica. Não é tão fiável a permanecer no local de injeção e é mais complicada de produzir. A única vantagem plausível (mas com baixa exequibilidade) é introduzir a rolha de forma incompleta na casca, para que depois da injeção e simultaneamente com a retirada da agulha, ser empurrada o resto da profundidade, entrando com aperto e assim fechar o canal de injeção.
- Cilíndrica, é a melhor forma para o corpo da rolha. A ponta deve ter um chanfro para facilitar a colocação na casca da árvore.
- Discos amortecedores, provavelmente é efeito placebo, mas parece retardar a saída do PF; assim que os discos fibrosos saturam com óleo é como qualquer outro formato de rolha.
- Pré furada, não apresenta qualquer vantagem em vedar o local de injeção em relação às não pré furadas (provavelmente até piora a capacidade de vedar). A vantagem está em guiar o prego através do furo, que no caso das rolhas não pré furada pode entrar enviesado.
- Fecho com pressão, todos os protótipos falharam. Sugestão: fabricar e testar uma rolha protótipo com maior fidelidade.

### 7.2.4 Quanto às Dimensões:

- Altura, as alturas ensaiadas não apresentam uma correlação forte com a capacidade de vedar o local de injeção. Porém, para as rolhas cónicas e cilíndricas, quanto mais alta é, mais resistência oferece à retirada do prego. Por outro lado, a maior altura aumenta a área de superfície para implementar mecanismos (como reentrâncias) para encravar a rolha na casca.
- Diâmetro, em materiais mais elásticos o diâmetro não parece fazer muito diferença. Já em materiais como a cortiça, o papel e a espuma (pouco elásticos e compressíveis), aumentar o diâmetro reduz a capacidade de recuperação e conseqüentemente baixa a fidelidade da rolha;

### Ideia Final

Com todo o conhecimento durante o processo de projetar: pesquisa, necessidades, requisitos, ideia, prototipagem, entre outros, resultou a cabeça de injeção com os seguintes atributos:



Tabela 7-1 Necessidades e Requisitos do projeto que foram satisfeitos na fase conceptual.

Req. N°	Nec. N°	Requisito (métrica)	Uni.	Resultado
1	1, 2	Tempo para tratar 1 árv./equi./oper.	300-600s	✓ Os ensaios demonstram que é possível tratar a árvore em menos de 400s (falta acrescentar o tempo de colocar a rolha).
2	3, 6	Diâmetro da cânula da agulha	≤2mm	✓ A agulha tem 2mm de diâmetro.
3	4, 5	Comprimento da cânula da agulha	10-40mm	✓ A profundidade de injeção é regulável, a agulha tem um tamanho único que satisfaz esta métrica.
4	6	Forma da ponta da agulha	Lista	✓ Trocarte ou cónica.
5	7	Material da agulha	Lista	⇒ Apor decidir. Aço com revestimento de baixo coeficiente de atrito (aço inox ou ferramenta).
6	7	Ciclos até agulha falhar	>100 ciclos	⇒ Por testar. Este dado só é possível com testes em campo.
7	7	Resistência da agulha	ISO 9626	✗ Não há previsão quanto à exequibilidade deste teste no futuro do projeto.
8	4, 8-10	Comprimento nominal da rolha	≤15mm	✓ Altura complete de 9mm, ou 7,5mm que ficam na casca (sem a cabeça).
9	9, 10, 12	Forma da Rolha	Lista	✓ Cilíndrica com espigões; bacia para posicionamento da agulha e cavidade de alívio; possibilidade de fecho por pressão.
10	9, 10, 11	Material da Rolha	Lista	✓ Borracha Natural (Falta entrar em contacto com fabricantes e fornecedores).
11	10	Fidelidade da rolha a vedar	95%	⇒ Nunca foi testado, mas se for semelhante aos ensaios da rolha de silicone certamente atingirá os 95%.
12	10-12	Diâmetro nominal da Rolha	≤11mm	✓ A rolha tem 8,5mm de diâmetro, ou 6,5mm que ficam na casca (sem a cabeça).
13	13	Massa da cabeça de Mi	≤1 Kg	✓ 0,850 Kg. Durante a fase de desenvolvimento este peso vai ser reduzido.
14	14	Dimensões da cabeça de Mi	80x80x250	✓ A manivela excede a secção de 80x80mm, no entanto a primeira iteração já é mais compacta que o EEV da ArborSystems.
15	15	Força que o operador aplica no injetor	≤100N	⇒ Valor exequível. Não foi testado porque a máquina injetora ainda não foi escolhida.
16	15, 16	Tempo para aprender a utilizar o EEV	≤6 hr	✓ Não requer quase destreza humana nenhuma e por isso é muito fácil de aprender a utilizar.
17	17, 18	N° de componentes	≤20	✓ Estima-se que o produto final tenha cerca de 15 componentes distintos, dos quais 4/5 são normalizados.
18	19, 20	Normas ISO	Lista	✓ Todos os componentes normalizados utilizados no projeto serão ISO.
19	21	Pressão de injeção	0,1-1 MPa	⇒ Por seleccionar. Mas é fácil de seleccionar uma máquina injetora no mercado capaz deste intervalo de pressões.
20	22	Custo de produção unitário	≤500€	✓ Com poucos componentes e todos eles simples é possível ficar abaixo deste limite e oferecer preços competitivos.
21	23	Temperatura do reservatório do PF	25-40 °C	✗ Nunca foi abordado no anteprojecto.
22	23, 24	Avaliação subjetiva do design 1-5	≥4	✓ Av. sub: 4. O design atual prende-se a métodos de fabrico acessíveis para protótipos. Vai ser mais ergonómico futuramente.



figura 7-5 Sugestão de apresentação do produto. Imagem de referência visual.

## CONCLUSÃO

A dissertação de mestrado assumiu como objetivo conceber um equipamento de endoterapia vegetal por microinjeção em tronco de árvore com a integração das funções: vedar, penetrar e injetar, através da implementação de uma metodologia de projeto (simples e adequada para o projetista inexperiente) com base nas metodologias de Ullman, D. e Eppinger & Ulrich, na filosofia do HCD de Norman, D., nas teorias de projeto TRIZ e TAP e com o pensamento da engenharia simultânea presente.

O fruto deste processo é a cabeça de injeção e rolha vedante do EEV Pica Pau. Um equipamento com um conjunto único de atributos que visam melhorar a experiência de utilização e conseqüentemente aumentar a produtividade financeira da atividade da EV; solução esta que satisfaz 20 dos 22 requisitos do projeto (sendo os restantes 2 perfeitamente exequíveis). Na opinião do autor a ideia reúne todas as três características para ser patenteada: novidade (não há qualquer menção ou publicação de um EEV ou outro equipamento com o mesmo conjunto de atributos aplicados no campo da EV), atividade inventiva (apresenta vantagens que, na opinião do autor, não são óbvias face à soma das partes que compõe a ideia) e aplica bilidade industrial; à data de publicação da dissertação o pedido de patente está a ser escrito para submeter à entidade competente.

Realizou-se em primeiro lugar uma revisão de literatura sobre o estado da EV, noções gerais e modelos conceptuais da biologia vegetal assim como uma análise comparativa, com valorização por funções, dos 17 equipamentos mais revelantes do mercado europeu, americano e australiano.

O trabalho envolveu a elaboração e definição do enunciado do próprio problema, que ao longo do projeto evoluiu para convergir em 24 necessidades e 22 requisitos de projeto com as devidas métricas e valores alvo associados, sempre que aplicável.

Através da implementação de várias ferramentas de ideação assim como do processo inventivo, transformaram-se e combinaram-se conceitos para criar um espaço de soluções possíveis com mais de 500.000 ideias. Por meio do conhecimento e intuição do projetista uma série de ideias foram selecionadas para serem testadas. Fabricaram-se vários protótipos (segundo diferentes dimensões) para testar essas ideias.

Foi possível, através dos resultados obtidos pelo ensaio dos protótipos, combinar os atributos mais promissores conduzindo a uma única ideia, também ela, tornada num protótipo para confirmação da

hipótese – E. humana + alavanca + massa c/inércia + impacto Múltiplo + encostador + transformação do movimento linear em rotação.

O projeto de conceção conclui-se com a solução, passível de ser patenteada, que satisfaz as necessidades do projeto, e que, recebe aprovação e investimento para continuar o seu desenvolvimento. Despoleta, ademais, abertura para colaborações futuras entre as partes interessadas.

## 8.1 Objetivos Cumpridos

Objetivos Principais Cumpridos:

- i. Recolher todos os pedidos da Biostasia em relação à atividade de EV, tarefa executada com sucesso (cerca de 40 pedidos diferentes recolhidos e analisados), os dados podem ser consultados na
- ii. Tabela 4-1;
- iii. Traduzir os pedidos em necessidades, tarefa executada com sucesso (24 necessidades distintas foram identificadas), os dados podem ser consultados na Tabela 4-3;
- iv. Associar as necessidades a requisitos iniciais de projeto (entende-se iniciais como não sendo as especificações para produção, mas sim as que vão sofrer alterações através de um processo iterativo durante a fase de desenvolvimento), tarefa executada com sucesso (22 requisitos/métricas com valores alvo que respondem às 22 necessidades distintas), os dados podem ser consultados na Tabela 4-6;
- v. Criar ideias com a capacidade de satisfazer os requisitos do projeto, tarefa executada com sucesso (criação de um espaço de soluções com mais de 500.000 ideias obtidas por combinação de conceitos para os vários subproblemas do projeto, utilizou-se a TRIZ, a TAP e outras filosofias e métodos), algumas das ideias estão ilustradas nas Tabela 5-4, Tabela 5-7, Tabela 5-1 e figura 5-6, figura 5-7, figura 5-8;
- vi. Avaliar e Selecionar o conceito que oferece maior confiança, tarefa executada com sucesso, mas o processo desenrolou-se de forma orgânica e dependeu maioritariamente da afinidade e raciocínio lógico da equipa do projeto, é difícil descrever o processo. A ideia escolhida para desenvolver está ilustrada na figura 7-1;
- vii. Receber aprovação da Biostasia para Desenvolver o Produto, sendo que no dia 4/7/2022 na última reunião com o cliente o produto conceptual foi recebido com grande entusiasmo e obteve-se a aprovação;

Objetivos Secundários Cumpridos:

- Estudar a atividade de projetar. Capítulo 2 O método de projetar foi inteiramente dedicado a este objetivo da dissertação;
- Implementar o conceito de HCD (design focado no ser humano); o objetivo foi alcançado sendo que o produto conceptual é de momento uma plataforma, onde os princípios deste tipo do HCD

---

podem ser implementados para melhorar a ergonomia e a experiência de uso. Teoria e princípios no capítulo 2.1.4;

- Planear o projeto e implementar uma ferramenta de gestão, tarefa executada com sucesso, o planeamento foi feito com a ferramenta GanttProject e a planificação do projeto pode ser consultada no diagrama de Gantt da Tabela 2-4;
- Manter um alto nível na qualidade da comunicação entre todas as partes interessadas no projeto; objetivo cumprido. Na primeira reunião com o cliente e devido à pressão (aluno em avaliação continua por parte dos seus orientadores, num ambiente profissional e com responsabilidade quase total sobre o projeto) alguns dos princípios da comunicação falharam, nomeadamente o estilo robótico com que foram colocadas algumas questões. Rapidamente evoluiu para um estilo de entrevista mais natural e com muito recurso a desenhos e modelos físicos. Na última reunião todas as ferramentas de comunicação, foram praticadas.

## 8.2 Desenvolvimentos Futuros

No dia 4/7/2022 a equipa do projeto apresentou o anteprojecto do “Pica-Pau” nas instalações da Biostasia. A apresentação exibiu de forma sucinta e exemplificada o modelo do projeto, com a intenção de transmitir confiança de que o espaço de soluções explorado foi extenso. De seguida demonstrou-se o protótipo da cabeça de injeção que satisfaz. Para além do projeto receber aprovação (instaurando o diálogo para o financiamento e desenvolvimento da solução) a Biostasia partilhou a sua visão para trabalhos futuros e abertura para continuar com a equipa do projeto para desenvolver tanto o Pica Pau como outros projetos.

- Discutir, dividir e definir a propriedade industrial (preencher pedido de avaliação para patente);
- Projetar e fabricar um protótipo físico, compreensivo e de alta-fidelidade;
- Testes de campo do protótipo para recolha de dados;
- Reconstrução dos requisitos e refinamento das especificações do produto (possivelmente acrescentar o solenoide e testar as agulhas de acordo com a norma ISO 9626);
- Desenvolver os planos de produção;
- Produção e Distribuição.

## EPÍLOGO

### Limitações

Ao refletir sobre os resultados e o processo o autor pratica o exercício mental: “Se pudesse refazer o projeto, o que é que faria diferente?” a fim de melhorar o modelo do projeto para trabalhos futuros.

Modelo do Projeto:

- Com a experiência ganha neste projeto o autor ganhou sensibilidade para orçamentar a duração das várias etapas do projeto de concepção. Caso o projeto da máquina emuladora tivesse começado 1 mês mais cedo poupar-se-iam imensas horas no fabrico; horas que podiam ser alocadas para novos ensaios de rolhas com protótipos de maior fidelidade ou para um processo de ideação ainda mais abrangente na tentativa de encontrar uma solução mais elegante;
- O autor alteraria por completo o processo prescrito para avaliar e selecionar ideias através de uma matriz de seleção. Para ser eficaz, a matriz de seleção requer mais informação acerca das várias ideias encontradas assim como das soluções do mercado.

Tecnológicas:

- O material ideal para fabricar a rolha vedante, segundo a pesquisa realizada, não existe, sendo uma limitação tecnológica. A borracha natural, na opinião do autor, é a melhor alternativa, mas está longe de ser ideal.

Cabeça Injetora:

- Dado o baixo custo de um solenoide ou de um martelo elétrico a bateria o autor sente que deveria ter exercido mais pressão e/ou argumentado melhor sobre os benefícios para a qualidade do projeto em comprar este material para testes;
- O projeto carecia de uma seringa injetora fácil de adaptar, como por exemplo, uma seringa veterinária. Este material possibilitaria o ensaio integral do equipamento e não apenas da cabeça de injeção; essencial para estudar e otimizar a disposição das várias ferramentas que constituem um EEV;
- Apesar das características inventivas da solução encontrada, o autor não a considera uma solução elegante e não deixa de sentir que com mais tempo conseguiria algo melhor. As UC em atraso, o trabalho em tempo parcial e outros projetos tangentes foram distrações (obrigações no caso das UC) à oportunidade mais interessante que é este projeto.

---

#### Corpo Vedante:

- A agulha do EEV tem 2mm de diâmetro, e o prego utilizado nos ensaios tem 1,8mm de diâmetro. Ainda assim o prego ou agulha usado nos ensaios não deveria ultrapassar 1mm de diâmetro, isto porque, todos estes protótipos são provas de conceito e como tal um prego de 1,8mm de diâmetro é demasiado exigente. Os testes deveriam ter sido repetidos com uma agulha epidérmica de 0,8mm de diâmetro;
- A máquina não emula bem o local de injeção durante a atividade da EV, porque, apesar da pressão ser semelhante à realidade e o óleo ter uma viscosidade idêntica ao PF químico (o biológico é mais viscoso e por isso menos exigente) a área do fluído em contacto com o fundo da rolha é superior à realidade (2mm de diâmetro da agulha Vs os 3mm de diâmetro da máquina emuladora). Assim a mesma pressão de injeção aplicada a uma área superior exerce mais força sobre rolha;
- A superfície de encosto para a rolha é alumínio maquinado, que oferece menor resistência ao movimento da rolha (baixo coeficiente de atrito). O alumínio também não é compressível nem poroso como a cortiça presente na casca exterior das árvores;

#### Outros protótipos:

- Testar a resistência da agulha injetora segundo os métodos da norma ISO 9626 anexos B e C requer equipamento específico que sai fora do orçamento, no entanto, deveria apostar-se em simulações numéricas (pelo MEF) com as mesmas condições de fronteira e carregamentos dos testes da norma ISO 9626.

#### HCD (Human Centered Design):

- O estudo da forma e da ergonomia da pega, assim como, da posição de utilização do EEV, acrescentaria qualidade ao projeto de conceção. Sugere-se fabricar vários protótipos de pegas, talhadas em madeira ou espumar de alta densidade, com a finalidade de estudar o conforto.
- Maior foco no projeto da disposição das várias ferramentas e controlos do EEV para melhor irem ao encontro das necessidades tanto humanas como do projeto. Este pensamento esteve sempre presente, mas ocupou sempre o segundo plano e, por essa razão, não foi abordado na dissertação.

### **Comentários**

- O fabrico da máquina emuladora para testar as rolhas atrasou-se em mais de um mês. Com o atraso não sobrou tempo para projetar/fabricar um molde da rolha e testar a ideia selecionada para o corpo vedante. As causas deste atraso foram: Orçamento apertado, mau planeamento e a ideia escolhida para fabricar a cruzeta foi fraca: na brasagem, pelo fenómeno da capilaridade, entupiram-se as linhas da bomba repartidora; o planeamento e outras. Apesar do contratempo este “erro” foi encarado como um momento de aprendizagem;
- Na opinião do autor a maior força contribuidora para a qualidade do processo do projeto é a vertente humana. Nunca houve conflito de interesses entre nenhuma das pessoas envolvidas

(equilíbrio entre objetivos académicos, económicos e pessoais); o ambiente foi sempre bem-humorada e otimista com espaço para cometer erros (natural da atividade inventiva); a qualidade da comunicação evoluiu e deu lugar à sinergia entre o autor, orientadores e cliente;

- O conhecimento obtido sobre a metodologia do projeto foi extraordinário. O autor ganhou uma visão expansiva sobre as várias filosofias e modelos do projeto;
- Motorizar o movimento no protótipo é possível e pode aumentar a produtividade, mas eleva a complexidade do projeto, e com isso sobe o custo (baterias, motor, etc). Para além do mais a manivela acrescenta o princípio do retorno (*feedback*) que transmite informação ao utilizador sobre a ação realizada. Este retorno é diferente da sensibilidade que os restantes EEV requerem, porque nesses sistemas a sensibilidade é uma premissa para utilizar o equipamento em condições normais e no Pica Pau é apenas uma forma de detetar uma anormalidade;
- Design do Produto (*Product Design*) é projetar de fora para dentro, enquanto a engenharia projeta de dentro para fora. Em projetos relativamente pequenos como acontece com os EEV (não existem equipas dedicadas ao design e marketing) o design e a criatividade podem ser a chave diferenciadora do produto. Na continuação deste trabalho quer analisar-se o aspeto, a ergonomia, as possíveis interações com o produto e como é que ele pode ser usado (*affordances*). No fundo tentar dar uma experiência positiva e única de utilização ao produto;
- O encostador protege a agulha de poeiras no caso do EEV cair ao chão. No desenvolvimento do Pica Pau é desejável incorporar uma manga ou outro mecanismo que proteja a rosca trapezoidal assim como guiamento do veio contra poeiras;
- A rolha vedante só funciona em cascas com espessura superior a 7,5 mm. No entanto, o Pica Pau, pode ser utilizado sem rolha em árvores de casca fina (tendencialmente com taxas de absorção superiores) passando a ser necessário que a árvore absorva o PF antes de retirar a agulha. Futuramente seria interessante pensar numa solução para vedar as árvores de casca fina (por exemplo uma rolha cujo corpo fique fora da casca);
- Todo o processo do projeto foi escrupulosamente documentado para que, na eventualidade da equipa de projeto mudar, a qualidade do processo do projeto persista;
- Na opinião do autor é crucial instalar a cultura de falhar no ensino das engenharias. Normalizar e encorajar o erro (oportunidade de aprendizagem) é o processo de aprendizagem que melhor se alinha com o ser humano. Para além de que é através do “erro” que fenómenos imprevistos são descobertos. Ex.: O efeito Mpemba é o nome dado à observação de que um líquido (tipicamente água) que está inicialmente quente, pode congelar mais rapidamente do que o mesmo líquido que começa frio, em condições semelhantes. Há divergências na comunidade científica quanto à sua base teórica e aos parâmetros necessários para produzir o efeito;
- O projeto da dissertação foi executado paralelamente a duas UC em atraso e um trabalho em tempo parcial que afetou a extensão e qualidade do projeto. Ainda assim o resultado foi satisfatório e há vontade de continuar a desenvolver o produto concebido;

- 
- Reunir a equipa do projeto é desafiante em virtude das agendas cheias dos orientadores e sempre que foi possível fazê-lo o tempo foi visto como um recurso valioso. Por isso todas as reuniões foram cuidadosamente preparadas de antemão;
  - O processo de projetar é por um lado muito gratificante e, por outro, dececionante. É gratificante quando surge uma ideia única que enche o autor de orgulho e, mais tarde, transforma-se no prazer de fazer parte da evolução da ideia até ver o produto final. No entanto, a maioria das ideias não funcionam e os bloqueios criativos levam a períodos de desânimo. Projetar é um turbilhão de emoções que só pode ser gerido eficazmente através da experiência;
  - Recorrentemente os softwares de DAC prevalecem às ferramentas mais tradicionais para ideação que, na opinião do autor, é uma falha em compreender que tais ferramentas criam atrito desnecessário entre os modelos conceptuais mentais e a exploração das ideias. Os esboços em papel e caneta, procedidos de protótipos com materiais comuns continua a ser a ferramenta de ideação mais orgânica do ponto de vista humano. Isto porque explorar ideias deve ser rápido e envolver o maior número de sentidos possível. Enquanto o software de DAC estimula a visão, desenhar e fabricar pequenos protótipos estimula todos os sentidos. É surpreendente o quanto esta filosofia pode ajudar a desbloquear a criatividade;
  - Na opinião do autor a qualidade do trabalho aqui apresentado é suficiente para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

## Motivação

Como alguém que não deseja emigrar, (ser projetista) a conceção e desenvolvimento de produtos torna-se uma missão pessoal. É cada vez mais importante integrar projetos tecnológicos inovadores em Portugal, que paulatinamente cai nos índices, europeu e mundial, de inovação e produtividade financeira (Jornal de Negócios, 2021). Portugal ocupa agora o 21º lugar (dos 27 estados-membros da UE) no PIB per capita em paridade do poder de compra, um índice que reflete a qualidade de vida e dignidade da classe trabalhadora (+Liberdade, 2022). A fraca produtividade financeira em Portugal é um problema complexo, mas certamente que mais inovação tecnológica na teia das PME's ajudaria (responsáveis por mais de 60% do valor acrescentado bruto do país). Surge a oportunidade de conceptualizar, projetar e escrever uma dissertação sobre um produto novo...

## Oportunidade

...Foi identificada a necessidade de trabalhar com melhores EEV de MI, assim como definir cientificamente o significado de Mi, que até à data é empregue sem fundamentação científica. Com a necessidade surge a oportunidade; o mercado da EV está ainda na sua infância e com um forte crescimento de ano para ano. Desenvolver um produto inovador para Mi de endoterapia vegetal pode traduzir-se na penetração e expansão deste mercado conduzindo a ganhos avultados. Tipicamente o processo de conceção e desenvolvimento deste tipo de produtos acontece dentro das empresas que identificam as oportunidades. No entanto a Biostasia enquanto PME especializa-se na área da biologia molecular

(desenvolve PF's biológicos) e não possui ainda um departamento de engenharia mecânica, o que torna a conceção e desenvolvimento de equipamentos mecânicos impossível...

### Meio Académico

...Para combater estas barreiras, as PME's usualmente celebrarem acordos ou contratos com unidades de investigação e desenvolvimento (I&D). Neste caso a unidade de I&D é o DEMI da FCT-UNL. Este acordo é vantajoso para ambas as partes envolvidas. A Biostasia pode ver desenvolvida e comercializar uma solução para a oportunidade que identificou, sem o risco associado a este tipo de projetos. A FCT-UNL (assim como o aluno, os seus orientadores e outras partes envolvidas) ganham currículo, reconhecimento e, dentro do reino das possibilidades, propriedade industrial.

Ao ter a oportunidade de responder a necessidades reais, lado a lado de professores engenheiros experientes, enquanto orientadores num ambiente académico/empresarial, permite ao autor ganhar conhecimento e habilidades para além da típica dissertação assim como transitar de forma menos atribulada e mais protegida para o mundo profissional, que é uma grande vantagem face às dificuldades sentidas no início da carreira do engenheiro projetista...

### Adversidades do Início da Carreira

...A dificuldade intemporal com que, de uma forma geral, os projetistas em início de carreira se deparam é originada, essencialmente, pela diferença existente entre os problemas académicos (cujos enunciados descrevem situações perfeitamente definidas e com os dados necessários à resolução dos problemas) e os problemas com que são confrontados na atividade prática (que começam pelo estabelecimento do próprio enunciado e pela recolha dos dados necessários à resolução desses problemas) tema abordado na dissertação. Por outro lado, os projetistas em início de carreira têm pouco conhecimento relativamente às diversas soluções previamente utilizadas com sucesso em situações semelhantes àquelas com que se deparam (o autor partilha a mesma opinião de Santos, 2010). O problema mais contemporâneo é a desconfiguração generalizada das engenharias, que põe em causa a sua integridade. Há uma combinação perigosa na facilidade que existe em obter graus em "ciências da engenharia" aliada ao reconhecimento e elitismo da profissão. Isto leva a um excesso de engenheiros, subqualificados ou subdotados, a exercerem a função; o excedente ocupa postos profissionais (por exemplo um engenheiro projetista a ocupar um lugar de desenhador), levando as empresas a valorizar a polivalência da engenharia, mas a desvalorizar o engenheiro – quando todos forem engenheiros ninguém o é. É de facto fácil arranjar emprego com graus em "ciências da engenharia" mas dificulta, para um engenheiro em início de carreira, conseguir uma posição digna que conduza a uma carreira de realização pessoal e contribuição para a comunidade.

## BIBLIOGRAFIA

- +Liberdade. (2022). Portugal foi ultrapassado por (mais) duas economias de leste em 2021. +*Factos*. <https://maisliberdade.pt/maisfactos/portugal-foi-ultrapassado-por-2-economias-de-leste-em-2021-a-economia-portuguesa-recuou-3-lugares-no-eurosat-em-apenas-6-anos/>
- Aćimović, S. G., Cregg, B. M., Sundin, G. W., & Wise, J. C. (2016). Comparison of drill- and needle-based tree injection technologies in healing of trunk injection ports on apple trees. *ELSEVIER*. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2016.07.003>
- Aćimović, S. G., Zeng, Q., McGhee, G. C., Sundin, G. W., & Wise, J. C. (2015). Control of fire blight (*Erwinia amylovora*) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment of induction of pathogenesis-related protein genes. *Frontiers in Plant Science*, 6(FEB). <https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.00016>
- ArborJet. (2021). QUIK-jet AIR Micro-Injection System. *ArborJet*.
- ArborJet. (2022). *QUIK-jet AIR Tree Injection System | Arborjet*. <https://arborjet.com/product/quik-jet-air-kit/>
- ArborSystems. (2017). *Direct-Inject Systems | ArborSystems*. <https://www.arborsystems.com/find-a-product/injection-systems-2/>
- Baronat Esparraguera, L., Olivet Bonmati, L., & de Palol Masdevall, J. (2017). *Injection Equipment For Endotherapy Treatments in Plants* (Patent No. US 2017/0303476 A1).
- Berger, C., & Laurent, F. (2019). Trunk injection of plant protection products to protect trees from pests and diseases. *Crop Protection*, 124, 104831. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2019.05.025>
- Biostasia. (2021). *Microinjeção ao tronco*. Biostasia, Projetos e Serviços de Engenharia, Lda.
- BITE®. (2020). *Bite Blade for infusion in Trees*.
- Booth, M., & Johnson, D. (2009). Pressurized-canister trunk injection of acephate, and changes in abundance of red elm bark weevil (*magdalis armicollis*) on american elm (*ulmus americana*). *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(3), 148–151. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2009.026>
- Budynas, R. G. (Richard G., Nisbett, J. Keith., & Shigley, J. Edward. (2011). *Shigley's mechanical engineering design*. McGraw-Hill.
- Byrne, F. J., Krieger, R. I., Docola, J., & Morse, J. G. (2014). Seasonal timing of neonicotinoid and organophosphate trunk injections to optimize the management of avocado thrips in California avocado groves. *Crop Protection*, 57, 20–26. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2013.11.023>

- Codex Atlanticus*. (1500, February 15). <https://www.codex-atlanticus.it/#/>
- Correia, S. (2014). *Teoria da tensão-coesão-adesão*.
- Cowles, R. S., Montgomery, M. E., & Cheah, C. A. S. J. (2006). Activity and residues of imidacloprid applied to soil and tree trunks to control hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) in forests. *Journal of Economic Entomology*, 99(4), 1258–1267. <https://doi.org/10.1093/JEE/99.4.1258>
- Dal Maso, E., Cocking, J., & Montecchio, L. (2014). Efficacy tests on commercial fungicides against ash dieback in vitro and by trunk injection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 697–703. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2014.07.005>
- Doccola, J. J., Bristol, E. J., Sifleet, S. D., Lojko, J., & Wild, P. M. (2007). Efficacy and duration of trunk-injected imidacloprid in the management of Hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae*). *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(1), 12–21. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2007.002>
- Doccola, J. J., Hascher, W., Aiken, J. J., & Wild, P. M. (2012). Treatment strategies using imidacloprid in hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae* Annand) infested eastern hemlock (*Tsuga canadensis* Carrière) trees. *Arboriculture and Urban Forestry*, 38(2), 41–49. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2012.008>
- Doccola, J. J., Smitley, D. R., Davis, T. W., Aiken, J. J., & Wild, P. M. (2011). Tree wound responses following systemic insecticide trunk injection treatments in green ash (*Fraxinus Pennsylvanica* Marsh.) as determined by destructive autopsy. *Arboriculture and Urban Forestry*, 37(1), 6–12. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2011.002>
- Doolittle, G. (2007). *System and Method for Injecting Trees* (Patent No. US 7,178,286 B1).
- Doolittle, G. (2007). *System and Method for Injecting Trees* (Patent No. US 2007/0266628 A1).
- Doolittle, G., & Frisina, M. (2014a). *Tree Injection Plug* (Patent No. US 8,677,684 B1).
- Doolittle, G., & Frisina, M. (2019). *Injection Plug For Insertion into a Tree* (Patent No. US 10,462,979).
- Doolittle, G., & Frisina, M. (2020). *Tree Punch and Tree Plug Insertion Tool* (Patent No. US 10,624,272 B1).
- Doolittle, G., & Frisina, M. J. (2014b). *Injector Tip for use with an Injector for injecting Liquid Chemical into a Tree* (Patent No. US 8,671,614, B1).
- Doolittle, G., & Harrell, M. O. (1998). *Apparatus and Method for Retaining Injection Fluids in a Tree* (Patent No. US 5,797,215).
- Doolittle Jr., G. (1993). *Tree Injection System* (Patent No. 5,239,773).
- Doolittle Jr., G. (2014). *Method for Application of Pesticides and Plant Growth Regulators and Nutrients To Plants* (Patent No. US 8,664,162 B2).
- Düker, A., & Kubiak, R. (2009). Stem application of metalaxyl for the protection of *Vitis vinifera* L. ('Riesling') leaves and grapes against downy mildew (*Plasmopara viticola*). *Vitis*, 48(1), 43–48.
- Dula, T., M. Kappes, E., Horvath, A., & Rabai, A. (2007). Preliminary trials on treatment of esca-infected grapevines with trunk injection of fungicides. *Phytopathol. Mediterr*, 46, 91–95.
- ENDOplant. (2022). *ENDOplant | Endoterapia Vegetal*. <https://endoterapiavegetal.com/en/equipment/endo-plant-equipment/>

- Grimalt, S., Thompson, D., Chartrand, D., Mcfarlane, J., Helson, B., Lyons, B., Meating, J., & Scarr, T. (2011). Foliar residue dynamics of azadirachtins following direct stem injection into white and green ash trees for control of emerald ash borer. *Pest Management Science*, 67(10), 1277–1284. <https://doi.org/10.1002/PS.2183>
- Guillaume, D., & Lecomte, P. (2007). Evaluation of a trunk injection technique to control grapevine wood diseases. *Phytopathol. Mediterr.*, 46, 50–57.
- Hacke, U. G., & Sperry, J. S. (2001). Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 4(2), 97–115. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00017>
- Jersey, A. B. (2011). *Arborização Urbana* (p. 3).
- Jornal de Negócios. (2021). *Portugal caiu sete posições no ranking da inovação da UE*. <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/portugal-caiu-sete-posicoes-no-ranking-da-inovacao-da-ue>
- keytech s.r.l. (2020). *ArborBioKaps*.
- Kobza, M., Juhásová, G., Adamčíková, K., & Onrušková, E. (2011). Bauminjektion zur Bekämpfung der Rosskastanien-Miniermotte, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Gesunde Pflanzen*, 62(3), 139–143. <https://doi.org/10.1007/S10343-011-0236-Z>
- Lautert, C. (2015). *Composição Vegetal*. <https://pt.slideshare.net/CntiaLautert1/composio-vegetal>
- Lourenço, J. M. (2021). *The NOVAthesis Word Template*. [https://github.com/joaomlourenco/novathesis\\_word/raw/master/novathesis\\_word-FINAL-EN.pdf](https://github.com/joaomlourenco/novathesis_word/raw/master/novathesis_word-FINAL-EN.pdf)
- Montecchio, L. (2013a). A venturi effect can help cure our trees. *Journal of Visualized Experiments*, 2013(80). <https://doi.org/10.3791/51199>
- Montecchio, L. (2013b). A venturi effect can help cure our trees. *Journal of Visualized Experiments*, 2013(80). <https://doi.org/10.3791/51199>
- Montecchio, L., Risato, D., & Presti, N. (2013). *Tool for Insertion into Tree or Shrubs and Injection or Infusion Device comprising said Tool* (Patent No. WO 2013/010909 A1).
- Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things*. BASIC BOOKS.
- Pardelha, F., & Gabirro, C. (2019). *Processionária do Pinheiro*.
- Percival, G. C., & Boyle, S. (2005). Evaluation of microcapsule trunk injections for the control of apple scab and powdery mildew. *Annals of Applied Biology*, 147(1), 119–127. <https://doi.org/10.1111/J.1744-7348.2005.00019.X>
- Pishdadian, H., Davis V., R., & M. Wild, P. (2014). *Hand-Held Electronic Tree Injection Device And Method For Identifying The State Of Health Of a Tree* (Patent No. US 8,726,567,B1).
- Puttamuk, T., Zhang, S., Duan, Y., Jantasorn, A., & Thavechai, N. (2014). Effect of chemical treatments on “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” infected pomelo (*Citrus maxima*). *Crop Protection*, 65, 114–121. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2014.07.018>
- Rainbow Ecoscience. (2022a). *Q-Connect - Rainbow Ecoscience*. <https://www.rainbowecoscience.com/equipment/q-connect>
- Rainbow Ecoscience. (2022b). *Quantum Micro-Injector - Rainbow Ecoscience*. <https://www.rainbowecoscience.com/equipment/quantum>

- Raupp, M., Ahern, R., Onken, B., Reardon, R., Bealmear, S., Docola, J., Wolfe, P., & Becker, P. (2008). Efficacy of foliar applications, trunk injections, and soil drenches in reducing populations of elongate hemlock scale on Eastern hemlock. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(5), 325–329. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2008.044>
- Rosenberg, O., Almqvist, C., & Weslien, J. (2012). Systemic Insecticide and Gibberellin Reduced Cone Damage and Increased Flowering in a Spruce Seed Orchard. *Journal of Economic Entomology*, 105(3), 916–922. <https://doi.org/10.1603/EC11388>
- Russel, D. (2019a). *Hand-Held Miniature Automatic Tree Injection Device* (Patent No. US 2019/0037777 A1).
- Russel, D. (2019b). *Hand-Held Miniature Automatic Tree Injection Device* (Patent No. US 10,455,774 B2).
- Russel, D. JR. (2015). *Hand-Held Miniature Automatic Tree Injection Device* (Patent No. US 2015/0351327 A1).
- Santos, A. G. (2010). *O Projecto de Produtos Únicos desenvolvidos em Empresas de Pequena Dimensão*. Faculdade de Ciências e Tecnologia UNL.
- Scharnesky, C. C., Marlene, R., & Santana, C. (2008). *Natural rubber environmentally degradable: alternative to waste latex gloves*.
- Sclater, Neil. (2011). *Mechanisms and mechanical devices sourcebook*. McGraw-Hill.
- Shang, Q., Liao, K., Liu, H., & Zhao, B. (2011). Study on structure of needle head and seal mechanism of tree trunk injection. *Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering, TMEE 2011*, 813–816. <https://doi.org/10.1109/TMEE.2011.6199326>
- Shang, Q., Tan, Q., Zhang, Y., & Zhao, B. (2011). The study of motorized trunk treatment with advance and retreat injection needle and its clamping structure. *2011 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011 - Proceedings*, 4616–4619. <https://doi.org/10.1109/MACE.2011.5988037>
- Shang, Q., Yin, T., Sun, Z., & Ju, Y. (2019). *TRUNK INJECTION NEEDLE* (Patent No. US 10,212,893 B2).
- Shigo, A. L. (1984). Compartmentalization: A Conceptual Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves. *Annual Review of Phytopathology*, 22(1), 189–214. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PY.22.090184.001201>
- Shin, K., Ascunce, M. S., Narouei-Khandan, H. A., Sun, X., Jones, D., Kolawole, O. O., Goss, E. M., & van Bruggen, A. H. C. (2016). Effects and side effects of penicillin injection in huanglongbing affected grapefruit trees. *Crop Protection*, 90, 106–116. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2016.08.025>
- SideWinder. (2020). *SideWinder Precision Tree Injectors*. [www.treeinjectors.com](http://www.treeinjectors.com)
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design : advances and applications*. Oxford University Press.
- Ullman, D. G. (2008). *The Mechanical Design Process*.

- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development; Sixth Edition*.  
www.mhhe.com
- Venturas, M. D., Sperry, J. S., & Hacke, U. G. (2017). Plant xylem hydraulics: What we understand, current research, and future challenges. *Journal of Integrative Plant Biology*, 59(6), 356–389. <https://doi.org/10.1111/JIPB.12534>
- Watson, G. (2012). *Injecting Some Clarity Into Tree Injection | Landscape Business*. <https://landscape-business.com/injecting-some-clarity-into-tree-injection/>
- Xu, T., Jacobsen, C. M., Hara, A. H., Li, J., & Li, Q. X. (2009). Efficacy of systemic insecticides on the gall wasp *Quadrastichus erythrinae* in wiliwili trees (*Erythrina* spp.). *Pest Management Science*, 65(2), 163–169. <https://doi.org/10.1002/PS.1663>
- Young, L. C. (2002). The efficacy of micro-injected imidacloprid and oxydemeton-methyl on red gum eucalyptus trees (*Eucalyptus camaldulensis*) infested with red gum lerp psyllid (*Glycaspis Brimblecombei*). *Journal of Arboriculture*, 28(3), 144–147. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2002.021>



**DICIONÁRIO VISUAL**

Quick-Jet® (ArborJet Inc, Ma USA)



Tree IV® (ArborJet Inc, Ma USA)



Viper® (ArborJet Inc, Ma USA)



QUIK-jet AIR® (ArborJet Inc, Ma USA)



ENDOplant® (ENDOterapia Vegetal™, Girona, ES)



Quantum Micro Injector® (Rainbow™ Ecoscience, MN, USA)



Q-Connect® (Rainbow™ Ecoscience, MN, USA)



Stemject® (Chemicolour Industries Ltd., Auckland, NZ)



SideWinder® precision injector (Tree Injector QLD, Australia)



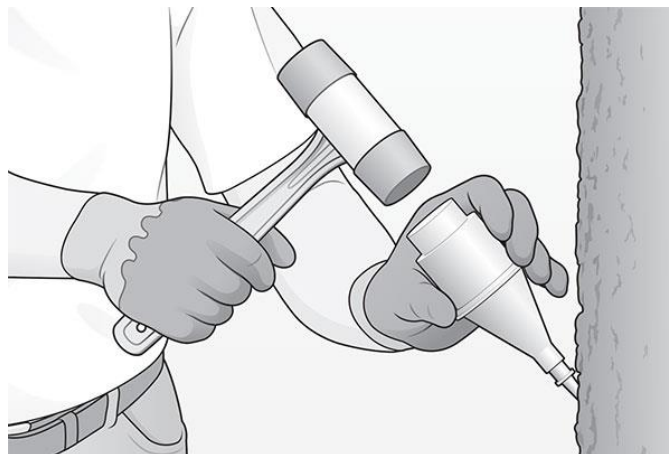
ChemJet® Tree Injector (Chemjet Trading Pty. Ltd, Australia)



Avo-ject® syringe injector (Aongatete coolstores Ltd., Nz)



EcoJect® system (BioForest Technologies Inc., Canada)



Tree tech® microinjection system (Tree tech microinjection system FL USA)



Mauget® (Mauget Company, CA USA)



Acecap® (Creative Sales, Inc, NE USA)



BITE® (P.A.N srl, Padova, Itália)



Wedgle® Direct-Inject™ System (ArborSystems LLC, NE USA)

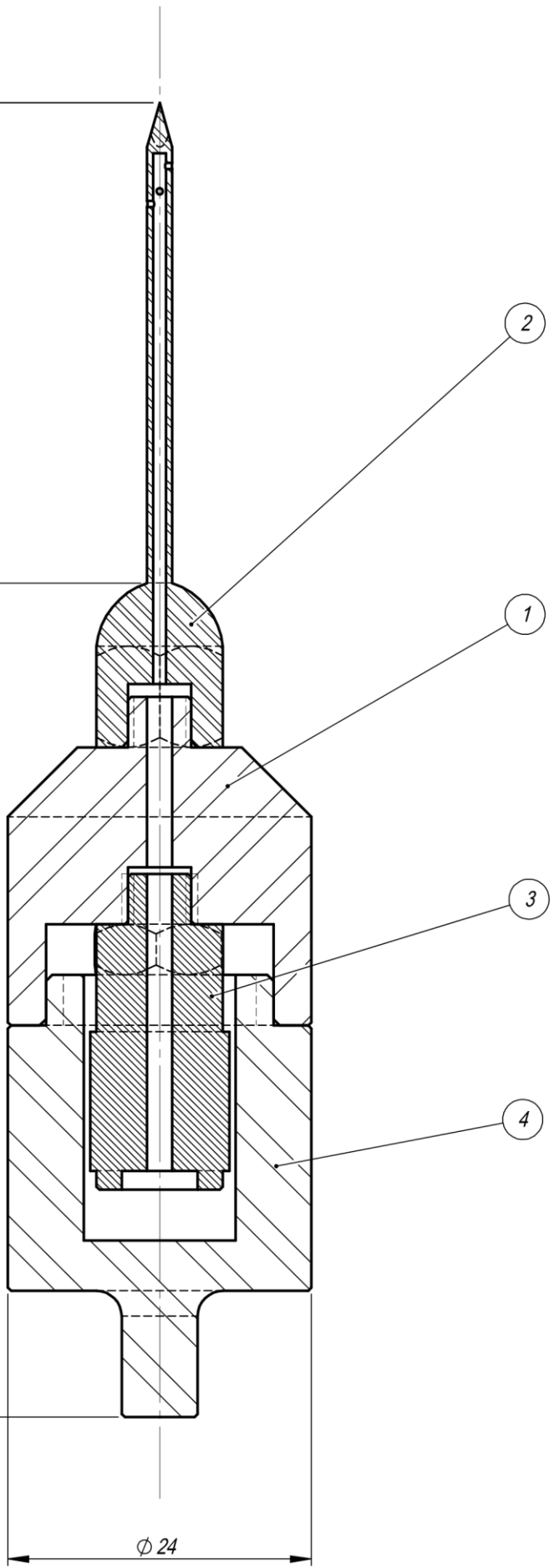
**DESENHOS**

Ordem dos desenhos técnicos:

1. CNCPT\_1 (conjunto: protótipo analítico da primeira solução conceptual)
2. CNCPT\_1\_0 (peça: protótipo analítico da agulha da primeira solução conceptual)
3. CNCPT\_2 (conjunto: segunda solução conceptual)
4. CNCPT\_2\_0 (subconjunto: agulha e cubo com compressão, mecanismo flexível)
5. CNCPT\_2\_1 (peça: primeira solução conceptual da rolha)
6. TR\_1\_0 (peça: molde de três partes para fabricar protótipos físicos das rolhas de papel)
7. TR\_1\_1 (peça: emulador do local de injeção para testar rolhas)

104 (C/agulha de 38,0mm)

38

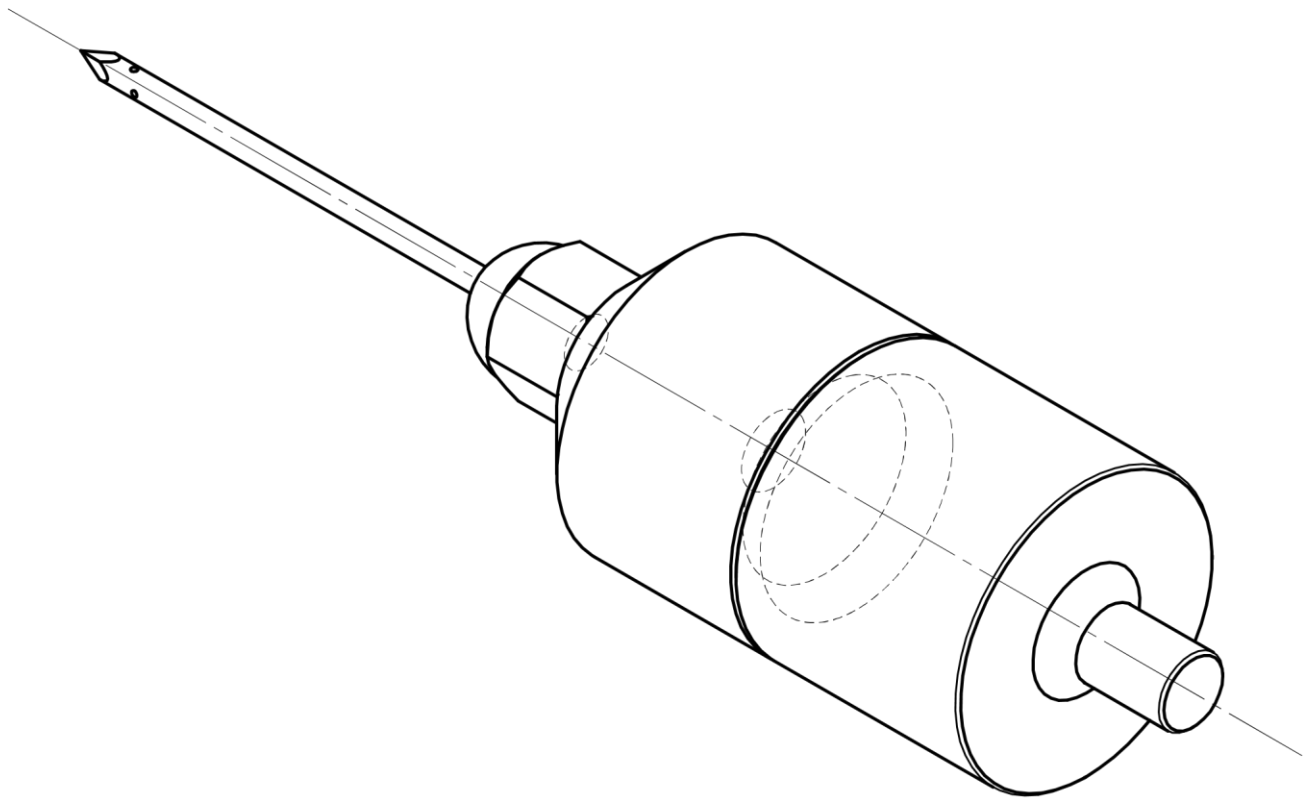


2

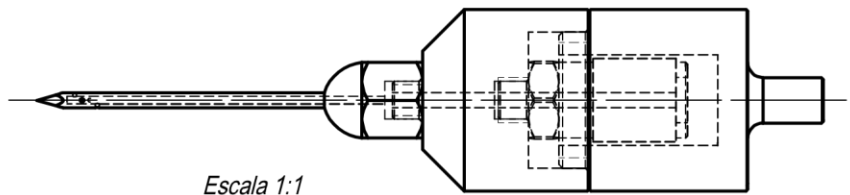
1

3

4



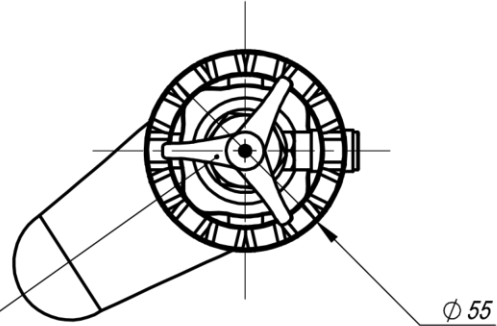
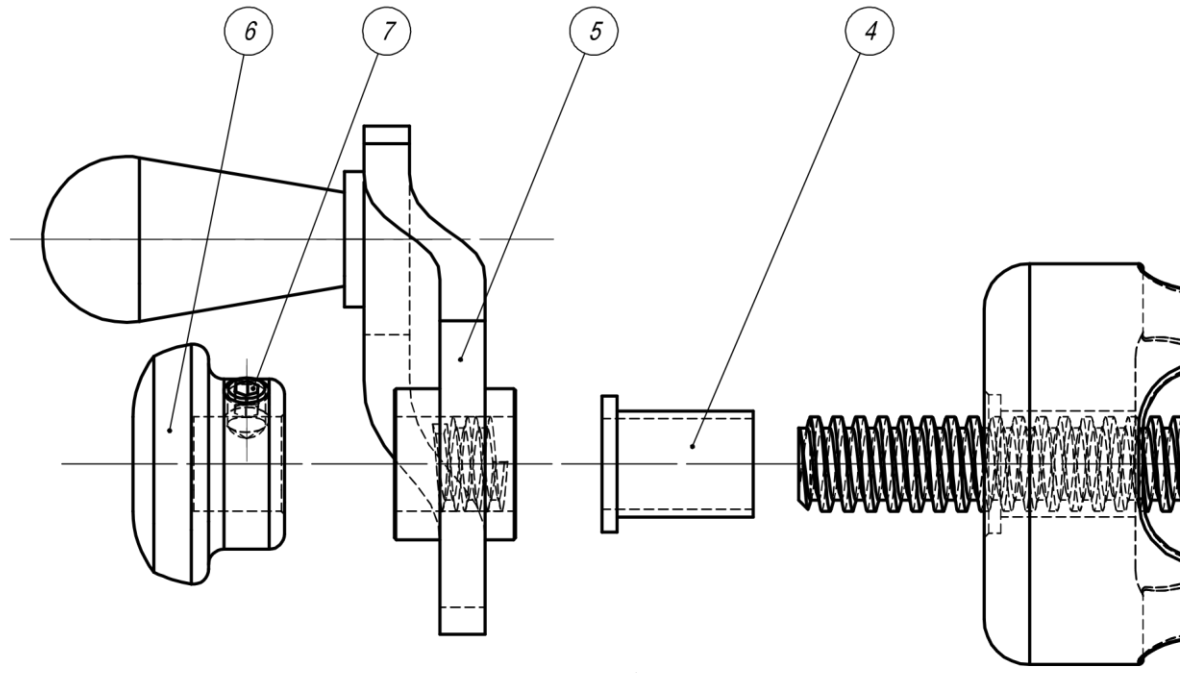
**Atenção!**  
Apenas Desenho Conceptual



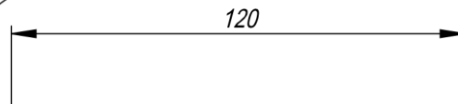
Escala 1:1

1	Batente "pica-pau"			4			
1	Conexão engate rápido séries 700	Mini DN 2,7 macho	Vários	3		0,005	
1	Agulha "pica-pau"	CNCPT_1_0		2			
1	Corpo "pica-pau"			1			
Definido	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

	Proj.	20/4/22	João Mimoso	<b>CONCEPTUAL</b>				
	Des.	20/4/22	João Mimoso					
	Copiou							
	Visto							
Escalas	<b>Cabeça de microinjeção</b>			<b>CNCPT_1</b>				
3:1								
1:1								
Toleran.								



*Mola encostadora para a rolha.  
O furo central guia a agulha*



*Batente para acertar com o martelo*

*Manivela para retirar a agulha do tronco*

*Rosca trapezoidal*

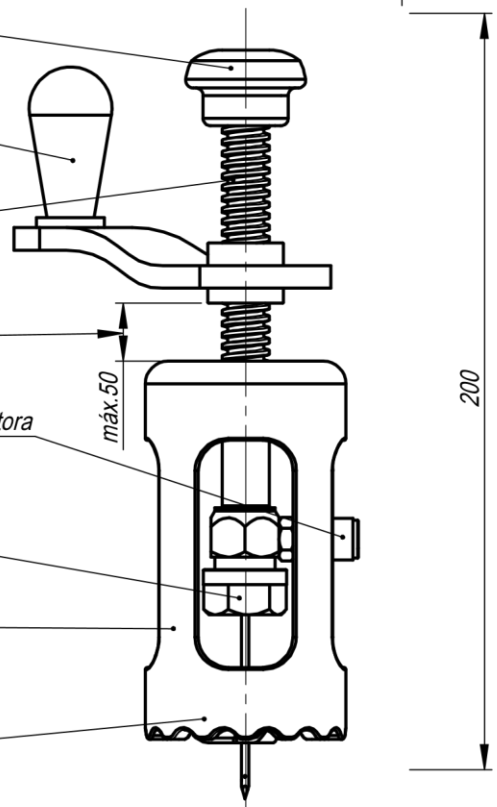
*Profundidade de injeção regulável*

*Engate rápido DIN mini para máquina injetora*

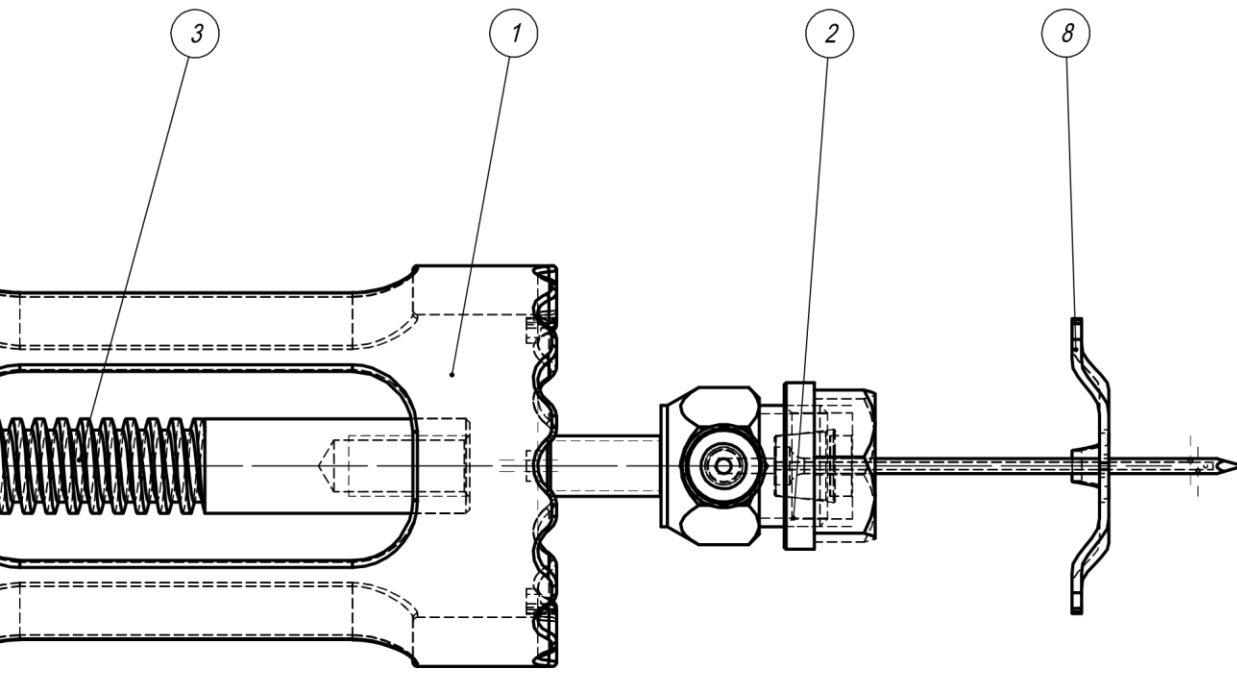
*cubo da agulha à compressão*

*Recartilhado para pega segura*


*Coroa circular para encostar à árvore,  
alivia as tensões da agulha*

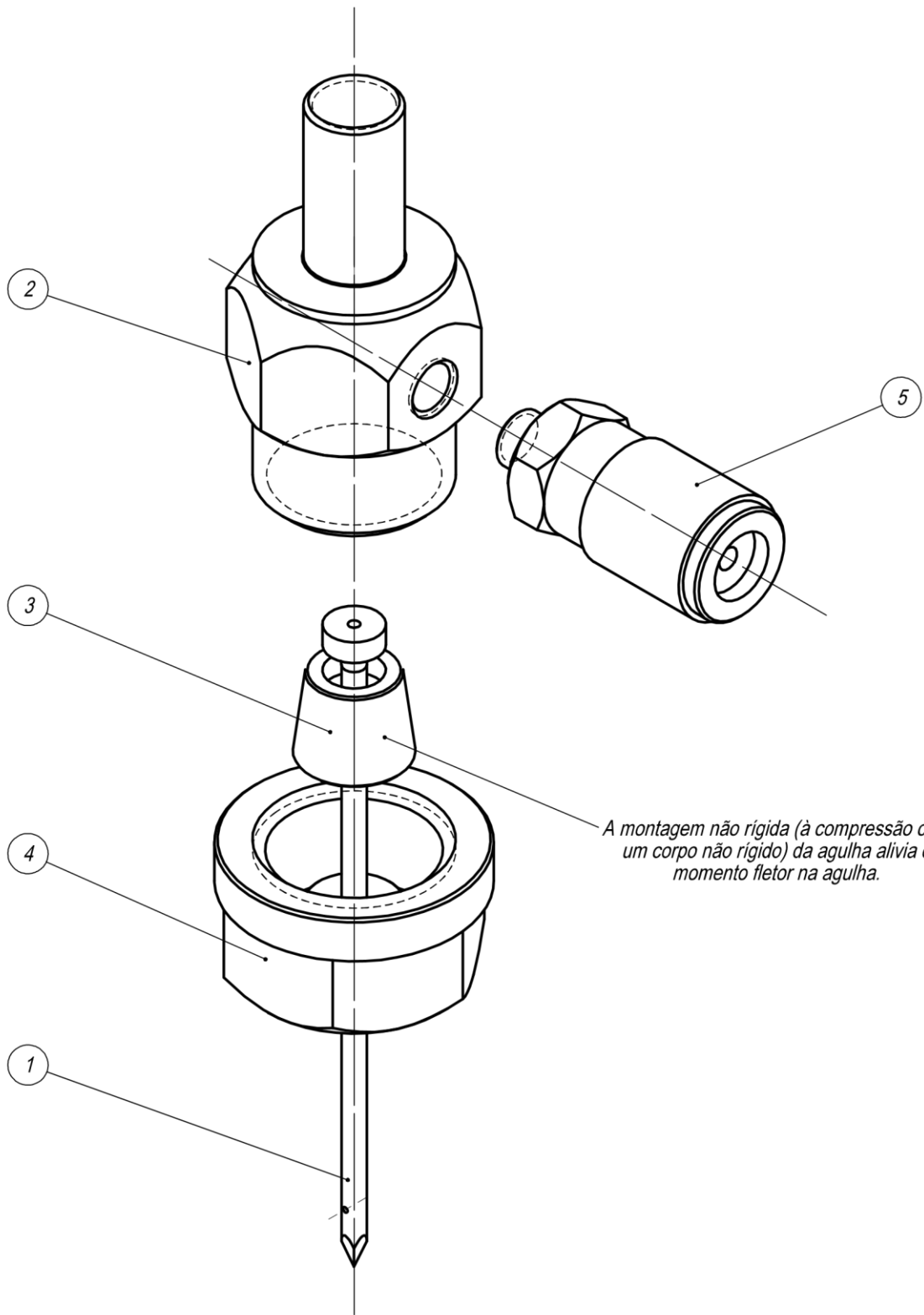




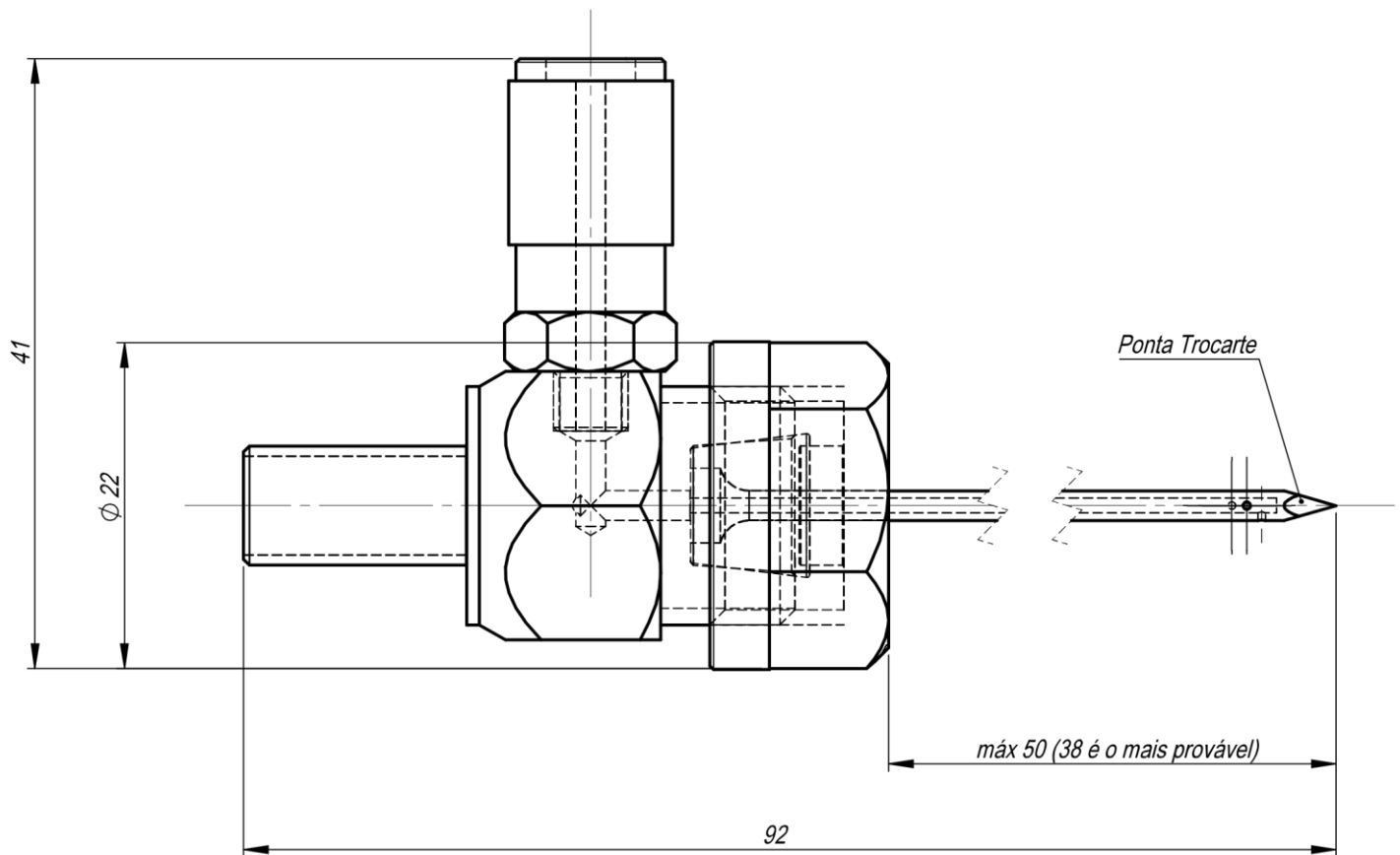


1	Encostador p/rolha	n/a	Aço mola	8		0,003	
1	<i>Parafuso de ajuste sem cabeça M6</i>	<i>ISO 4029</i>	<i>Aço</i>	7		<i>0,001</i>	
1	Balente	n/a	Madeira	6		0,010	
1	Subconjunto Manivela	n/a	Vários	5		0,100	
1	Chumaceira	n/a	Polímero baixo atrito	4		0,002	
1	Varão roscado trapezoidal d12 P3	<i>ISO 2901</i>	Aço	3		0,090	
1	SubConjunto Corpo Penetrante	CNCPT_2_0	Vários	2		0,075	
1	Corpo	n/a	Aço	1		0,550	
Defa ult/N o	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES


	Proj.	10/6/22	João Mimoso	<i>Conceptual</i>			
	Des.	1/9/22	João Mimoso				
	Copiou						
	Visto						
Escalas	<i>Cabeça de injeção "Pica Pau"</i>			CNCPT_2			
1:1							
1:2							
Toleran.							



*A montagem não rígida (à compressão com um corpo não rígido) da agulha alivia o momento fletor na agulha.*



1	Conexão engate rápido séries 700	Mini DN 2,7 macho	Vários	5		0,005	
1	Tampa	n/a	Aço	4		0,020	
1	Encaixe de compressão	n/a	Botracha	3		0,001	
1	Cubo da Agulha	n/a	Aço	2		0,044	
1	Agulha de microinjeção	CNCPT_1_0	Aço Ferramenta	1		0,002	CNCPT_1_0 tem o cubo diferente
Defa ult/N o	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

	Proj.	13/5/22	João Mimoso	<i>Conceptual</i>			
	Des.	2/9/22	João Mimoso				
	Copiou						
	Visto						
Escalas	<i>SubConjunto Corpo Penetrante</i>			<i>CNCPT_2_0</i>			
2:1							
Toleran.							

Proj.	2014/22	João Mimoso
Des.	2014/22	João Mimoso
Copiou		
Visto		

CONCEPTUAL

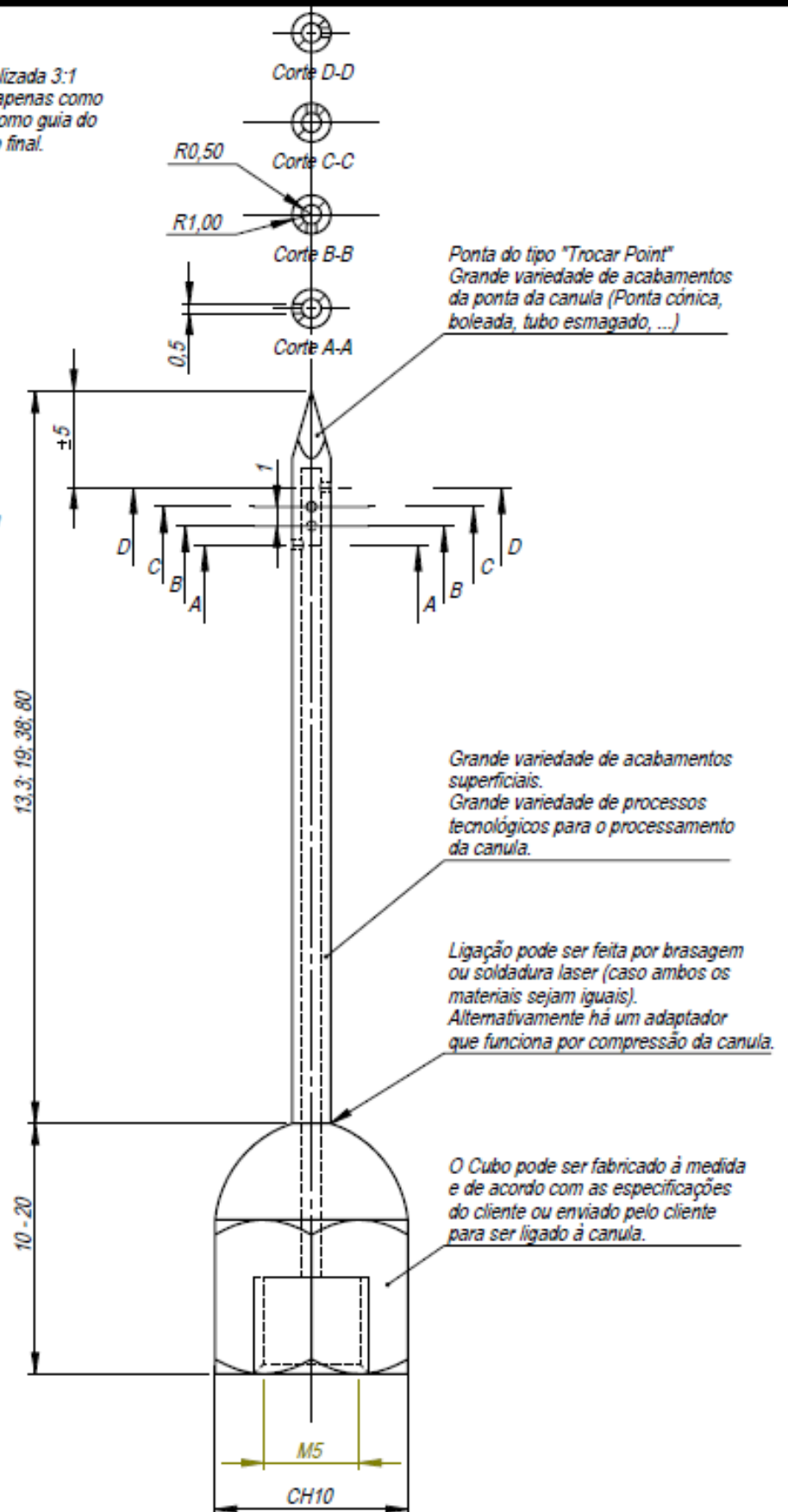
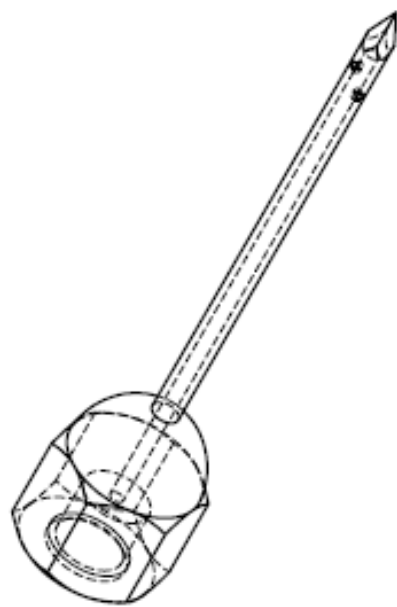


**ATENÇÃO!**

- Uso excepcional de escala não normalizada 3:1  
 - Este desenho deve ser interpretado apenas como um conceito inicial da agulha, nunca como guia do projeto ou desenho técnico da solução final.

Por exemplo:  
 Para canula  $\Phi$  ext = 2,00mm estão disponíveis vários  $\Phi$  int: 0,30 a 1,80 em incrementos de sensivelmente 0,20. Através do cálculo do segundo momento de área  $I_{cg}$ ,  $\Phi$  int = 1,00mm é um bom ponto de partida.

Catálogos de:  
 Unimed, SA (unimed.ch)



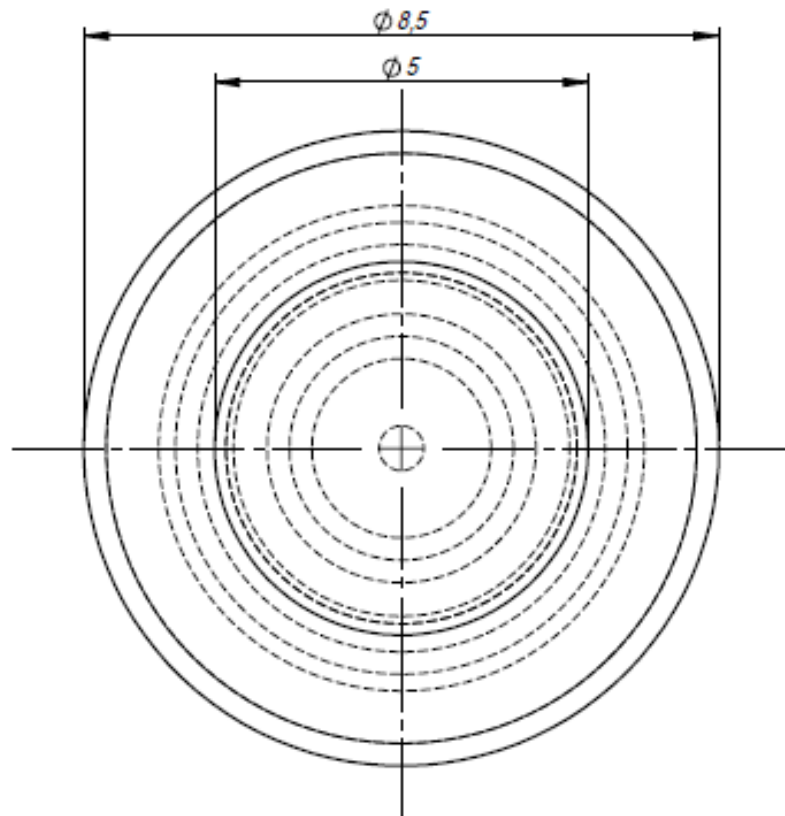
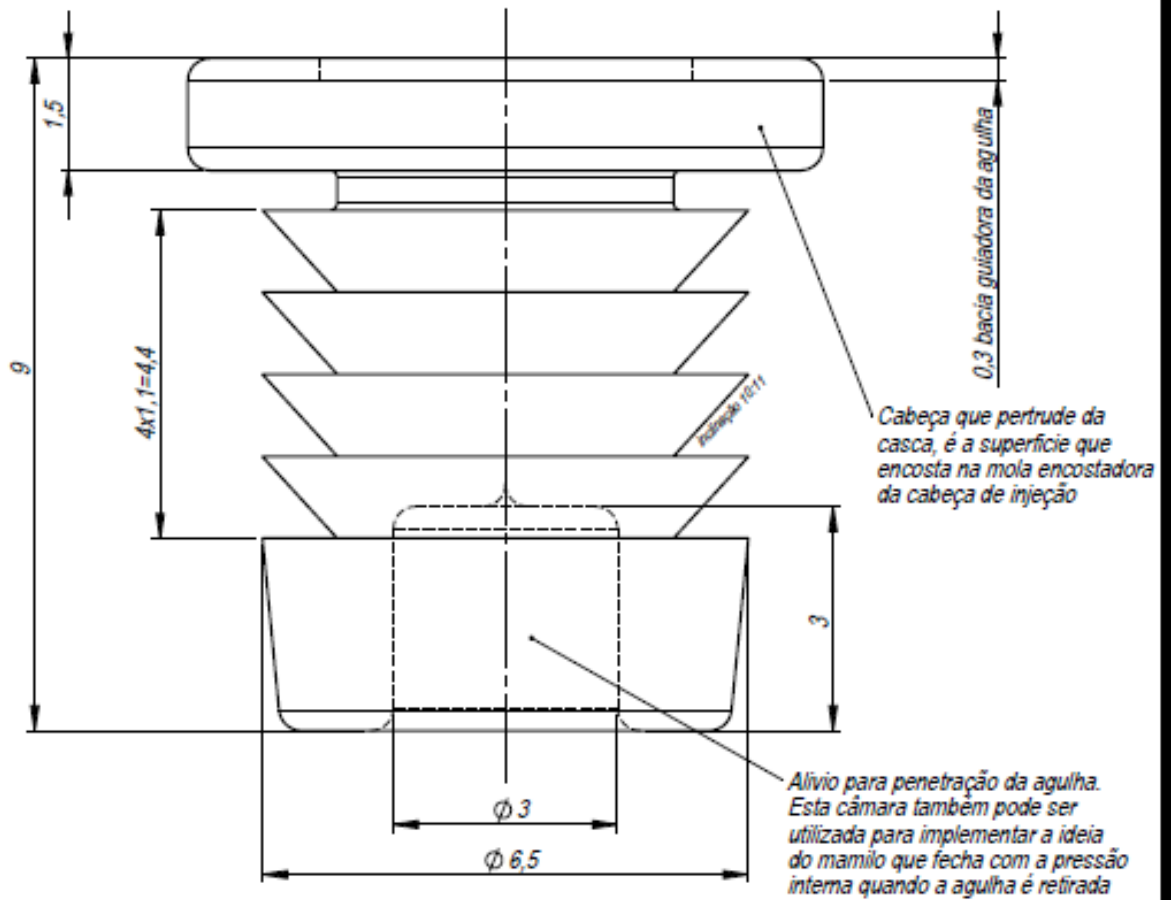
3:1  
 Toleran.

Agulha injetora com cubo roscado

CNCPT_1_0				

Proj.	5/7/22	João Mimoso
Des.	5/9/22	João Mimoso
Copiou		
Visto		

CONCEPTUAL



Borracha Natural

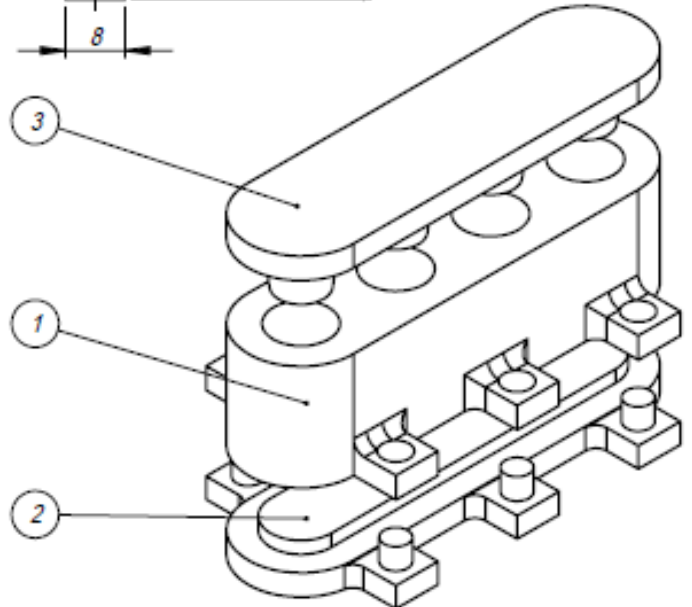
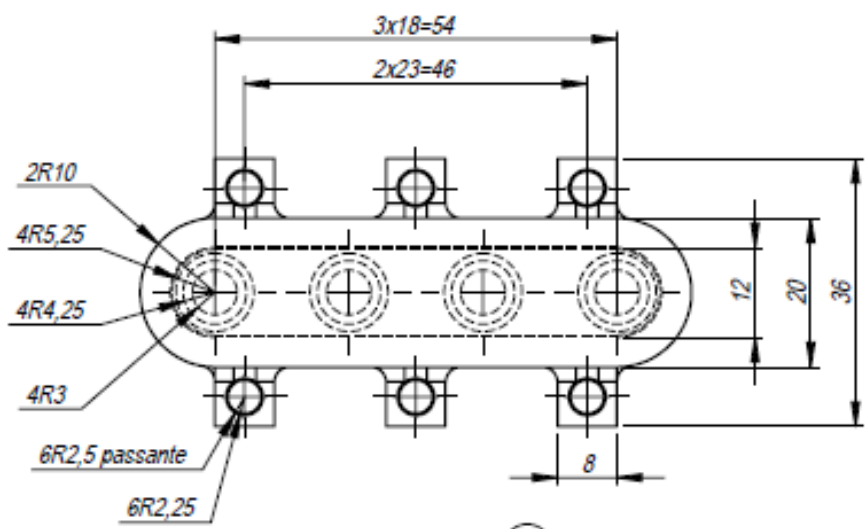
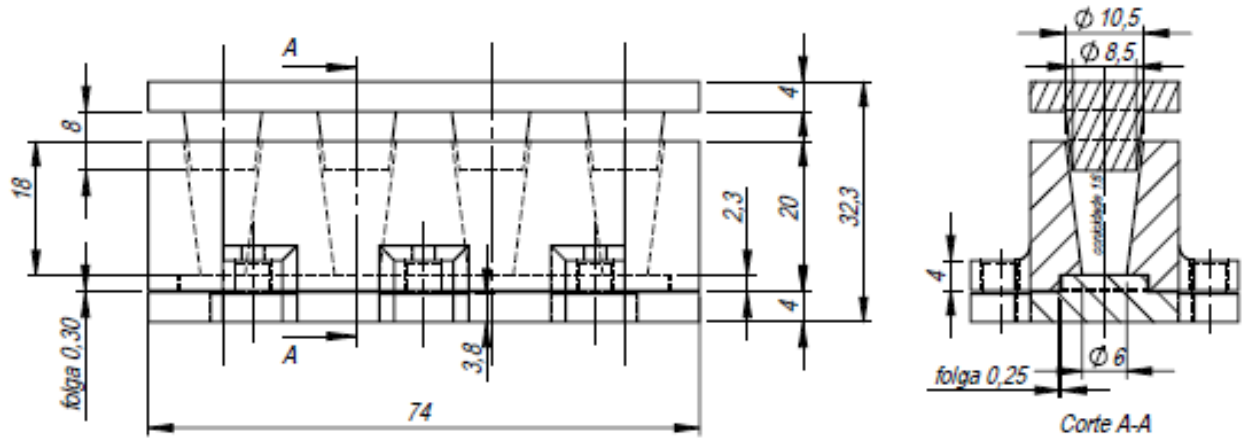
10:1  
Toleran.

Corpo Vedante

CNCPT\_2\_1


Proj.	15/3/22	João Mimoso
Des.	15/3/22	João Mimoso
Copiou		
Visto		

TESTE\_ROLHA

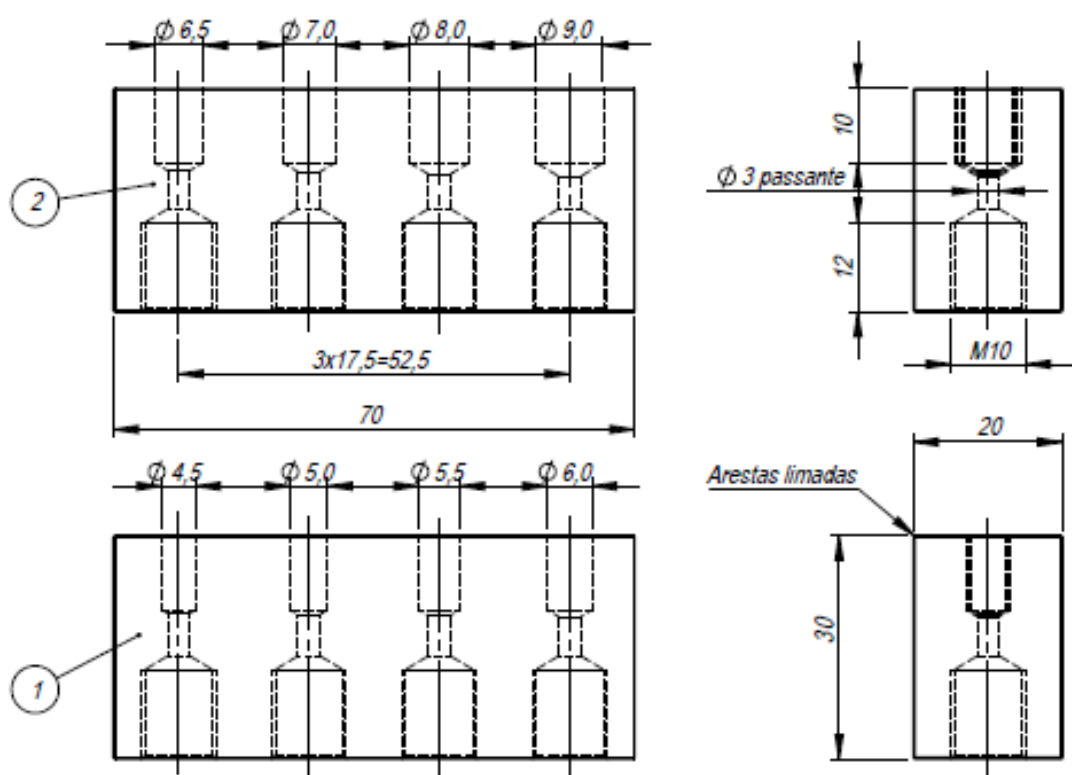


1	Cabeça do Molde		PLA	3			
1	Base do Molde		PLA	2			
1	Corpo do Molde		PLA	1			
Des util N	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEM ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

1:1	Toleran.	Molde/Prensa de 3 peças	TR_1_0			

Proj.	29/4/22	João Mimoso
Des.	29/4/22	João Mimoso
Copiou		
Visto		

TESTE\_ROLHA



1	Local de Injeção 6,5; 7; 8; 9		Alumínio	2		0,098	
1	Local de Injeção 4,5; 5; 5,5; 6		Alumínio	1		0,100	
Detalhe	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº DO MOLDE Nº DA MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

	1:1	Ligações Hidráulicas (emulador local de injeção)	TR_1_1
	Toleran.		



