



OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS NA INDÚSTRIA ABRASIVA

JOANA NEVES PEREIRA

outubro de 2021

OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS NUMA INDÚSTRIA DE PRODUTOS ABRASIVOS

Joana Neves Pereira
1120427

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS NUMA INDÚSTRIA DE PRODUTOS ABRASIVOS

Joana Neves Pereira
1120427

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva e coorientação do Professor Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





JÚRI

Presidente

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

AGRADECIMENTOS

Quero começar por agradecer à administração da empresa Saint-Gobain Abrasivos, Lda., nomeadamente ao Eng. Fernando Oliveira, pela oportunidade que me proporcionou para poder, em contexto industrial, realizar esta dissertação, assim como todo o apoio prestado enquanto orientador na empresa. Um agradecimento ainda, ao Vítor Silva pela ajuda e apoio prestado durante todo o estágio.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva, por ter aceitado orientar este trabalho, e pelo apoio prestado aos longo da realização desta dissertação.

Agradeço também, a ajuda e o tempo prestado pelos operadores das máquinas, assim como a outros colegas da empresa, que permitiram um melhor conhecimento dos diferentes processos.

Termino, agradecendo a toda a minha família que sempre me incentivou neste objetivo importante da minha vida.

PALAVRAS CHAVE

Produtos Abrasivos; *Nesting*; Otimização de matéria-prima

RESUMO

Atualmente, com o mercado cada vez mais competitivo torna-se imprescindível a melhoria dos processos existentes, de forma a torná-los mais eficazes e eficientes, de forma a que as empresas singrem num mundo global.

Este trabalho, foi desenvolvido em contexto empresarial, na empresa Saint-Gobain Abrasivos, na área de qualidade e melhoria de processo, onde se analisaram processos de conversão de matéria-prima, se verificaram pontos de desperdício no processo produtivo, realizou-se um ficheiro de cálculo que permite distinguir os dois tipos de desperdício gerado, tendo-se analisado a família com desperdício mais elevado e por fim, realizado a otimização do corte dessa família.

Assim, durante o estágio, foi realizado um ficheiro em MS EXCEL[®], que permite calcular o desperdício técnico e produtivo mensal, gerado por cada uma das famílias de produtos. Após a realização deste ficheiro, foi feita uma análise da família onde o desperdício era mais elevado, e com o auxílio de um *software* de *Nesting*, foram criadas várias combinações de corte, de forma a maximizar a taxa de aproveitamento de matéria-prima e, seguidamente, foi criado um novo MS EXCEL[®], que permite, mediante indicação do número de discos a cortar e os respetivos diâmetros, obter qual a melhor combinação a utilizar.

Com a criação destas combinações, foi possível aumentar a eficiência de corte das placas em praticamente 10%, permitindo também a diminuição da quantidade de material enviado para aterro.

KEYWORDS

Abrasive Products; Nesting; Raw material optimization

ABSTRACT

Currently, with the market increasingly competitive, it is essential to improve existing processes, in order to make them more effective and efficient, so that companies can move in a global world.

This work was developed in a business context, at the company Saint-Gobain Abrasivos, in the area of quality and process improvement, where raw material conversion processes were analyzed, waste points were found in the production process, and an application was created, which allows the corresponding calculations which are crucial to distinguish the two types of waste generated, analyzing the family with the highest waste and, finally, optimizing the cut of that family.

Therefore, during the internship, an Excel® file was created, which allows calculating the monthly technical and productive waste generated by each of the product families. After the completion of this file, an analysis of the family where the waste was higher was carried out, and with the help of a Nesting software, several cutting combinations were created in order to maximize the rate of use of raw material and then a new Excel®, which allows, by indicating the number of discs to be cut and their respective diameters, to obtain the best combination to use.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Quant.	Quantidade
CLP	Programação Lógica de restrição (<i>Constraint Logic Programming</i>)
NFP	<i>No fit polygon</i>

Lista de Unidades

°C	Grau Celsius
kg	Quilograma
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Cuckoo search</i>	Algoritmo de otimização.
CLP	Programação Lógica de restrição (Constraint Logic Programming).
<i>Bottom-left</i>	Heurística baseada em movimentos do canto inferior esquerdo.
<i>Guided local search</i>	Pesquisa local guiada é um método de pesquisa meta heurística.
<i>Nesting</i>	Otimização de um plano de corte, de forma a minimizar o desperdício na superfície de corte.
NFP	<i>No fit polygon</i> é um método que permite saber um conjunto de localizações viáveis de um polígono.
<i>No-fit raster</i>	É uma heurística que permite resolver problemas de corte irregular.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - SAINT-GOBAIN ABRASIVOS, LDA [1].....	6
FIGURA 2 - EXEMPLO DE ABRASIVO REVESTIDO [4].....	10
FIGURA 3 - EXEMPLO DE ABRASIVO AGLOMERADO [4].....	10
FIGURA 4 - EXEMPLO DE ABRASIVO NÃO TECIDO [4].....	10
FIGURA 5 - PARTICIPAÇÃO GLOBAL NO MERCADO DE ABRASIVOS, 2019. ADAPTADO DE [7].....	11
FIGURA 6 - ÓXIDO DE ALUMÍNIO [8].....	12
FIGURA 7 - GRÃOS DE CARBONETO DE SILÍCIO [9].....	12
FIGURA 8 - GRÃOS DE ZIRCÓNIO DE ALUMINA [10].....	13
FIGURA 9 - GRÃO CERÂMICO [9].....	13
FIGURA 10 - CLASSIFICAÇÃO DOS GRÃOS RELATIVAMENTE À LIGAÇÃO, DUREZA E APLICAÇÃO. ADAPTADO DE [12].....	14
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DO SUPORTE A CINZENTO [14].....	15
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DO REVESTIMENTO BASE A VERMELHO [14].....	15
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO DOS GRÃOS ABRASIVOS A BRANCO [14].....	15
FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO DO REVESTIMENTO DO GRÃO A VERMELHO [14].....	16
FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO DO REVESTIMENTO ADICIONAL A VERMELHO [14].....	16
FIGURA 16 - PROCESSO DE REVESTIMENTO DOS GRÃOS ABRASIVOS POR GRAVIDADE [20].....	17
FIGURA 17 - PROCESSO DE PROJEÇÃO ELETROSTÁTICA DOS GRÃOS ABRASIVOS [20].....	18
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO FECHADA DO GRÃO [21].....	18
FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO ABERTA DO GRÃO [21].....	19
FIGURA 20 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM ABRASIVO REVESTIDO. ADAPTADO DE [23].....	20
FIGURA 21 - MISTURA INICIAL NA PRODUÇÃO DE UM ABRASIVO REVESTIDO [25].....	21
FIGURA 22 – MOLDAGEM DA PRODUÇÃO DE ABRASIVOS REVESTIDOS.....	21
FIGURA 23 - PRENSAGEM A QUENTE [25].....	22
FIGURA 24 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM ABRASIVO <i>FLEECE</i> [29].....	23
FIGURA 25 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ABRASIVOS DE CONDICIONAMENTO DE SUPERFÍCIE [33].....	23
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENTES FORMAS DE SEMI-PRODUTO.....	24
FIGURA 27 - PRENSA HIDRÁULICA.....	25
FIGURA 28 - PLACA DE 558 MM, DE ONDE SE CORTARAM DISCOS DE 123 MM.....	26
FIGURA 29 – CRONOLOGIA DA SAINT-GOBAIN ABRASIVOS EM PORTUGAL.....	36
FIGURA 30 - PRENSA MANUAL.....	37
FIGURA 31 - EXEMPLO DE PLACA E CORTANTE.....	37
FIGURA 32 - EXEMPLO DE UMA PLACA DE 558 X 533 [MM].....	37
FIGURA 33 - EXEMPLO DE PLACA DE 508 MM.....	38
FIGURA 34 - EXEMPLO DE UMA PLACA DE 431 MM.....	38
FIGURA 35 - MÁQUINA DE CORTE POR JATO DE ÁGUA OMAX [52].....	40
FIGURA 36 - ETAPAS DO TRABALHO PRÁTICO.....	42
FIGURA 37 – CÁLCULO DOS VALORES INICIAIS PARA O DESPERDÍCIO DA FAMÍLIA CBXSHEET.....	44
FIGURA 38 - CÁLCULO DO DESPERDÍCIO EM % PARA A FAMÍLIA CBXSHEET.....	46

FIGURA 39 - CÁLCULO DO DESPERDÍCIO EM € PARA A FAMÍLIA CBXSHEET	47
FIGURA 40 - CÁLCULO DOS VALORES INICIAIS PARA O DESPERDÍCIO DA FAMÍLIA CBXDISC (DIR) E UNW	48
FIGURA 41 – CÁLCULO DO DESPERDÍCIO EM % DA FAMÍLIA CBXDISC (DIR) E UNW	48
FIGURA 42 - CÁLCULO DO DESPERDÍCIO EM % DA FAMÍLIA CBXDISC (DIR) E UNW	48
FIGURA 43 - CÁLCULO DOS VALORES INICIAIS PARA O DESPERDÍCIO DA FAMÍLIA CBXCONVWHL	49
FIGURA 44 - VALORES DE DESPERDÍCIO TÉCNICO, EM EUROS, ENTRE JUNHO DE 2020 E MAIO DE 2021	49
FIGURA 45 - GRÁFICO DE PARETO DO DESPERDÍCIO TÉCNICO ENTRE MAIO/20 E MAIO/21	50
FIGURA 46 - SIMULAÇÃO DO CORTE DE 3000 DISCOS DE DIÂMETRO 76 MM E 1000 DISCOS DE DIÂMETRO 100 MM NA PLACA DE 558 X 533 [MM] [55]	53
FIGURA 47 - PADRÃO DE CORTE OTIMIZADO PARA AS QUANTIDADES DE 3000 DISCOS DE DIÂMETRO 76 MM E 1000 DISCOS DE DIÂMETRO 100 MM NA PLACA DE 558 X 533 [MM] [55]	54
FIGURA 48 - SIMULAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS A CORTAR DE DIÂMETRO 123 MM NA PLACA DE 558 X 533 [MM] [55]	55
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS DE DIÂMETRO 123 MM NA PLACA 558 X 533 [MM] [55]	56
FIGURA 50 - SIMULAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS A CORTAR DE DIÂMETRO 76 MM NA PLACA DE 508 X 508 [MM] [55]	56
FIGURA 51 - REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS DE DIÂMETRO 76 MM NA PLACA 508 X 508 [MM] [55]	57
FIGURA 52 - SIMULAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS A CORTAR DE DIÂMETRO 113 NA PLACA DE 431 X 431 [MM] [55]	57
FIGURA 53 - REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS DE DIÂMETRO 113 MM NA PLACA DE 431 X 431 [MM] [55]	57
FIGURA 54 - EXEMPLIFICAÇÃO DOS CÁLCULOS REALIZADOS PARA A QUANTIDADE DE DISCOS A TESTAR NO <i>SOFTWARE</i> PARA A PLACA 558 MM COMBINAÇÃO 1	59
FIGURA 55 - REPRESENTAÇÃO DOS VALORES DOS CÁLCULOS DESCRITOS NA FIGURA 54	59
FIGURA 56 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 4 NA PLACA DE 558 MM	60
FIGURA 57 – PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 558 X 533 [MM] [55]	61
FIGURA 58 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 558 MM [55]	61
FIGURA 59 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 12 DA PLACA 558 MM	62
FIGURA 60 - PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 12 PLACA DE 558 X 533 [MM] [55]	62
FIGURA 61 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 12 DA PLACA DE 558 MM [55] ..	63
FIGURA 62 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 508 MM	63
FIGURA 63 - PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 508 X 508 [MM] [55]	64
FIGURA 64 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 508 X 508 [MM] [55]	64
FIGURA 65 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 508 X 508 [MM]	65
FIGURA 66 – PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 508 MM [55]	65

FIGURA 67 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 508 X 508 [MM] [55].....	65
FIGURA 68 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 431 MM	66
FIGURA 69 - PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 431 MM [55]	66
FIGURA 70 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 4 DA PLACA DE 431 MM [55]	67
FIGURA 71 - CÁLCULOS REALIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 431 MM	67
FIGURA 72 - PARÂMETROS DA OTIMIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE</i> PARA A COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 431 MM [55]	68
FIGURA 73 - ESQUEMA DE CORTE (<i>SOFTWARE</i>) PARA A COMBINAÇÃO 10 DA PLACA DE 431 MM [55] ..	68
FIGURA 74 - INSERÇÃO DE DADOS PARA O CÁLCULO COM DOIS DIÂMETROS	69
FIGURA 75 - EXEMPLO DOS RESULTADOS DOS VÁRIOS CENÁRIOS PARA O CÁLCULO COM DOIS DIÂMETROS	73
FIGURA 76 – INSERÇÃO DE DADOS PARA O CÁLCULO COM TRÊS DIÂMETROS	73
FIGURA 77 - EXEMPLO DOS RESULTADOS DOS VÁRIOS CENÁRIOS PARA O CÁLCULO COM TRÊS DIÂMETROS	77

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS DE ABRASIVOS.....	10
TABELA 2 - DIFERENTES TIPOS DE GRÃOS ABRASIVOS.....	12
TABELA 3 - CONSTITUINTES DE UM ABRASIVO REVESTIDO	15
TABELA 4 - EFICIÊNCIA DO CORTE DE DISCOS DE DIÂMETRO 123 MM NUMA PLACA DE 558 X 533 [MM]	27
TABELA 5 - DESCRIÇÃO DE VÁRIOS TRABALHOS SOBRE <i>NESTING</i>	27
TABELA 6 - QUANTIDADE DE MATERIAL ABRASIVO ENVIADO APARA ATERRO EM 2019	31
TABELA 7 - DIMENSÕES DOS TRÊS TIPOS DE PLACAS.....	37
TABELA 8 - QUANTIDADE DE DISCOS CORTADOS NA PLACA DE 558 X 533 [MM] E RESPECTIVA EFICIÊNCIA	39
TABELA 9 - QUANTIDADE DE DISCOS CORTADOS NA PLACA DE 508 X 508 [MM] E RESPECTIVA EFICIÊNCIA	39
TABELA 10 - QUANTIDADE DE DISCOS CORTADOS NA PLACA DE 431 X 431 [MM] E RESPECTIVA EFICIÊNCIA	39
TABELA 11 - DIFERENÇAS ENTRE O CORTE DE DISCOS POR JATO DE ÁGUA E EM PRENSA MANUAL	41
TABELA 12 - QUANTIDADE DE DISCOS PRODUZIDOS EM 2019 NA PLACA 558 X 533 [MM].....	51
TABELA 13 - QUANTIDADE DE DISCOS PRODUZIDOS EM 2019 NA PLACA 508 X 508 [MM].....	51
TABELA 14 - QUANTIDADE DE DISCOS PRODUZIDOS EM 2019 NA PLACA 431 X 431 [MM].....	52
TABELA 15 - QUANTIDADE MÁXIMA DE DISCOS DE CADA DIÂMETRO, POR PLACA	55
TABELA 16 - COMBINAÇÕES DE DOIS DIÂMETROS PLACA 558 X 533 [MM]	60
TABELA 17 - COMBINAÇÕES DE TRÊS DIÂMETROS PLACA 558 X 533 [MM]	61
TABELA 18 - COMBINAÇÕES DE DOIS DIÂMETROS NA PLACA 508 X 508 [MM]	63
TABELA 19 - COMBINAÇÕES DE TRÊS DIÂMETROS NA PLACA DE 508 X 508 [MM]	64
TABELA 20 - COMBINAÇÕES DE DOIS DIÂMETROS DA PLACA 431 X 431 [MM]	66
TABELA 21 - COMBINAÇÕES DE TRÊS DIÂMETROS DA PLACA DE 431 X 431 [MM]	67
TABELA 22 - GANHO DE EFICIÊNCIA CONSEGUIDO COM A UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> PARA A PLACA DE 558 MM.....	78
TABELA 23 - GANHO DE EFICIÊNCIA CONSEGUIDO COM A UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> PARA A PLACA DE 508 MM.....	79
TABELA 24 - GANHO DE EFICIÊNCIA CONSEGUIDO COM A UTILIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> PARA A PLACA DE 431 MM.....	79
TABELA 25 - EFICIÊNCIAS CONSEGUIDAS NAS VÁRIAS COMBINAÇÕES COM 2 DIÂMETROS	80
TABELA 26 - EFICIÊNCIAS CONSEGUIDAS NAS VÁRIAS COMBINAÇÕES COM 3 DIÂMETROS	80
TABELA 27 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DAS EFICIÊNCIAS ENTRE AS COMBINAÇÕES CRIADAS E O CORTE EM PRENSA	81
TABELA 28 - POUPANÇA ANUAL DE MATERIAL ENVIADO PARA ATERRO	81

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XXI
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Contextualização	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura do relatório.....	5
1.5 Empresa de Acolhimento	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 A Indústria de abrasivos	9
2.1.1 O que são produtos abrasivos	9
2.1.2 Importância da indústria de abrasivos na economia mundial	11
2.1.3 Materiais utilizados	12
2.1.4 Processos de fabrico.....	14
2.1.5 Formas do semi-produto	24
2.2 O corte de produtos abrasivos	25
2.2.1 Processos de corte.....	25
2.2.2 Taxas de aproveitamento	26
2.2.3 Nesting.....	27
2.3 Abrasivos: Questões ambientais	30
2.3.1 Perigosidade dos abrasivos	30

2.3.2	Destino dos retalhos de produtos abrasivos.....	31
2.3.3	Custo de depósito em aterro.....	31
3	DESENVOLVIMENTO.....	35
3.1	Caracterização da Saint-Gobain Abrasivos.....	35
3.2	Caracterização dos processos de corte.....	36
3.2.1	Corte em prensa.....	36
3.2.2	Corte por jato de água.....	40
3.3	Problema e Motivações do trabalho prático.....	41
3.4	Inventariação de desperdícios.....	42
3.5	Estudo da procura de discos abrasivos.....	50
3.6	Procura e seleção de <i>software</i> de <i>Nesting</i>	52
3.7	Criação de cenários para combinação de produtos.....	54
3.8	Criação de aplicação para combinação de produtos em função da procura.....	69
3.9	Análise crítica dos resultados.....	77
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	85
4.1	Conclusões.....	85
4.2	Proposta de trabalhos futuros.....	86
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	91
6	ANEXOS.....	97
6.1	ANEXO A - Simulações <i>NESTFAB</i> - Placa: 558x533 mm.....	97
6.2	ANEXO B - Simulações <i>NESTFAB</i> - Placa: 508x508 mm.....	116
6.3	ANEXO C - Simulações <i>NESTFAB</i> – Placa: 431x431 mm.....	127

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

1.5 EMPRESA DE ACOLHIMENTO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A indústria abrasiva produz soluções poderosas, precisas e de fácil utilização para desbaste, moldagem e acabamento de todo o tipo de materiais e para todas as aplicações à nossa volta, nomeadamente nas indústrias de fabricação de metal, de transportes, de energia, da madeira e mobiliário, da construção civil, de rolamentos e engrenagens e também na médica.

O desperdício de matéria-prima é cada vez mais, um aspeto significativo de melhoria contínua para qualquer indústria. Desde os aspetos financeiros, aos ambientais, a minimização do desperdício torna-se crucial para qualquer empresa. Ao reduzir a percentagem do mesmo, é possível minimizar os custos com a matéria-prima e diminuir os recursos utilizados, o que implica desde logo a diminuição dos resíduos gerados.

A indústria de conversão de matéria-prima, neste caso abrasivos, é caracterizada pela existência de diversos planos de corte, uma vez que é necessário transformar os abrasivos nas mais diversas formas que, por conseguinte, origina desperdício. Esse desperdício divide-se em duas vertentes, o técnico e o produtivo.

No processo de transformação de matéria-prima, existe sempre uma percentagem de desperdício necessário obter devido à execução do plano de corte (não é passível de minimização, utilizando o mesmo processo), este designa-se como desperdício técnico. Esse desperdício só pode ser melhorado com reengenharia de processo, isto é, com melhoria do processo de transformação.

Já o desperdício produtivo de um processo deve ser o mínimo possível, ou seja, deve tender para zero, uma vez que ocorre devido a não conformidades do material, a erros cometidos pelos operadores, isto é, fatores passíveis de melhoria.

Diminuir o desperdício durante o processo de transformação torna-se um processo difícil, contudo é possível minimizá-lo. Uma forma de reduzir o desperdício técnico prende-se com a otimização do padrão de corte, este processo de melhoria denomina-se por *Nesting*.

Neste projeto procurou-se analisar o desperdício gerado nos vários processos de conversão e, posteriormente, averiguar uma hipótese de otimizar a família de matéria-

prima com valor financeiro mais elevado de desperdício. De notar que, na realização da respetiva otimização foi utilizado um *software* de *Nesting*.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho passa pela construção de uma ferramenta de análise do desperdício existente (técnico e produtivo) por família de materiais, e na otimização do desperdício técnico da família com desperdício técnico mais elevado em termos financeiros. Assim, a seguinte dissertação está assente nos seguintes objetivos:

- Analisar os processos de conversão de matéria-prima;
- Verificar pontos de desperdício no processo produtivo;
- Realizar um ficheiro de cálculo que permita distinguir os dois tipos de desperdício (técnico e produtivo);
- Analisar a família com desperdício mais elevado;
- Otimizar o corte dessa família de produtos, através de combinações de dois e três diâmetros (otimizadas pelo software de *nesting*), de forma a obter uma melhoria de 10% na eficiência de corte, relativamente ao valor da eficiência de corte conseguida na prensa manual.

1.3 Metodologia

No âmbito da realização do estágio curricular, foi desenvolvida a presente metodologia de investigação, sendo que a mesma, se desenvolveu no decorrer das seguintes cinco fases:

- Fase I – Identificação e quantificação do desperdício de matéria-prima existente por família de produto.

Esta identificação e quantificação do desperdício de matéria-prima (técnico e produtivo), foi realizada através da criação de um relatório em Excel®, que permite ter a perceção das famílias de produtos com desperdício mais elevado, que vai de encontro ao pretendido pela empresa Saint-Gobain Abrasivos.

- Fase II – Pesquisa bibliográfica na área da otimização de corte (*Nesting*) e investigação operacional.

Pesquisa Bibliográfica realizada na área da otimização de corte (*Nesting*) e também na área da investigação operacional, com vista à sua aplicação na diminuição do desperdício técnico gerado no corte de discos de abrasivo.

- Fase III – Aplicação de *Nesting* com o *software NESTFAB*. Criação de diversas combinações de diâmetros de discos, de forma a otimizar as placas de corte, através da utilização de um *software* de *Nesting*, o *NESTFAB*.

- Fase IV – Aplicação para combinação de produtos em função da procura.

Esta aplicação pretende devolver a solução mais otimizada de corte baseada na procura inserida.

- Fase V – Análise crítica dos resultados.

Por fim, foi calculada a poupança gerada por forma a perceber a percentagem de matéria-prima ganha com a realização do *Nesting*.

1.4 Estrutura do relatório

Esta dissertação está dividida em quatro tópicos principais, a Introdução, a Revisão Bibliográfica, o Desenvolvimento, as Conclusões e propostas de trabalho futuro, a Bibliografia e os Anexos.

No primeiro capítulo, a Introdução, é realizado o enquadramento do projeto, onde são referidos os objetivos do mesmo, a metodologia utilizada, delineada a sua estrutura e ainda efetuada uma descrição da empresa onde foi desenvolvido o presente trabalho.

Na Revisão Bibliográfica, segundo capítulo, é apresentada toda a informação necessária à realização deste projeto, nomeadamente a indústria dos abrasivos.

No terceiro capítulo, o Desenvolvimento, está descrita toda a evolução do processo prático do projeto.

Já no quarto capítulo, são descritas as principais conclusões obtidas na realização deste projeto, assim como, algumas sugestões de trabalho futuro.

1.5 Empresa de Acolhimento

O presente projeto foi desenvolvido na empresa Saint-Gobain Abrasivos, Lda., que está situada no concelho da Maia (Zona Industrial da Maia). Esta empresa pertence à multinacional Saint-Gobain, que atua em vários ramos, nomeadamente vidro, materiais de alta *performance* e habitação.

A empresa de acolhimento instalou-se definitivamente em Portugal no ano 2000, após a aquisição da empresa, da mesma área, Lima, Teixeira Lima.

A Saint-Gobain Abrasivos, Lda. está inserida na *Branche Abrasives* da Delegação Mediterrânea, da qual fazem parte Portugal, Espanha, Itália, Grécia, Marrocos, Argélia, Tunísia e Líbia. Esta dedica-se apenas ao sector dos abrasivos, que está inserido na secção dos materiais de alta *performance*, e é também a única do Grupo a operar com este tipo de materiais no país.

A política do Grupo assenta em cinco atitudes:

- Cultivar a proximidade com o cliente;
- Agir como empreendedor;
- Inovar;
- Ser ágil;
- Construir uma cultura aberta e de compromisso.

A empresa está certificada pela SGS nas Normas NP EN ISO 9001, ISO 14001 e Ohsas 18001 em vigor, uma vez que considera que a gestão integrada da Qualidade, Ambiente, Segurança e Saúde no Trabalho constituem um dos pilares para o desenvolvimento sustentável.

A Segurança é um valor fundamental na Saint-Gobain, e por isso é proporcionado a cada trabalhador os seus devidos EPI's de forma gratuita, procurando sempre a máxima: "Zero acidentes".

O trabalho desenvolvido pela empresa sempre foi a conversão de matéria-prima, ou seja, a conversão de dois tipos de abrasivos, os convencionais (lixa) e os não-tecido (*non woven*).



Figura 1 - Saint-Gobain Abrasivos, Lda [1]

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INDÚSTRIA DE ABRASIVOS

2.2 O CORTE DE PRODUTOS ABRASIVOS

2.3 ABRASIVOS: QUESTÕES AMBIENTAIS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Indústria de abrasivos

2.1.1 O que são produtos abrasivos

Nos dias de hoje, as indústrias estão em constante mudança, devido à alucinante evolução dos materiais e, conseqüentemente, dos seus processos. Isto deve-se também à concorrência existente atualmente.



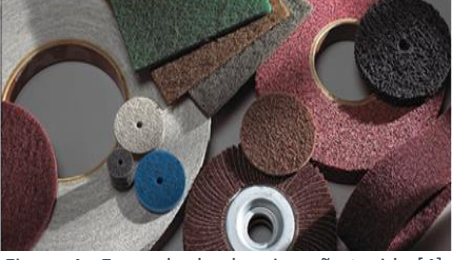
Os produtos abrasivos são descritos, pela indústria de abrasivos, como a junção entre um adesivo e um conjunto de grãos abrasivos. Através da aplicação de alguma pressão, estes grãos são colocados em contacto com uma superfície de trabalho, ocorrendo assim o processo de abrasão.

Estes materiais dividem-se em três grandes grupos, os abrasivos revestidos (*coated abrasives*), os abrasivos aglomerados (*bonded abrasives*) e, por fim, os abrasivos não tecidos (*non-woven abrasives*). Na generalidade, os abrasivos revestidos são constituídos por um substrato (*backing*) onde são depositados os grãos abrasivos que são fixados a este último através da utilização de um adesivo. Já um abrasivo aglomerado, é formado por uma aglomeração de grãos abrasivos ligados através de um aglutinante, formando uma estrutura sólida. Os abrasivos não tecidos (*non-woven abrasives*) são compostos por um conjunto de fibras de Poliamida® impregnadas com grãos abrasivos e unidas através de resina, formando um material tridimensional e flexível, conforme descrito na Tabela 1 [2].

Os produtos abrasivos são utilizados em múltiplas aplicações, sendo por isso ferramentas essenciais para diversas indústrias. Estas ferramentas permitem realizar operações de desbaste, onde o objetivo é retirar o excedente de material de uma peça, de corte e homogeneização, isto é, levar a peça à forma e às cotas finais, com a tolerância pretendida e, por último, o acabamento e polimento de uma superfície.

São produtos que oferecem soluções poderosas, precisas e de fácil manuseamento para o utilizador, uma vez que a sua gama de aplicação pode ir desde a bricolagem doméstica à engenharia de alta precisão técnica.

Tabela 1 - Tipos de Abrasivos

Tipos de Abrasivos	Descrição	Figura
Abrasivos Revestidos (Coated)	<p>Uma camada de grãos abrasivos é aplicada, através da utilização de adesivos ligantes, sobre a superfície de um suporte (<i>backing</i>) que pode ser em papel, tecido, filme de poliéster ou fibra vulcanizada. Estes abrasivos são utilizados para remoção de material, mas também para polimento e acabamento fino, dependendo do tipo de grão [3].</p>	 <p>Figura 2 - Exemplo de abrasivo revestido [4]</p>
Abrasivos Aglomerados (Bonded)	<p>São constituídos por um corpo de grãos abrasivos ligados através de um aglomerante orgânico ou vitrificado, moldados em várias formas, como rodas e discos. Estes abrasivos são utilizados em corte a seco e desbaste de alta precisão, incluindo retificação cilíndrica exterior e interior, redimensionamento e polimento [5].</p>	 <p>Figura 3 - Exemplo de abrasivo aglomerado [4]</p>
Abrasivos Não Tecidos (Non Woven)	<p>Estes produtos são fabricados através de fibras de Poliamida® que são unidas com resinas sintéticas. As fibras são impregnadas com grãos abrasivos, produzindo um material durável, tridimensional, flexível e adaptável à peça de trabalho, permitindo rebarbar, limpar e dar o acabamento desejado à peça numa variedade de materiais [6].</p>	 <p>Figura 4 - Exemplo de abrasivo não tecido [4]</p>

2.1.2 Importância da indústria de abrasivos na economia mundial

O mercado global de abrasivos foi avaliado em 38,6 mil milhões de dólares em 2019, e deve crescer a uma taxa de crescimento anual composta de 4,4% de 2020 a 2027. A crescente procura e utilização de produtos abrasivos em diversas aplicações, deverá impulsionar o mercado.

A região Ásia-Pacífico liderou o mercado, com uma participação de mais de 53% em 2019.

Estima-se que a Europa também terá um crescimento considerável, devido à crescente procura por abrasivos destinados a componentes para a indústria automóvel.

O setor automóvel e transportes foi o maior segmento de aplicação de abrasivos, tendo uma participação de mais de 35% em 2019, conforme demonstrado na Figura 5. No entanto, o segmento deve perder esta participação nos próximos anos, devido ao fraco desempenho da indústria automóvel em 2019 e uma queda acentuada das vendas no setor automóvel em 2020, devido à pandemia Covid-19. De acordo com a Organização Internacional de Fabricantes de Veículos Automóveis, a produção global testemunhou uma queda anual de 5,2% em 2019 [7].



Figura 5 - Participação global no mercado de abrasivos, 2019. Adaptado de [7]

O mercado global é caracterizado pela presença de empresas de pequeno e médio porte. O desenvolvimento de novos produtos e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, são as principais estratégias adotadas pela maioria dos participantes da indústria, de forma a obter uma maior participação no mercado. Algumas das empresas de destaque no mercado de abrasivos são as seguintes:

- 3M Company;
- Robert Bosch GmbH;
- Compagnie de Saint-Gobain SA;
- Henkel; Fujimi Inc.;
- Tyrolit Group;
- Asahi Diamond Industrial;
- Sak Industries;
- Carborundum Universal Ltd.;
- Deerfos [7].

2.1.3 Materiais utilizados

Os materiais abrasivos mais utilizados são o óxido de alumínio e o carboneto de silício. Estes materiais sintéticos correspondem entre 80 a 90% da quantidade total de grãos abrasivos produzidos. Para além destes dois mais utilizados, também existe o Zircónio de Alumina e ainda o grão cerâmico. A Tabela 2 descreve os diferentes tipos de grão e as respetivas aplicações.

Tabela 2 - Diferentes tipos de grãos abrasivos

Tipo de grão	Descrição	Aplicação	Imagem
Óxido de Alumínio	Cada partícula é um cristal único, que resulta em arestas mais afiadas e fortes, que contribuem para uma melhor adesão e ação de corte mais nítida [8].	Retificação de precisão de ferramentas de aço de alta dureza e discos de corte gerais, nas indústrias aeroespacial e automóvel [8].	 Figura 6 - Óxido de alumínio [8]
Carboneto de silício	Durante a sua utilização, os grãos de abrasivo são quebrados e formam-se arestas afiadas, que proporcionam uma rápida e agressiva remoção de material [9].	Utilizado para esmerilamento de aço, ferro fundido, carboneto de tungsténio, alumínio e metais não ferrosos, plásticos e borrachas [9].	 Figura 7 - Grãos de carboneto de silício [9]

<p>Zircónio de Alumina</p>	<p>Microestrutura cristalina extremamente fina, que faz destes, os materiais mais duráveis da indústria de abrasivos. Abrasivo com alto poder de corte, muito utilizado devido à sua relação custo/benefício [10].</p>	<p>Utilizados em abrasivos revestidos (<i>coated</i>), abrasivos aglomerados (<i>bonded</i>), em particular para aço inoxidável e outras ligas difíceis [10].</p>	 <p>Figura 8 - Grãos de Zircónio de Alumina [10]</p>
<p>Óxido de Alumínio Cerâmico</p>	<p>Grão abrasivo obtido a partir de óxido de alumínio em gel. Estrutura de microcristais, que durante o processo de desbaste se quebram formando novas arestas de corte, proporcionando maior fiabilidade nas operações [11].</p>	<p>Alta taxa de remoção de material, como sistemas de precisão, e ainda para aplicações de acabamento fino. Indicado para aços de alta liga, titânio e níquel [11].</p>	 <p>Figura 9 - Grão cerâmico [9]</p>

Na área dos abrasivos, os diferentes tipos de grão significam os diferentes tipos de minerais utilizados durante a fabricação de ferramentas abrasivas. Uma vez que o processo de retificação é realizado por esses minerais, o tipo de grão utilizado tem um grande impacto na faixa de adequação e no desempenho de um abrasivo.

A Figura 10 representa uma visão geral das diferentes propriedades dos grãos abrasivos, as respetivas aplicações para cada tipo de grão e as características típicas de desgaste dos mesmos.

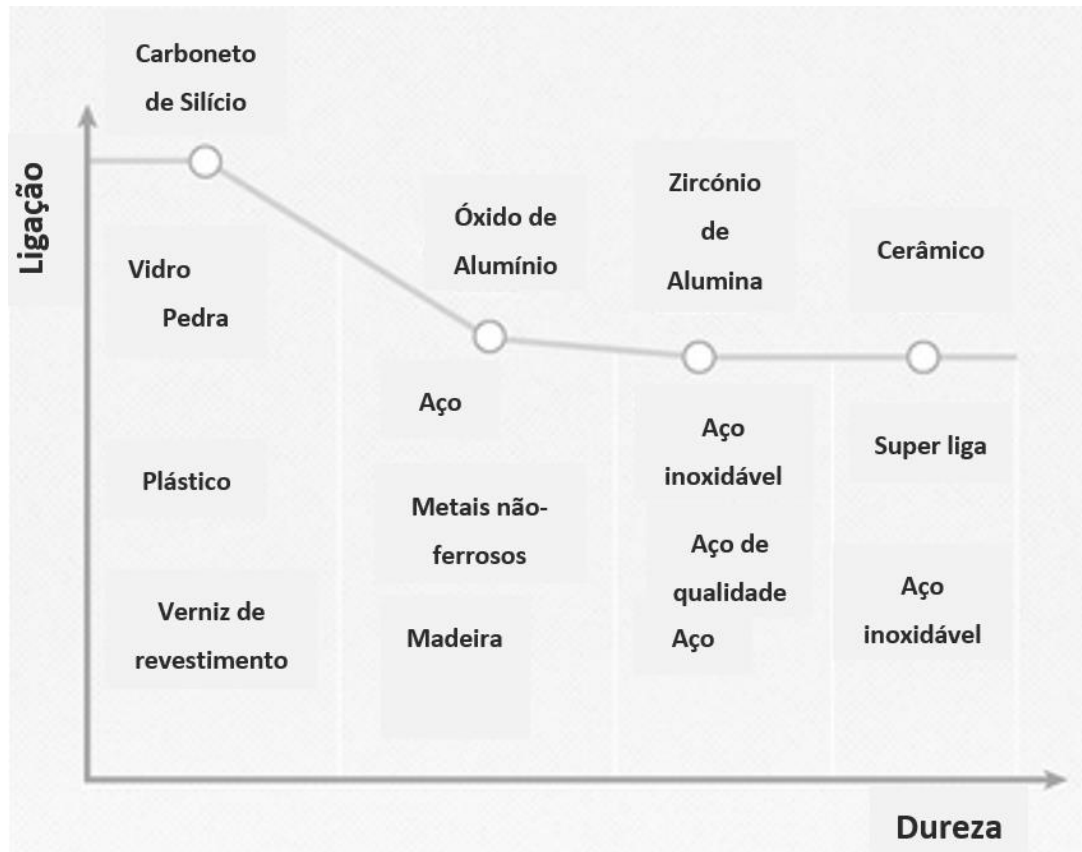



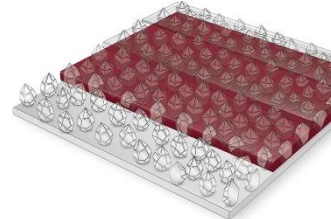
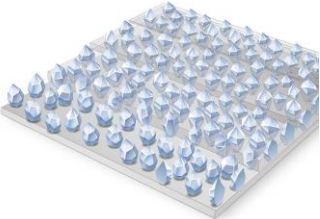
Figura 10 - Classificação dos grãos relativamente à ligação, dureza e aplicação. Adaptado de [12]

Existem dois tipos principais de aglomerantes utilizados, um baseado em cola animal, outro, mais comum, com base em resinas sintéticas endurecidas pelo calor. O aglomerante é aplicado no mínimo em duas aplicações. A primeira, no início do fabrico, para que a deposição de grão abrasivo adira ao suporte, garantindo a ancoragem e orientação adequadas. Após a secagem ou cura, é aplicada a segunda camada de aglomerante, que fornece a fixação final do grão e o nível adequado de aderência ao produto final [13].

2.1.4 Processos de fabrico

Os Abrasivos Revestidos (Coated) possuem uma estrutura constituída por cinco componentes, o suporte, o revestimento base, o grão abrasivo, o revestimento e o revestimento adicional, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Constituintes de um abrasivo revestido

Constituinte	Descrição	Imagem
Suporte	O suporte, primeiro constituinte deste tipo de abrasivo, pode ser em papel, tecido, filme plástico, fibra vulcanizada ou sintética, ou ainda uma combinação de papel e tecido. Este elemento garante ao abrasivo propriedades específicas como, aderência, resistência à tração, flexibilidade e estabilidade [14].	 <p data-bbox="1034 577 1324 633">Figura 11 - Representação do suporte a cinzento [14]</p>
Revestimento base	O revestimento base é uma resina utilizada para permitir uma ancoragem dos grãos abrasivos ao suporte. São usadas principalmente resinas de fenol e ureia que, dependendo da aplicação, são flexibilizadas, permitindo fabricar abrasivos de alta <i>performance</i> por um lado, bem como produtos de acabamento altamente flexível, por outro. A dureza do agente de ligação afeta a agressividade e a vida útil do abrasivo [14].	 <p data-bbox="1007 1037 1350 1093">Figura 12 - Representação do revestimento base a vermelho [14]</p>
Grãos abrasivos	Os grãos abrasivos são obtidos através de minerais triturados, formando partículas que são classificadas mediante o seu tamanho e depositadas, sobre o revestimento base, por gravidade, processo eletrostático ou as duas em simultâneo. Os grãos abrasivos mais utilizados são o carboneto de silício, o óxido de alumínio, o zircónio de alumina, o óxido de alumínio cerâmico e o diamante [12], [15].	 <p data-bbox="1034 1518 1324 1574">Figura 13 - Representação dos grãos abrasivos a branco [14]</p>

Revestimento do grão

Este revestimento permite unir, firmemente, os grãos abrasivos entre si e ao revestimento base. Mais uma vez, podem ser utilizadas resinas aglutinantes mais macias, mais elásticas ou mais duras e mais resistentes, dependendo da aplicação do abrasivo [14].

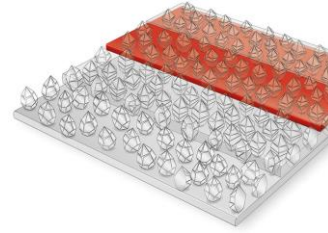


Figura 14 - Representação do revestimento do grão a vermelho [14]

Revestimento adicional

Os revestimentos especiais são aplicados como uma camada adicional, e permitem fornecer ao material propriedades que afetam positivamente o processo de retificação e aumentam a vida útil do abrasivo revestido [16].

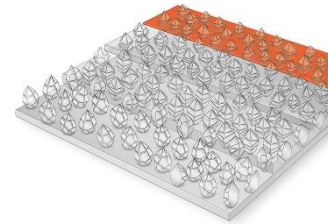


Figura 15 - Representação do revestimento adicional a vermelho [14]

Num processo convencional de produção de abrasivos revestidos, um suporte é preparado e, em seguida, tratado com uma camada de resina preparadora (revestimento base), que é parcialmente curada antes da aplicação de uma camada de partículas abrasivas ser depositada sobre esta. O revestimento base é depois curado e uma camada de resina, conhecida como revestimento de grão, é aplicada sobre os grãos abrasivos e também curada [17].

De seguida, é possível verificar de uma forma mais explícita qual o procedimento de produção de um abrasivo revestido.

O processo de produção de abrasivos revestidos, inicia-se com a aquisição das matérias-primas, entre as quais resinas, grãos abrasivos e ainda o suporte, conforme representado no ponto 1 da Figura 20.

De seguida, realiza-se a preparação do material de apoio, onde o rolo de suporte é desenrolado, para que sejam impressas, a toda a largura do verso do mesmo, todas as informações necessárias para a sua produção, nomeadamente a marca, a identificação do material, o tamanho de grão e o número de série (para rastreabilidade em caso de anomalia) [18, 19].

A próxima etapa denomina-se por processo de revestimento, e inicia-se com o desenrolamento do suporte, seguido da aplicação do revestimento base, isto é, todo o material de suporte recebe uma primeira aplicação de resina que varia em quantidade

e concentração, dependendo da partícula abrasiva utilizada, conforme demonstrado nos pontos 3 e 4 da Figura 20 [18].

No ponto 5 da Figura 20, os grãos abrasivos são depositados no material. Este processo pode ser realizado através de dois métodos diferentes, por gravidade ou através de um processo eletrostático, sendo que também poderá ser realizado através dos dois processos em simultâneo.

O revestimento por gravidade consiste em lançar os grãos abrasivos, com um fluxo controlado, sobre o suporte impregnado com adesivo, conforme representado na Figura 16 [17].

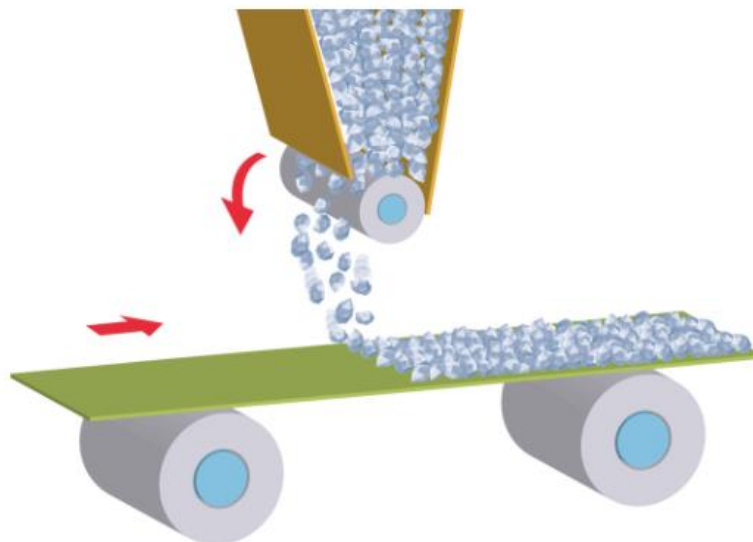


Figura 16 - Processo de revestimento dos grãos abrasivos por gravidade [20]

Normalmente, os grãos abrasivos são aplicados através do método eletrostático, onde o suporte, impregnado com resina, se desloca com o lado adesivo virado para baixo (a verde na Figura 17), por cima de um tapete de grãos abrasivos (a amarelo na Figura 17), sendo estes últimos atravessados por uma corrente elétrica. A carga eletrostática induzida pela corrente faz com que os grãos se alinhem, de forma a que a dimensão mais longa fique perpendicular ao plano do suporte quando o grão é ancorado, permitindo que as arestas de corte afiadas do grão fiquem diretamente em contacto com a superfície em trabalho. Este método também permite que os grãos individuais sejam espaçados de forma mais uniforme, devido à repulsão individual do grão. A quantidade de grãos abrasivos depositados no suporte pode ser controlada com extrema precisão, ajustando o fluxo abrasivo e alterando a velocidade de movimentação do suporte [17, 18].

Este processo é bastante vantajoso, uma vez que o abrasivo apresenta a menor área superficial do grão em contacto com a superfície de trabalho, maximizando a força aplicada por grão e, portanto, a eficácia do processo de desbaste para uma determinada pressão de trabalho [17].

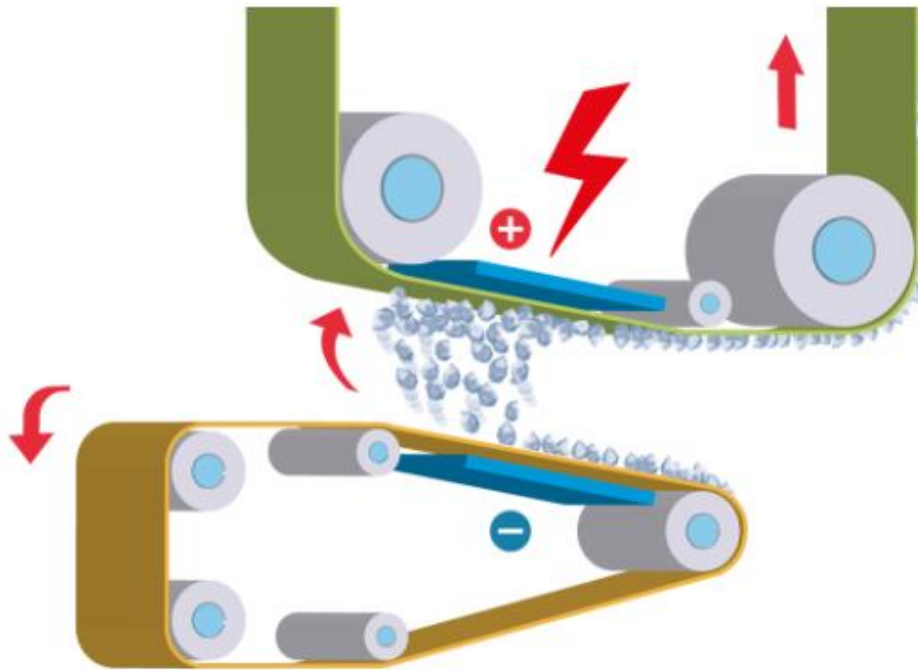


Figura 17 - Processo de projeção eletrostática dos grãos abrasivos [20]

A distribuição dos grãos pode ser, ainda, realizada de duas formas: pode ser fechada ou aberta.

Na distribuição fechada, utilizada na maioria dos produtos, os grãos cobrem toda a superfície do suporte, permitindo maior duração e melhor acabamento, conforme representado na Figura 18.

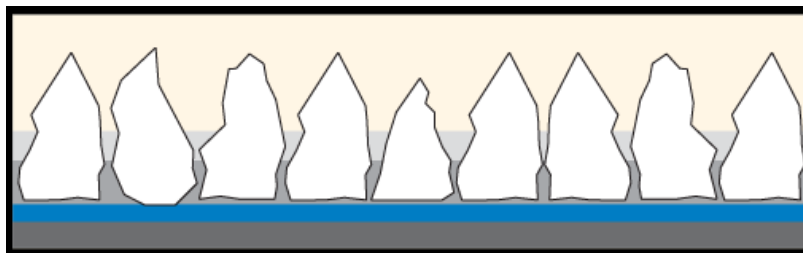


Figura 18 - Distribuição fechada do grão [21]

Denomina-se por distribuição aberta quando a quantidade de grãos, que revestem o suporte, é reduzida em cerca de 60% relativamente à fechada, como é mostrado na Figura 19. A distribuição aberta caracteriza-se pela capacidade de anti-empapamento, ou seja, possui maior espaço entre os grãos individuais, de forma a que a remoção de material e o pó de desgaste possam ser extraídos mais facilmente da superfície do abrasivo, evitando assim, o entupimento prematuro ao trabalhar em materiais como madeira.

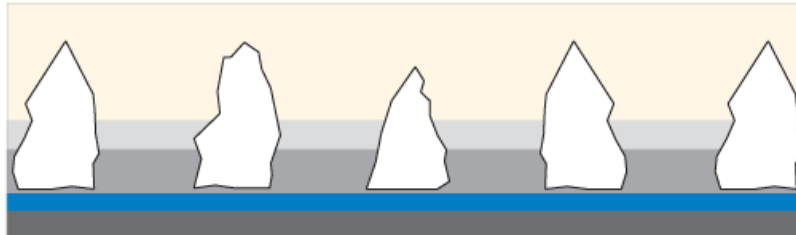


Figura 19 – Distribuição aberta do grão [21]

Após o processo de aplicação dos grãos abrasivos, segue-se o primeiro ciclo de cura, onde estes são fixados através da cura do revestimento base, conforme demonstrado no ponto 6 da Figura 20.

Segue-se o revestimento do grão, onde é aplicada uma nova camada de resina que se une ao revestimento base, de forma a fixar os grãos abrasivos de forma permanente ao suporte, conforme representado no ponto 7 da Figura 20. Os revestimentos adicionais também são aplicados nesta fase.

Na próxima etapa, dá-se o segundo ciclo de cura, onde se procede à cura dos revestimentos finais, ponto 8 da Figura 20 [18, 19].

O rolo jumbo é enrolado e levado novamente a um forno para que todo o material cure na totalidade, ponto 9 da Figura 20. Após a cura total, o rolo jumbo é novamente desenrolado e é feito o tratamento de acabamento, denominado por flexagem, uma vez que o abrasivo é bastante frágil e quebradiço logo após a sua fabricação. Neste tratamento, o material é flexionado em vários ângulos para definir e dividir a geometria da camada de revestimento de grão, para que o abrasivo adquira a flexibilidade necessária para a conversão e posterior utilização [18, 19, 22].

Após todo este processo, o material é convertido, ou seja, o jumbo (rolo de grandes dimensões) é transformado em produtos acabados de diversas formas, nomeadamente rolos, bandas (largas e estreitas), discos, folhas, tiras ou especialidades. É realizado o controlo de qualidade ao produto acabado e segue para o cliente final, conforme está demonstrado nos pontos 10, 11 e 12 da Figura 20.



Figura 20 - Processo de produção de um abrasivo revestido. Adaptado de [23]

Os abrasivos aglomerados têm uma estrutura tridimensional e são produzidos através de uma mistura de minerais abrasivos, resina em pó e resina líquida, formando uma massa moldável de partículas abrasivas unidas através de um ligante que são posteriormente prensados em diversos diâmetros e espessuras [24, 25].

Estes abrasivos são constituídos por partículas abrasivas mantidas numa matriz que pode ser vítrea, metálica ou de resina. A função do material de matriz é dar estrutura física e resistência, de modo que, quando o produto entra em contacto com uma peça de trabalho, os grãos abrasivos sejam mantidos com força suficiente para garantir que a peça de trabalho seja desgastada antes que o grão seja desgastado ou se desintegre [26].

Os métodos mais comuns utilizados para produzir este tipo de produtos são o método de prensagem a quente, o método de densificação de sinterização livre e o método de infiltração [27].

No início do processo de produção de um abrasivo revestido, os grãos abrasivos são embebidos com a resina líquida e, posteriormente, misturados com uma resina em pó, de forma a produzir uma mistura fluida, conforme demonstra a Figura 21 [24, 25].

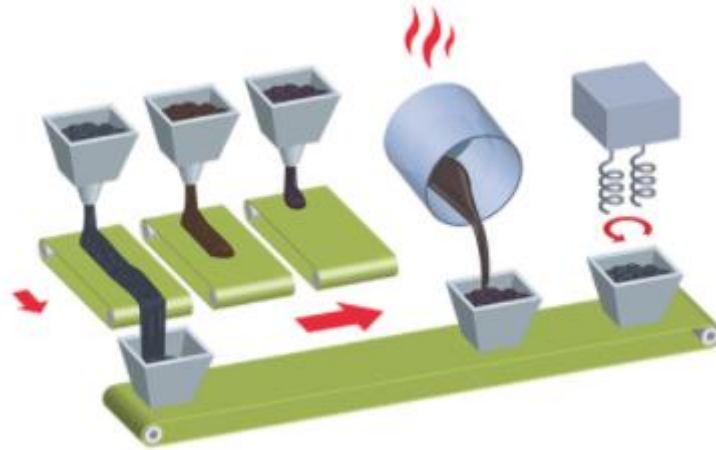


Figura 21 - Mistura inicial na produção de um abrasivo revestido [25]

De seguida, a mistura é colocada no molde, alternadamente com um tecido de fibra de vidro, utilizado para dar resistência ao material, devido às forças centrífugas a que estes produtos são sujeitos, conforme demonstrado na Figura 22 [28].

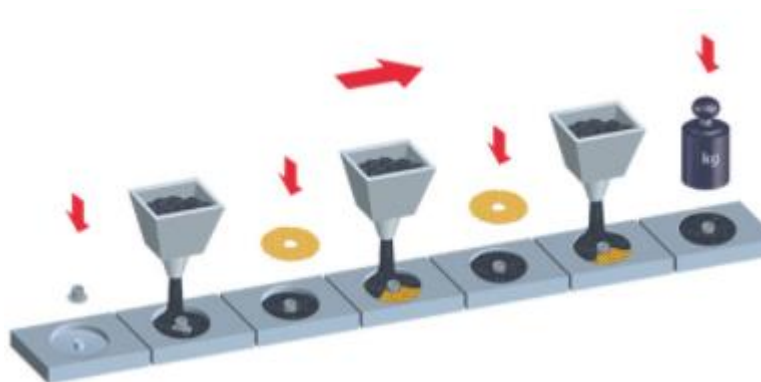


Figura 22 – Moldagem da produção de abrasivos revestidos

A seguir, ocorre a prensagem do material, onde a mistura é prensada a frio até à forma desejada, sendo que as pressões usadas nesta etapa são normalmente entre 50 e 300 MPa. Posteriormente, o molde é colocado numa máquina de prensagem a quente, onde é sujeito a temperatura (na faixa de 800 a 1100 °C) e pressão elevadas (10 a 50 MPa). Uma mudança de volume de até 50% é vulgar. Este método denomina-se por prensagem a quente [27], conforme demonstrado na Figura 23.

No método de densificação de sinterização livre, o material é também prensado a frio, como no processo anterior, contudo, em seguida, o produto moldado a frio é colocado num suporte e sinterizado (operação que consiste na compactação de pós ou partículas muito pequenas, a altas temperaturas, mas abaixo da temperatura de fusão) a uma temperatura de cerca de 1000 °C, sendo que nenhuma pressão é aplicada, e, portanto, não existe nada que restrinja o produto durante a sinterização.

Já o método de infiltração também envolve a prensagem a frio da mistura como no método de prensagem a quente. Depois disso, o produto moldado a frio é colocado num suporte e um infiltrante, como um material à base de cobre em forma de tira ou grânulo, é colocado na parte superior do produto, e isso é depois aquecido a uma temperatura de 950-1150 °C, fazendo com que o infiltrante se torne líquido e seja arrastado para o produto, preenchendo assim os espaços restantes [27].

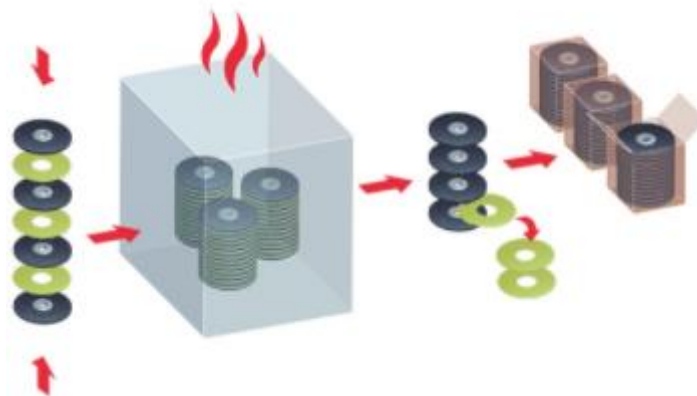


Figura 23 - Prensagem a quente [25]

Os abrasivos não tecidos (*non woven*) dividem-se em dois grupos, os abrasivos de lã (*fleece abrasives*) e os abrasivos de condicionamento de superfície (*surface conditioning materials* - scm). Os primeiros são saturados com grãos abrasivos e, por consequência, o abrasivo tridimensional pode ser utilizado dos dois lados, tendo por norma uma utilização manual. Já os de condicionamento de superfície são projetados para operação em máquina, e apenas podem ser utilizados de um lado (parte abrasiva) [29].

Os artigos abrasivos não tecidos são constituídos por uma malha de fibras à qual as partículas abrasivas são fixadas, sendo amplamente utilizados para aplicações de limpeza, acabamento e polimento, numa grande variedade de superfícies [30].

Os abrasivos de lã são tipicamente formados por fibras descontínuas onduladas que são formadas num tapete, estas são perfuradas com agulhas, conforme mostra a Figura 24

em 1, de forma a formar um tecido não tecido e, posteriormente, impregnadas com aglutinante resinoso e grãos abrasivos que aderem ao tecido, conforme demonstrado na Figura 24 em 2 [31, 32].

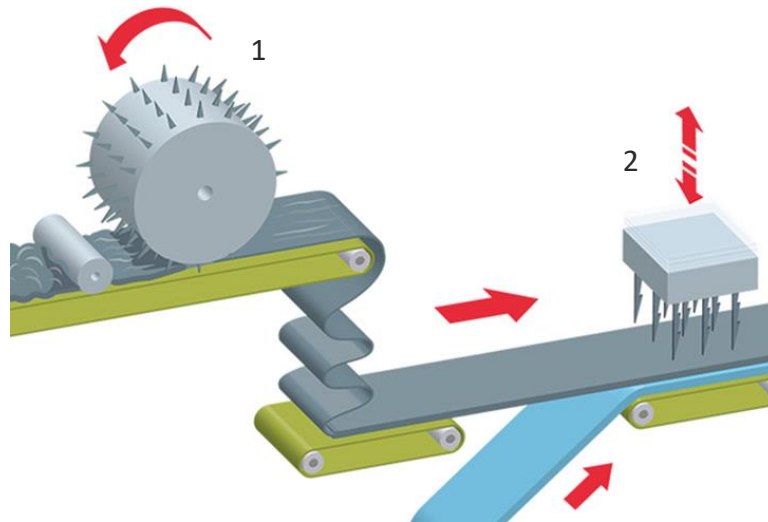


Figura 24 - Processo de produção de um abrasivo *fleece* [29]

Já os abrasivos de condicionamento de superfície, têm a mesma estrutura dos anteriores, contudo apresentam um suporte (*backing*) de malha em poliéster, ou seja, as fibras são perfuradas por uma agulha num suporte de malha de poliéster e, de seguida, são borrifadas com uma mistura de agentes de ligação e grãos que penetram no tecido e, por fim, é feita a cura do material conforme demonstrado na Figura 25 [33].

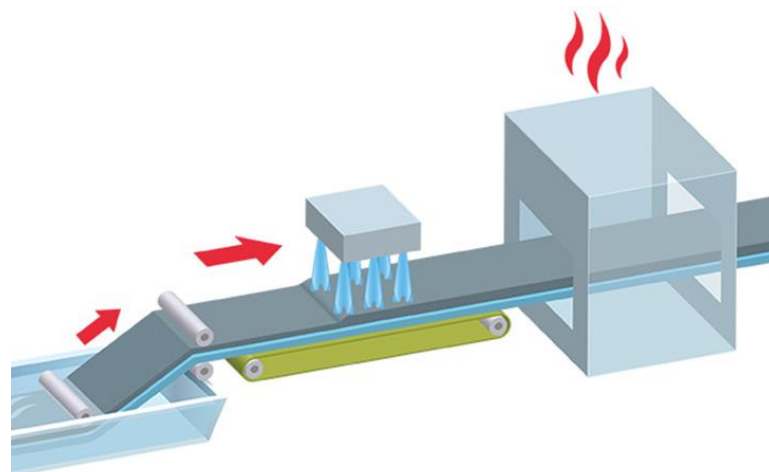


Figura 25 - Processo de produção de abrasivos de condicionamento de superfície [33]

2.1.5 Formas do semi-produto

Os produtos abrasivos podem ser convertidos em vários tipos de produtos, e em várias formas, dentro de cada família.

Os materiais abrasivos são produzidos em grandes rolos (jumbos), que podem ser utilizados nessa forma, ou então transformados em rolos, bandas largas e estreitas, discos, folhas e especialidades. Existem também placas de abrasivos *non woven* que também são convertidas em discos.

Existem dois tipos de bandas diferentes, a banda estreita (com largura máxima de 305 mm) e a banda larga (largura máxima é a largura do jumbo), ambas apresentam uma união, denominada por junta.

Em relação aos discos, podem ser cortados em jumbos de lixa convencional ou *non woven* e também em placas de *non woven*.

As folhas podem ser convertidas em diferentes formas, retangulares e triangulares, sem furos ou com diversos furos.

A Figura 26 apresenta os tipos de semi-produtos que são convertidos (cortados em várias formas) de um jumbo de abrasivo, ou de uma placa de *non woven*.

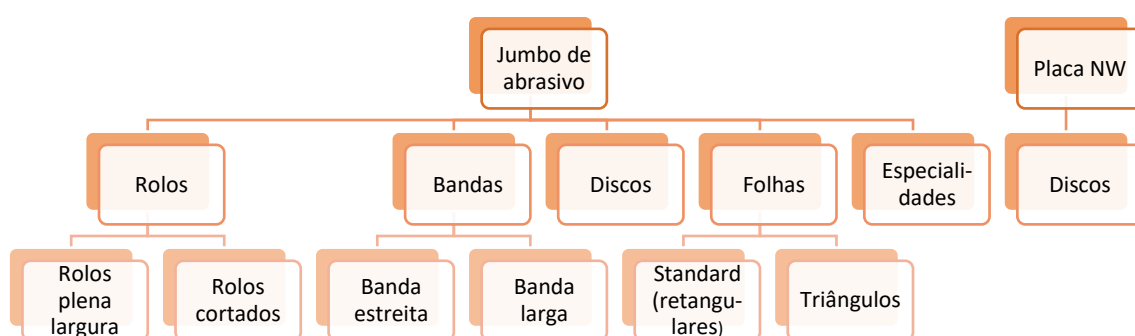


Figura 26 - Representação das diferentes formas de semi-produto

2.2 O corte de produtos abrasivos

2.2.1 Processos de corte

Na indústria de conversão de abrasivos, a matéria-prima passa, por vezes, por diversos processos de corte, até à transformação no produto final. Os abrasivos revestidos (lixa), assim como os abrasivos não tecidos (com a exceção das placas de *non woven*), são adquiridos em rolos de grandes dimensões (jumbos), que são posteriormente cortados em várias formas de produtos.

O corte de discos é realizado numa prensa hidráulica (Figura 27), que através da aplicação de pressão sobre um cortante metálico, com o diâmetro pretendido, é realizado o corte. Contudo, ocorre aqui o problema na otimização, uma vez que é cortado um círculo numa superfície retangular.



Figura 27 - Prensa Hidráulica

Já o corte de bandas divide-se em duas fases, uma vez que os jumbos de matéria-prima são inicialmente cortados em rolos de dimensões inferiores, para que depois as bandas sejam cortadas nas dimensões requeridas.

As folhas, de uma forma geral, são cortadas a partir de um jumbo, exceto em alguns casos, com formas complexas, em que se torna necessário dividir um jumbo em rolos mais pequenos e, de seguida, realizar o corte das folhas com o auxílio de um cortante metálico.

O corte dos rolos é realizado através da utilização de lâminas metálicas, contudo um dos problemas inerentes a este processo de corte, trata-se do desgaste muito rápido destes cortantes, uma vez que cortam abrasivo.

2.2.2 *Taxas de aproveitamento*

A transformação de um material implica sempre uma determinada percentagem de desperdício.

O desperdício na conversão de materiais possui diversas causas, desde o condicionamento da largura do jumbo, à presença de defeitos, ou ainda devido a erros de produção.

O ponto crítico de desperdício ocorre quando se convertem discos numa superfície quadrada ou retangular, onde as taxas de aproveitamento se localizam entre os 52 e os 69%, mediante o diâmetro cortado. Ou seja, existe uma percentagem bastante grande de material que é desperdiçado.

A Figura 28 representa uma placa de 558 mm por 533 mm, de onde foram cortados discos de 123 mm, onde é possível verificar que existe uma perda bastante significativa de material. No próximo capítulo será feito um estudo de forma a melhorar a conjugação de diferentes diâmetros, por forma a melhorar a eficiência do corte deste tipo de produtos.

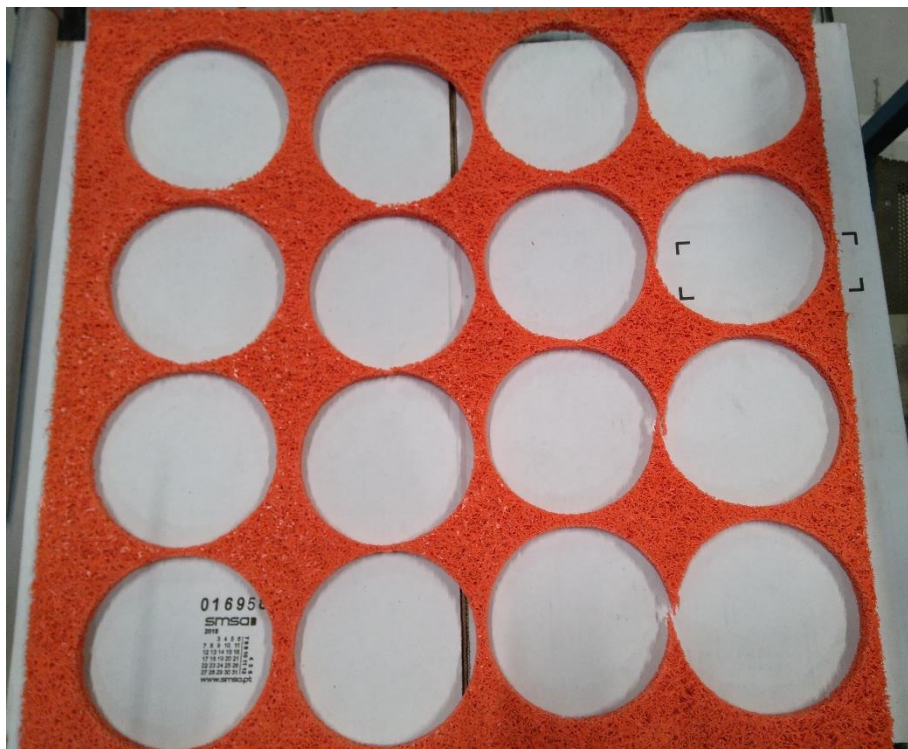


Figura 28 - Placa de 558 mm, de onde se cortaram discos de 123 mm

A Tabela 4 representa a eficiência quando são cortados discos de diâmetro 123 mm, numa placa retangular de 558 x 555 [mm], de onde apenas é possível retirar 16 discos. O objetivo será melhorar esta eficiência, com o corte de diâmetros diferentes nesta mesma placa, por forma a aumentar a taxa de aproveitamento da mesma.

Tabela 4 - Eficiência do corte de discos de diâmetro 123 mm numa placa de 558 x 533 [mm]

Prensa Manual				
Diâmetro	Área	Nº discos p/ placa	Área total	Eficiência
123	11 883	16	190 128	64%

2.2.3 Nesting

O problema de *nesting* (otimização de um plano de corte, de forma a minimizar o desperdício na superfície de corte) é um problema de otimização combinatória, em que um determinado conjunto de polígonos regulares ou irregulares devem ser colocados com o melhor arranjo possível, numa folha retangular, com o objetivo de diminuir o desperdício gerado e também minimizar o comprimento da folha, mantendo todos os polígonos dentro da folha sem sobreposição [34].

No corte e conversão de matéria-prima, existe sempre uma percentagem de desperdício, uma vez que se cortam formas geométricas diferentes numa superfície retangular ou quadrada. Esse desperdício divide-se em técnico e produtivo, o técnico (desperdício que é necessário obter quando se converte um determinado material através de um determinado processo), é possível melhorar com reengenharia do processo (melhoria de processo), como por exemplo um *software* de *nesting*, que permita otimizar ao máximo a superfície de corte, já o produtivo (desperdício devido a problemas de qualidade do material, ou erros cometidos pelos operadores durante o processo produtivo), deve ser o mínimo possível, podendo ser minimizado com formação aos operadores, explicando a melhor forma de executar a respetiva conversão.

Na Tabela 5, estão descritos alguns trabalhos sobre *nesting*, realizados por diferentes autores entre 2001 e 2017, onde são apresentadas várias metodologias, para a resolução de problemas de otimização.

Tabela 5 - Descrição de vários trabalhos sobre *Nesting*

Referências Bibliográficas	Ano	Descrição do trabalho
[35]	2001	Este artigo apresenta como objetivo realizar o <i>nesting</i> de múltiplas peças 2D em múltiplas folhas 2D, de forma a minimizar o desperdício de material laminado. Para isso, foi

		utilizada uma heurística onde se considera as folhas e as peças de forma sequencial, e utiliza a estratégia inferior esquerda (<i>bottom-left</i>) para organizar as peças nas folhas. Os autores concluíram que esta metodologia apresenta melhores soluções do que as propostas por outros autores.
[36]	2002	Este artigo refere uma nova heurística para o problema de <i>nesting</i> , que se baseia numa estratégia de geração de vizinhança de duas trocas. Este mecanismo permite realizar a procura do espaço existente entre peças e, posteriormente, a heurística de posicionamento converte a sequência num <i>layout</i> viável. Concluiu-se que na maior parte dos casos, o algoritmo de <i>nesting</i> de duas trocas gerou melhores soluções do que as soluções mais conhecidas.
[37]	2003	Este trabalho, apresenta uma aplicação da programação lógica de restrição (<i>Constraint Logic Programming</i> - CLP) para a resolução de problemas de <i>nesting</i> , tendo sido implementado um CLP para formas convexas e não convexas. Esta estrutura forneceu uma expressão geral, que permite adicionar restrições mediante as características do problema.
[38]	2010	Neste artigo, é abordado o problema de <i>nesting</i> no corte de couro na indústria automóvel, com formas irregulares. Esta abordagem permitiu descrever os principais elementos que caracterizam um conjunto de algoritmos construtivos para este tipo de problema, baseado no cálculo do <i>No fit polygon</i> (NFP).
[39]	2012	Neste trabalho, foi desenvolvido um algoritmo de <i>nesting</i> 3D de objetos e formas complexas. Inicialmente, o algoritmo determina a orientação preferencial da peça e, posteriormente, é utilizada uma abordagem não determinística para realizar o <i>nesting</i> real. Foi concluído que este algoritmo apresenta <i>nestings</i> válidos e que converge para uma solução aprimorada.
[40]	2013	Este trabalho, descreve uma metodologia híbrida que inclui um algoritmo genético e um procedimento <i>bottom-left</i> , com o objetivo de solucionar um problema de <i>nesting</i> bidimensional. Concluiu-se que esta metodologia foi promissora, por comparação com os resultados obtidos noutras abordagens.
[34]	2013	Neste trabalho, é proposta uma metodologia híbrida que inclui duas técnicas de otimização, a <i>cuckoo search</i> e a <i>guided local search</i> , com o objetivo de minimizar o comprimento de

		uma folha, mantendo todos os polígonos existentes, sem sobreposição, concluindo-se que esta abordagem permite obter melhores resultados do que o estado da arte anterior.
[41]	2013	Este trabalho descreve uma metodologia que utiliza a técnica de Algoritmo Genético para o <i>nesting</i> 2D, de peças para uma máquina de estereolitografia (tecnologia de impressão 3D). Conclui-se que esta proposta leva a arranjos de <i>layout</i> satisfatórios, de forma eficiente.
[42]	2014	Neste artigo o autor procurou solucionar problemas de <i>nesting</i> , em que a superfície de corte pode conter defeitos. Esta metodologia propõe três heurísticas de posicionamento diferentes, que geram conjuntos de padrões de corte, que são incluídos num algoritmo de procura guiada, de forma a minimizar o desperdício total.
[43]	2014	Este trabalho, tem como objetivo maximizar o número de círculos, de diferentes diâmetros, colocados num recipiente retangular de tamanho fixo. Formulou-se um novo problema de otimização linear, com base na utilização de uma grelha regular idêntica ao recipiente e considerando os nós da grelha como potenciais centros dos círculos, o que permitiu a eficiência do projeto.
[44]	2014	Este artigo analisa diferentes métodos de representação de um polígono através de inscrição circular num determinado <i>layout</i> , de forma a resolver o problema de <i>nesting</i> em embalagens retangulares. Concluiu-se que os diferentes tipos de cobertura circular e as múltiplas resoluções apresentam um impacto significativo na qualidade e viabilidade do <i>layout</i> .
[45]	2014	Este artigo apresenta uma abordagem que combina um algoritmo genético, uma ferramenta de otimização para sequenciamento de peças e uma nova heurística <i>Bottom-Left-Fill-Left</i> (BLFL) para <i>nesting</i> 2D, considerando uma sequência de peças predeterminada. Conclui-se que esta abordagem é mais rápida do que outras abordagens conhecidas, devido à função de avaliação computacionalmente leve do algoritmo genético, permitindo também ao utilizador equilibrar entre velocidade e precisão da otimização.
[46]	2015	Neste artigo é apresentada uma abordagem que ajuda a produção de <i>layouts</i> de <i>nesting</i> altamente compactados com peças irregulares usando rotações livres. Esta metodologia consiste na seleção e compactação de peças grandes numa primeira fase, seguida de uma segunda fase, onde as peças pequenas restantes são colocadas entre as peças grandes, compactando todas elas. Conclui-se que esta abordagem

		fornece bons resultados de compactação, e ao mesmo tempo melhora o custo computacional em alguns casos.
[47]	2015	Neste trabalho é descrita uma nova estratégia de agrupamento bidimensional adequada para indústrias de chapas metálicas que utilizam corte a laser. Esta metodologia é desenvolvida pela combinação de algoritmos heurísticos e genéticos, de forma a gerar um padrão de <i>nesting</i> efetivo, numa folha retangular, de forma a minimizar o desperdício de material e também a distância percorrida pela ferramenta de corte. Esta abordagem permite obter melhores resultados, por comparação com os resultados obtidos na literatura até então.
[48]	2017	Neste trabalho, foi realizado um estudo com o objetivo de embalar produtos sem sobreposição numa superfície bidimensional, de forma a minimizar uma ou as duas dimensões desta superfície. Para isso, foram propostas duas heurísticas baseadas em movimentos do canto inferior esquerdo (<i>bottom-left moves</i>) e o conceito de <i>no-fit raster</i> , tendo-se concluído que estas metodologias foram capazes de calcular melhores resultados para 74,14% das instâncias.

2.3 Abrasivos: Questões ambientais

2.3.1 Perigosidade dos abrasivos

Os abrasivos são compostos por substâncias químicas, nomeadamente as resinas sintéticas e também outros constituintes dos grãos abrasivos, que são prejudiciais para o meio ambiente, quando não são devidamente tratadas.

Para isso, a Federação Europeia de Produtores de Abrasivos – FEPA, da qual a Saint-Gobain é membro, promove a consciência ambiental entre os seus membros, fornecendo orientação aos fabricantes de abrasivos sobre as legislações ambientais europeias e o seu impacto nas operações, de forma a reduzir o impacto desta indústria no meio ambiente e continuar a garantir a segurança dos trabalhadores [49].

2.3.2 Destino dos retalhos de produtos abrasivos

Todos os produtos abrasivos sobrantes da conversão de matéria-prima, isto é, todo o “esqueleto” após o corte de discos, folhas, rolos, bandas entre outros, é colocado num contentor adequado e segue tudo para aterro.

Até ao momento, ainda não foi possível encontrar nenhuma alternativa ao aterro destes recursos gerados na conversão.

2.3.3 Custo de depósito em aterro

A Lista Europeia de Resíduos - LER 160304 - Resíduos inorgânicos não abrangidos em 16 03 03, é a classificação atribuída para os resíduos abrasivos [50].

Em 2019, a Saint-Gobain Abrasivos, enviou mais de 166 toneladas de material abrasivo para aterro, o que implicou um custo anual de 16 380€.

Tabela 6 - Quantidade de material abrasivo enviado para aterro em 2019

LER	Descrição	Quantidade (kg)	Custo (€)
160304	Abrasivos	166 440	16 380

DESENVOLVIMENTO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA SAINT-GOBAIN ABRASIVOS

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE CORTE

3.3 PROBLEMA E MOTIVAÇÕES DO TRABALHO PRÁTICO

3.4 INVENTARIAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

3.5 ESTUDO DA PROCURA DE DISCOS ABRASIVOS

3.6 PROCURA E SELEÇÃO DE *SOFTWARE* DE *NESTING*

3.7 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS PARA COMBINAÇÃO DE PRODUTOS

3.8 CRIAÇÃO DE APLICAÇÃO PARA COMBINAÇÃO DE PRODUTOS
EM FUNÇÃO DA PROCURA

3.9 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da Saint-Gobain Abrasivos

O Grupo *Saint-Gobain* foi criado em 1665, tendo uma tradição internacional há mais de um século.

A *Compagnie Saint-Gobain* possui, nos dias de hoje, uma presença industrial mundial, com várias centenas de sociedades consolidadas, nomeadamente em França, Alemanha, Itália, Espanha, Brasil, México, Portugal, Marrocos, EUA, China, entre outras.

O carácter multinacional do Grupo, deve-se à diversidade de atividades que possui, cujos produtos abrangem um amplo leque de mercados.

Relativamente à Qualidade dos produtos e serviços, praticamente todas as fábricas e sociedades do Grupo estão certificadas de acordo com as Normas ISO 9000.

As atividades do Grupo *Saint-Gobain* dividem-se em três grandes áreas de atividade:

- Vidro – Isolamento e Fibras de Reforço, Vidro e Embalagens
- Materiais de Alto Desempenho – Materiais de Alto Desempenho e Abrasivos
- Habitação – Canalização e Materiais de Construção

Em Portugal, a área dos abrasivos é representada, unicamente, pela Saint-Gobain Abrasivos, Lda. Posto isto, a sua atividade abrange Portugal de Norte a Sul.

A empresa está inserida na Delegação Mediterrânea que é composta por Portugal, Espanha, Itália, Grécia, Marrocos, Argélia, Tunísia e Líbia.

A *Saint-Gobain Abrasivos, Lda* é uma empresa certificada pela SGS na Norma NP EN ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 em vigor.

A Figura 29, representa a cronologia da *Saint-Gobain Abrasivos* em Portugal, onde é possível verificar que em 1978 foi criada uma empresa familiar que apenas convertia abrasivos revestidos, convencionalmente denominado por lixa, e que posteriormente (2000) a mesma foi adquirida pelo Grupo *Saint-Gobain*, passando em 2007 a converter abrasivos *non woven*, para além dos abrasivos revestidos.

Em 2014 as instalações da Maia tornaram-se o centro oficial de conversão de *non woven* da Europa. Em 2015 a entidade tornou-se o centro Europeu de Excelência em SPE (especialidades), isto é, artigos em lixa ou *non woven* (NW), normalmente de pequenas dimensões, e também iniciou a produção de *Liners*, copos em plástico para pintura produzidos numa Termo formadora.

E por fim, em 2021 está em construção uma nova unidade de produção de produtos abrasivos na Maia.

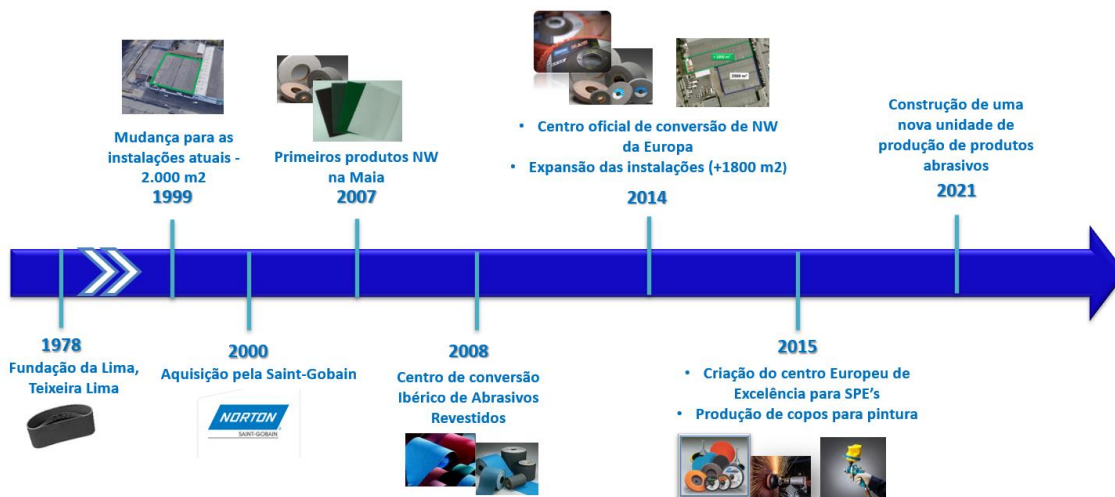


Figura 29 – Cronologia da Saint-Gobain Abrasivos em Portugal

3.2 Caracterização dos processos de corte

3.2.1 Corte em prensa

Os materiais que possuem um custeio industrial mais elevado são os discos convertidos através do corte de placas de *non woven*. Por este motivo, o foco desta dissertação concentra-se na otimização do corte deste tipo de produtos.

Este processo de conversão pode ser realizado de duas formas: de forma manual, numa prensa, ou de forma automatizada numa máquina de corte por jato de água.

O processo de corte de discos em placas processa-se de forma manual, numa prensa. Esta linha é constituída pela própria máquina, que contém uma base onde são posicionadas as placas, e ainda por um cortante correspondente ao diâmetro de corte pretendido.

Nesta linha, o procedimento de corte consiste em colocar a placa a converter sobre a base, situada por baixo da prensa, conforme representado na Figura 30. De seguida, é necessário seleccionar o cortante com o diâmetro de corte pretendido. Posteriormente, posiciona-se o cortante sobre a placa, conforme demonstrado na Figura 31, deslocando-se a prensa para que esta fique em linha vertical com o cortante e, por fim, exerce-se o impacto responsável pelo corte do disco na placa.

Sempre que é cortado um disco, é necessário retirar o cortante do local onde foi cortado o último e movê-lo para outro ponto da placa, uma vez que é o operador que movimenta o cortante sobre a placa, ou seja, o facto de ser um processo manual, torna inevitável o desperdício gerado.

Esta prensa permite cortar um disco por cada impacto, sempre com o mesmo diâmetro, uma vez que quando é necessário alterar o diâmetro a cortar, é forçoso realizar a afinação da prensa para o novo cortante.



Figura 30 - Prensa manual



Figura 31 - Exemplo de placa e cortante

A matéria-prima convertida na prensa manual são placas de abrasivo (*non woven*), denominadas por *slabs*. Existem três tipos de *slabs*, duas possuem formato quadrangular, uma com 431 milímetros de lado e outra com 508 milímetros, e possuem também um furo central de 74 milímetros de diâmetro, a terceira é retangular e apresenta 558 milímetros de comprimento e 533 milímetros de largura, conforme representado na Tabela 7.

Existem oito diâmetros passíveis de serem cortados nas diferentes placas (54, 75, 100, 113, 123, 150, 180 e 200 mm), o que por si só implica que em alguns casos exista uma percentagem de desperdício gerado maior do que noutros.

Tabela 7 - Dimensões dos três tipos de placas

Dimensões da placa (comprimento x largura, mm)	Imagem
558 x 533 [mm]	

Figura 32 - Exemplo de uma placa de 558 x 533 [mm]

508 x 508 [mm]



Figura 33 - Exemplo de placa de 508 mm

431 x 431 [mm]

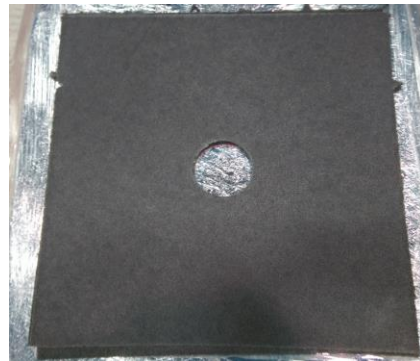


Figura 34 - Exemplo de uma placa de 431 mm

A Tabela 8, a Tabela 9 e a Tabela 10 representam o número máximo de discos possíveis de cortar, de cada diâmetro, em cada uma das diferentes placas, utilizando a prensa manual e ainda a respetiva eficiência.

De forma a conseguir obter o maior aproveitamento possível das placas, são cortados discos de menores dimensões nas placas onde se cortam os diâmetros de 150 e 200 mm. Os diâmetros passíveis de serem aproveitados nestes casos, são os diâmetros de 54 e 76 mm. Contudo, o diâmetro de 54 mm é obtido através do corte do centro dos discos de diâmetro 113 e 123 mm (diâmetros com elevado volume produtivo), pelo que não se torna rentável o corte deste diâmetro, mesmo implicando uma menor eficiência de corte, uma vez que não existe mercado para além das quantidades obtidas com os centros. Por isso, nas placas onde são cortados os diâmetros de 150 e 200 mm, ainda é possível cortar alguns discos de 76 mm de diâmetro, pelo que são guardadas e utilizadas quando necessário.

O “esqueleto” das placas onde são cortados os outros diâmetros, segue diretamente para o contentor de resíduos, por não ser possível cortar mais nenhum disco nas mesmas.

Tabela 8 - Quantidade de discos cortados na placa de 558 x 533 [mm] e respetiva eficiência

Prensa Manual			
Placa 558 x 533 [mm]			
Diâmetro (mm)	Nº Discos	Discos 76 mm	Eficiência (%)
54	81	-	62%
76	42	-	64%
100	25	-	66%
113	20	-	67%
123	16	-	64%
150	10	6	69%
180	8	-	68%
200	5	8	65%

Tabela 9 - Quantidade de discos cortados na placa de 508 x 508 [mm] e respetiva eficiência

Prensa Manual			
Placa 508 x 508 [mm]			
Diâmetro (mm)	Nº Discos	Discos 76 mm	Eficiência (%)
54	64	-	58%
76	34	-	61%
100	18	-	56%
113	16	-	63%
123	12	-	56%
150	8	6	67%
200	4	8	64%

Tabela 10 - Quantidade de discos cortados na placa de 431 x 431 [mm] e respetiva eficiência

Prensa Manual			
Placa 431 x 431 [mm]			
Diâmetro (mm)	Nº Discos	Discos 76 mm	Eficiência (%)
54	48	-	61%
76	24	-	60%
100	12	-	52%
113	10	-	55%
123	8	-	52%
150	6	2	64%
200	4	-	69%

3.2.2 Corte por jato de água

O processo de corte de discos, em placas de *non woven*, também pode ser cortado através de uma máquina de corte por jato de água.

O processo de corte por jato de água é realizado através do impacto de um jato de água sobre a superfície de trabalho. Este jato pode conter apenas água, que é a forma utilizada na empresa, ou pode ser uma mistura de água com partículas abrasivas, por norma utilizado para o corte de superfícies metálicas. A água circula a alta pressão na tubagem da máquina, e é forçada a sair por um pequeno orifício a alta velocidade, e assim dá-se o processo de corte [51].

Por ser um corte de forma automatizada, permite ter maior precisão sob os produtos cortados, além de ser possível utilizar margens menores entre o corte das peças, que não são possíveis de utilizar quando o corte é feito de forma manual.



Figura 35 - Máquina de corte por jato de água OMAX [52]

Para cortar discos na *waterjet*, é necessário criar um ficheiro CAD, feito manualmente, com um determinado padrão de corte, que por norma apresenta a mesma quantidade de discos conseguidos na prensa manual. Existem apenas algumas exceções, onde é possível cortar mais um disco. De seguida o ficheiro é convertido para o *software* da máquina, a máquina é abastecida com as placas e é iniciado o corte.

Esta máquina corta exatamente o mesmo tipo de placas e os mesmos diâmetros cortados na prensa manual, contudo existem algumas diferenças entre o corte em cada uma das máquinas, que estão enumerados na Tabela 11.

Tabela 11 - Diferenças entre o corte de discos por jato de água e em prensa manual

Corte por jato de água	Corte em prensa
- Possibilidade de cortar vários diâmetros por placa;	- Corte de apenas um diâmetro por placa;
- Processo automatizado, permite maior aproveitamento da placa;	- Processo manual, mais desperdício;
- Menor probabilidade de erros, uma vez que a máquina apresenta mais precisão;	- Sendo um processo manual, existe mais possibilidades de erro e de discos defeituosos;
- Necessidade de uma secagem rápida dos discos antes do seu embalamento;	- Os discos podem ser embalados logo após o corte;
- Grande consumo de água por cada ciclo que não pode ser reaproveitada por conter partículas de abrasivo.	- Um cortante permite cortar cerca de 1800 discos.

Contudo, embora a máquina permita ter maior precisão e margens de corte inferiores, a realidade é que as taxas de aproveitamento das placas são bastante idênticas às conseguidas no corte em prensa manual. Para certos diâmetros, são cortados exatamente o mesmo número de discos por placa nas duas máquinas.

Posto isto, o trabalho prático incidiu exatamente neste ponto, de forma a aproveitar e a obter o melhor benefício da máquina de corte por jato de água, foram criadas várias combinações de diâmetros, para cada uma das três placas, e utilizado um *software* de *nesting* de forma a obter padrões de corte otimizados e com taxas de aproveitamento das placas superiores aos existentes.

3.3 Problema e Motivações do trabalho prático

Em qualquer indústria, o objetivo principal é gerar lucro e, conseqüentemente, minimizar os custos gerados. Por isso, um dos principais pontos de melhoria é sempre a minimização do desperdício.

Para que seja possível minimizar o desperdício, é necessário perceber onde existe e quantificá-lo, para que numa etapa seguinte seja possível otimizar o processo, e assim diminuir o mesmo.

As motivações que levaram à realização deste trabalho prático, prendiam-se com o facto de a empresa querer diferenciar e quantificar, a percentagem de desperdício técnico e

produtivo gerado mensalmente por família de produto, uma vez que anteriormente era apenas conhecido o desperdício total, não sendo por isso feita esta divisão.

Para obter esta diferenciação, foi proposto pela empresa de acolhimento um trabalho prático que consistiu na criação de um relatório de desperdício mensal dividido por família de produto, e numa fase seguinte a otimização do processo de corte da família com maior desperdício gerado.

Na Figura 36 estão descritas as etapas seguidas para a execução do trabalho prático, estando divididas em 6 pontos.

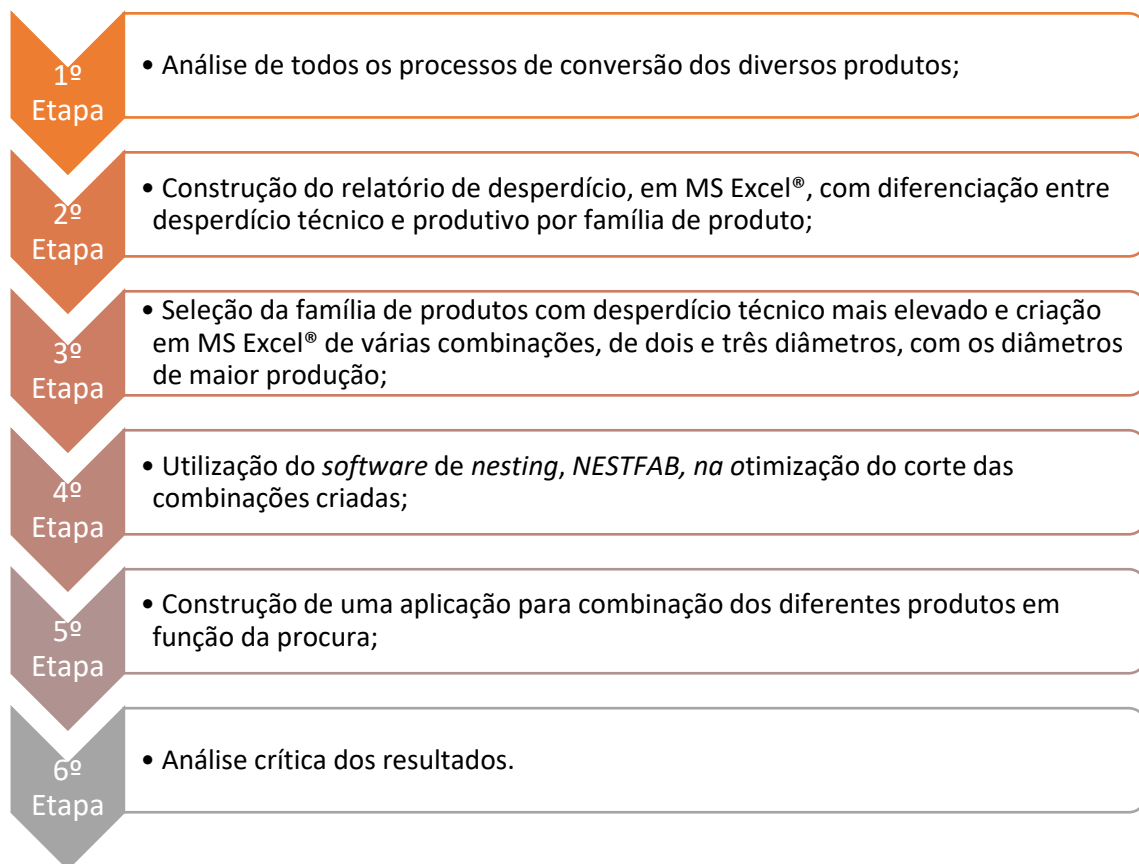


Figura 36 - Etapas do trabalho prático

3.4 Inventariação de desperdícios

O desperdício é uma consequência do processo de conversão de matéria-prima, contudo o objetivo é torná-lo o mínimo possível. O desperdício gera custos e recursos acrescidos para qualquer indústria, que podem ser otimizados, diferenciando o tipo de desperdício resultante.

O desperdício ocorre em todas as áreas, contudo é necessário perceber e diferenciar o tipo de desperdício existente em cada processo, e verificar qual a melhor forma de o atenuar.

Num processo de corte de matéria-prima, é gerada uma percentagem considerável de desperdício, sendo que deste, uma parte é desperdício técnico e o restante é produtivo, por isso, é necessário quantificar a percentagem correspondente a cada um deles.

O desperdício técnico é aquele que é inerente ao processo e difícil de diminuir. É, no fundo, o “esqueleto” de material gerado após o corte de um determinado produto, utilizando o melhor arranjo de corte possível.

Já o desperdício produtivo deve tender para zero, isto é, ser o mínimo possível, uma vez que ocorre devido a circunstâncias anómalas e, por vezes, passíveis de melhoria, como erros produtivos, material com problemas de qualidade (defeitos), ou ainda o corte sem a utilização da melhor otimização possível.

Para que fosse possível distinguir e contabilizar os dois tipos de desperdício inerentes ao processo de conversão de matéria-prima, e depois de realizada uma primeira análise dos vários processos de corte, realizou-se um ficheiro de raiz, em MS Excel®, onde é possível perceber qual a percentagem de desperdício técnico e produtivo por família de produto.

Este ficheiro está dividido em catorze folhas, a folha inicial apresenta os resultados anuais cumulativos, a segunda demonstra os resultados mensais, de seguida a folha tabela consumos apresenta uma tabela dinâmica, com o somatório dos consumos representados na folha seguinte denominada por consumo, onde são inseridas, mensalmente, as quantidades de matéria-prima consumidas.

Após estas quatro folhas iniciais, existem nove folhas, uma para cada família de produto, onde é calculado o desperdício técnico e produtivo mensal para cada uma delas. No final existe uma folha denominada por tabelas, onde estão inseridos os valores das quantidades máximas de discos cortados por placa na prensa manual.

Para cada uma das nove famílias, todos os meses se inserem os artigos e respetivas quantidades produzidas, e se calcula o desperdício técnico e produzido gerado. Este ficheiro apresenta os valores de desperdício de um ano, ou seja, sempre que se acrescenta um mês, é eliminado esse mesmo mês correspondente ao ano anterior, por exemplo, para acrescentar o maio de 2021, foi apagado o mês de maio de 2020.

As nove famílias que constituem o ficheiro, são as seguintes:

- A CBXSHEET, na qual se inserem as folhas de *non woven*, convertidas a partir de rolos de grandes dimensões (jumbos);
- A CCTSHEET, que representa as folhas de lixa, que são convertidas também a partir de jumbos;
- A família CBXDISC (DIR) e UNW onde se incluem os discos de *non woven*, cuja matéria-prima são placas de NW;
- A CBXDISC, que engloba também discos de *non woven*, mas cortados através de rolos de grandes dimensões;
- A CCTDISC, que engloba os discos de lixa, também cortados a partir de jumbos;
- A família CBXBELT e CBXROLL, que é constituída pelas bandas e rolos de *non woven*, convertidos a partir de jumbos;
- A família CTBELT e CTROLL, onde se incluem as bandas e rolos de lixa, convertidos exatamente como a família anterior;
- A família CCTSPECIALT e CBXSPECIALT, constituída por peças de pequenas dimensões, denominadas por especialidades, que apenas são embaladas na empresa;
- A família CBXCONVWHL, onde se inserem as rodas de polimento e retificação de *non woven (convolutes)*, que podem apresentar diâmetros e espessuras variáveis, e são convertidas a partir de um cilindro com 939 mm de altura, denominado por *log*.

Para todas as famílias, após a inserção dos artigos, respetivas quantidades produzidas num determinado mês (parte com fundo azul na Figura 37), assim como o consumo (m²) inserido também na tabela consumos, é calculado o *output* (m²), ou seja, a área de material final que é entregue ao cliente, conforme demonstrado pelas equações (1), (2) e (3), dependendo da família pertencente, o consumo (m²) que é procurado na folha tabela consumos, a largura do jumbo/placa (mm), que foi utilizado para produzir determinado artigo (procurado igualmente na tabela consumos, pela ordem de produção), e ainda o número de folhas/bandas/rolos passíveis de cortar à largura do jumbo utilizado, conforme demonstrado na equação (4), relativamente ao número de discos por placa este é o valor máximo de discos cortados na prensa manual (procurado também na folha Tabelas). A Figura 37 demonstra um exemplo destes primeiros cálculos para a família CBXSHEET. De salientar, que todas as dimensões de matéria-prima e produto final são inseridas em milímetros, pelo que são divididos por 1000 (nas várias equações) para converter para metros.

Descrição	Actual finish	Delivered Quantity	Delivered Qty in M2	Revenue	Output (m2)	Consumo (m2)	Largura jumbo (mm)	Nº folhas à largura
SHS HP 150x230 F4660 FLX SIUF GY FC	06/05/2021	420	14,7	109,84 €	14,49	15,00	1500	10
SHS HP 6"x9" F2504 FLX AOVF MA FLXHP	06/05/2021	480	16,8	135,69 €	16,72	16,05	1420	9
SHO SOS 115x280 F2504 NOR AOVF MA	06/05/2021	1020	32,64	269,66 €	32,84	38,34	1420	12
SHO SOS 230x280 F2504 NOR AOVF MA NWHP	06/05/2021	1000	64	568,62 €	64,40	85,20	1420	6

Figura 37 – Cálculo dos valores iniciais para o desperdício da família CBXSHEET

$$\text{Output (folhas, bandas, rolos)} (m^2) = \frac{\text{comprimento}}{1000} \times \frac{\text{largura}}{1000} \times \text{quantidade entregue} \times \text{múltiplo} \quad (1)$$

$$\text{Output (discos)} (m^2) = \left(\frac{\text{diâmetro}}{2000}\right)^2 \times \pi \times \text{quantidade entregue} \times \text{múltiplo} \quad (2)$$

$$\text{Output (convolutes)}(m) = \frac{\text{espessura}}{1000} \times \text{quantidade entregue} \times \text{múltiplo} \quad (3)$$

$$N^{\circ} (\text{folhas, bandas, rolos}) \text{ à largura} = \frac{\text{Largura jumbo}}{\text{Largura (folhas, bandas, rolos)}} \quad (4)$$

A Figura 38 representa os cálculos efetuados para calcular o desperdício em %, onde o consumo técnico (m^2) é calculado através da divisão entre a quantidade produzida e o número de folhas/discos/bandas/rolos passíveis de cortar à largura e, posteriormente, a multiplicação deste valor obtido, pela largura do jumbo/placa e ainda pelo comprimento da folha/banda/rolo ou comprimento da placa, conforme descrito pelas equações (5) e (6), apenas a exceção das *convolutes* em que o consumo técnico (m^2) é calculado apenas pela multiplicação da quantidade entregue, pela largura da *convolute* mais os 4 mm da lâmina, dividindo por 1000, conforme mostra a equação (7) esta exceção será explicada posteriormente.

O desperdício técnico (m^2) é calculado pela diferença entre o consumo técnico e o *output* como mostrado na equação (8), já o desperdício produtivo (m^2) é a diferença entre o consumo e o consumo técnico como se verifica na equação (9) e, por fim, o desperdício total é o somatório destes dois (equação (10)). Os valores em percentagem são calculados dividindo cada um destes valores obtidos pelo consumo total, como se pode verificar nas equações (11), (12) e (13).

O valor negativo no desperdício produtivo significa que para esta ordem foi consumida uma quantidade inferior ao consumo técnico, o que significa que foram utilizadas sobras de um outro jumbo, já consumido anteriormente, para produzir esta ordem de produção, uma vez que a partir do momento em que um jumbo é aberto, é consumido na totalidade, mesmo não sendo totalmente gasto, e em caso de sobras, são guardadas e consumidas posteriormente, e os consumos também vão sendo compensados, isto é, por vezes existem ordens que não consomem matéria-prima, pois são produzidas com sobras.

	28826,81	1453,43	2821,70	4275,12	5%	9%	14%
Consumo técnico m ²	Desperdiço técnico m ²	Desperdiço produtivo m ²	Desperdiço total m ²	Desperdiço técnico %	Desperdiço produtivo %	Desperdiço total %	
14,49	0,00	0,51	0,51	0%	3%	3%	
17,53	0,81	-1,48	-0,68	5%	-9%	-4%	
33,80	0,95	4,54	5,50	2%	12%	14%	
66,40	2,00	18,80	20,80	2%	22%	24%	

Figura 38 - Cálculo do desperdiço em % para a família CBXSHEET

$$\begin{aligned}
 & \text{Consumo técnico}_{(folhas,bandas,rolos)} (m^2) \\
 &= \frac{\text{quantidade entregue} \times \text{múltiplo}}{N^{\circ}_{(folhas,rolos,bandas)} \times \text{largura}} \\
 & \times \text{comprimento}_{(folha,banda,rolo)} \times \text{largura}_{jumbo} \times 10^{-6}
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Consumo técnico}_{discos} (m^2) \\
 &= \frac{\text{quantidade entregue} \times \text{múltiplo}}{N^{\circ} \text{ discos por placa}} \times \text{largura}_{placa} \\
 & \times \text{comprimento}_{placa} \times 10^{-6}
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Consumo técnico}_{convolutes} (m) \\
 &= \left(\frac{\text{quantidade entregue} \times (\text{largura}_{convolute} + 4)}{1000} \right)
 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Desperdiço técnico} (m^2) = \text{Consumo técnico} - \text{Output} \quad (8)$$

$$\text{Desperdiço produtivo} (m^2) = \text{Consumo} - \text{Consumo técnico} \quad (9)$$

$$\text{Desperdiço total} (m^2) = \text{Desperdiço técnico} + \text{Desperdiço produtivo} \quad (10)$$

$$\text{Desperdiço técnico} (\%) = \frac{\text{Desperdiço técnico}}{\text{Consumo}} \quad (11)$$

$$\text{Desperdiço produtivo} (\%) = \frac{\text{Desperdiço produtivo}}{\text{Consumo}} \quad (12)$$

$$\text{Desperdício total (\%)} = \frac{\text{Desperdício total}}{\text{Consumo}} \quad (13)$$

A Figura 39 mostra os valores do desperdício em euros, onde o desperdício total em € é calculado pela divisão entre o consumo em € (procurado na tabela consumos, pela ordem de produção) e o consumo em m² e a multiplicação pelo desperdício total em m², como demonstrado pela equação (14), já o desperdício técnico e produtivo em € são igualmente a divisão entre os consumos e posteriormente a multiplicação pelo respetivo desperdício em m² como se verifica nas equações (15) e (16), após isto é calculado o desperdício total sobre o consumo, representado pela equação (17) e ,por fim, é apenas dividido cada um dos desperdícios pelo ganho (*revenue*), conforme se demonstra nas equações (18), (19) e (20).

303 306,29 €	34 359,10 €	9 997,68 €	24 361,41 €	11%	2%	6%	9%
Consumo €	Desperdício €	Desperdício técnico €	Desperdício produtivo €	Desperdício/Consumo	Desperdício Técnico/Revenue	Desperdício Produtivo/Revenue	Desperdício/Revenue
80,68 €	2,74 €	0,00 €	2,74 €	3%	0%	2%	2%
100,88 €	4,25 €	5,07 €	9,32 €	-4%	4%	-7%	-3%
241,03 €	34,55 €	5,98 €	28,57 €	14%	2%	11%	13%
535,63 €	130,76 €	12,57 €	118,20 €	24%	2%	21%	23%

Figura 39 - Cálculo do desperdício em € para a família CBXSHEET

$$\text{Desperdício total (€)} = \frac{\text{Consumo (€)} \times \text{Desperdício total (m}^2\text{)}}{\text{Consumo (m}^2\text{)}} \quad (14)$$

$$\text{Desperdício técnico (€)} = \frac{\text{Consumo (€)} \times \text{Desperdício técnico (m}^2\text{)}}{\text{Consumo (m}^2\text{)}} \quad (15)$$

$$\text{Desperdício produtivo (€)} = \frac{\text{Consumo (€)} \times \text{Desperdício produtivo (m}^2\text{)}}{\text{Consumo (m}^2\text{)}} \quad (16)$$

$$\text{Desperdício/Consumo} = \frac{\text{Desperdício total(€)}}{\text{Consumo (€)}} \quad (17)$$

$$\text{Desperdício Técnico/Revenue(ganho)} = \frac{\text{Desperdício técnico (€)}}{\text{Consumo (€)}} \quad (18)$$

$$\text{Desperdício Produtivo/Revenue(ganho)} = \frac{\text{Desperdício produtivo (€)}}{\text{Consumo (€)}} \quad (19)$$

$$\text{Desperdício Total/Revenue(ganho)} = \frac{\text{Desperdício total (€)}}{\text{Consumo (€)}} \quad (20)$$

A Figura 40, a Figura 41 e a Figura 42 representam os cálculos efetuados para a família CBXDISC (DIR) e UNW, onde são utilizadas as placas, sendo a única exceção relativamente às outras famílias o facto de procurar o nº de discos por placa na folha tabelas, sendo os cálculos os mesmos que para a família anterior.

Descrição	Actual finish	Delivered Quantity	Delivered Qty in M2	Revenue	Output (m2)	Consumo m2	Largura placa	Nº discos p/ placa
DIR DD 125x22 R4101 FLX SIXC T27B BK RS+	07/05/2021	290	3,48	743,04 €	3,56	5,65	558	16
DIR DD 115x22.3 R4101 NOR SIXC T27B BK +	17/05/2021	655	6,55	1 508,56 €	6,80	11,00	558	20
DIR DD 125x22 R4101 FLX SIXC T27B BK RS+	07/05/2021	300	3,6	768,66 €	3,68	6,25	558	16
DIR DD 125x22 R4101 NOR SIXC T27B BK +	04/05/2021	1000	12	2 603,24 €	12,27	19,03	558	16

Figura 40 - Cálculo dos valores iniciais para o desperdício da família CBXDISC (DIR) e UNW

Consumo técnico m2	Desperdício técnico m2	Desperdício produtivo m2	Desperdício total m2	Desperdício técnico %	Desperdício produtivo %	Desperdício total %
5,65	2,09	0,00	2,09	37%	0%	37%
9,81	3,01	1,19	4,20	27%	11%	38%
5,65	1,97	0,59	2,56	32%	10%	41%
18,74	6,47	0,30	6,76	34%	2%	36%

Figura 41 – Cálculo do desperdício em % da família CBXDISC (DIR) e UNW

Consumo €	Desperdício €	Desperdício técnico €	Desperdício produtivo €	Desperdício/Consumo	Desperdício Técnico/Revenue	Desperdício Produtivo/Revenue	Desperdício/Revenue
378,75 €	140,22 €	140,22 €	- €	37%	19%	0%	19%
737,57 €	281,57 €	201,83 €	79,74 €	38%	13%	5%	19%
418,62 €	171,86 €	131,99 €	39,87 €	41%	17%	5%	22%
1 275,79 €	453,27 €	433,33 €	19,93 €	36%	17%	1%	17%

Figura 42 - Cálculo do desperdício em % da família CBXDISC (DIR) e UNW

A única exceção, relativamente aos cálculos iniciais ocorre na família CBXCONVWHL, onde é considerada a largura das rodas e não dos jumbos, conforme representado na Figura 43, e o consumo técnico é calculado pela multiplicação entre a quantidade produzida (*delivered quantity*) e o somatório da largura da roda com 4 mm, que é a espessura da lâmina utilizada para o corte destas rodas, e que provoca perda de material quando o *log* é cortado, conforme descrito na equação (7).

Descrição	Actual finish	Delivered Quantity	Revenue	Output (m)	Consumo (m)	Largura (mm)	Consumo técnico m
			385 173,07 €	668,78	807,76		765,01
CVW STD 200x50x76.2 C4408 NOR SIFI8 PH +	07/05/2021	51	1 388,24 €	2,55	3,01	50	2,75
CVW STD 8"x1"x3" C4408 NOR SIFI8 PH S1K+	07/05/2021	18	284,81 €	0,46	0,55	25,4	0,53
CVW STD 180x10x127 C4408 NOR SIFI7 PH	19/05/2021	40	310,95 €	0,40	2,99	10	0,56
CVW STD 8"x1"x3" C4408 NOR SIFI8 PH S1K+	07/05/2021	12	189,88 €	0,30	0,37	25,4	0,35

Figura 43 - Cálculo dos valores iniciais para o desperdício da família CBXCONVWHL

No final são apresentados os valores mensais de desperdício, isto é, o somatório dos desperdícios de todos os artigos produzidos em cada uma das famílias, na folha resultados mensais.

Uma das famílias mais crítica é a família CBXDISC (DIR) e UNW (discos de *non woven*), pois possui um desperdício total de cerca de um milhão e cento e cinquenta mil euros por ano, sendo que, desses cerca de um milhão e cinquenta mil euros correspondem a desperdício técnico, como se verifica na Figura 44.

Desperdício Técnico

Designação	Shape	Desperdício Técnico €
CBXSHEET	SHS, SHO	9 997,68 €
CCTSHEET	SHS, SHO	1 116,10 €
CBXDISC (DIR) e UNW	DIR, UNW	1 047 050,24 €
CBXDISC	DIB, DIS	67 964,16 €
CCTDISC	DIS, DPS, DSC	21 701,39 €
CBXBELT e CBXROLL	BFL, BNP, BNR, BSG, BWD, MTU, RLU, RTH	107 653,60 €
CCTBELT e CCTROLL	BFL, BNP, BNR, BWD, RLU, RTH	142 341,27 €
CCTSPECIALT e CBXSPECIALT	BLK, FLD, PBW, SPE	281,57 €
CBXCONVWHL	CVW	33 462,87 €
Total Geral		1 431 568,87 €

Figura 44 - Valores de desperdício técnico, em euros, entre junho de 2020 e maio de 2021

A Figura 45, representa o gráfico de Pareto do desperdício técnico entre maio de 2020 e maio de 2021, construído a partir da tabela da Figura 44, que permite verificar que a família mais crítica é a família CBXDISC (DIR) e UNW.

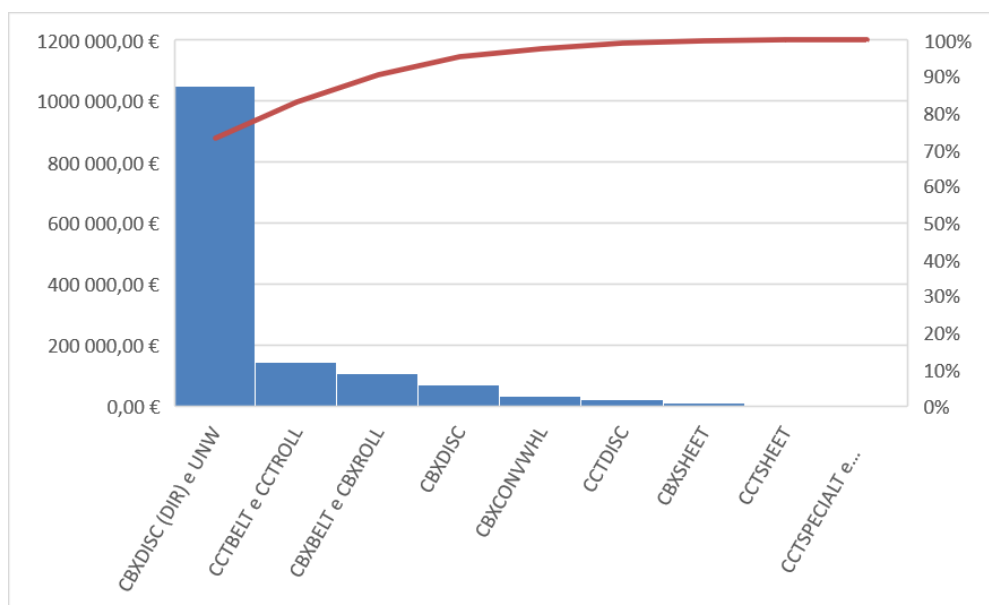


Figura 45 - Gráfico de Pareto do Desperdício Técnico entre maio/20 e maio/21

A eficiência das placas, depende do diâmetro dos discos a cortar. Contudo para os discos mais utilizados (até ao diâmetro de 150 mm), esta percentagem situa-se entre os 52 e os 67%, o que implica que uma percentagem considerável de material seja desperdiçado e vá para o “lixo”.

Visto que o desperdício técnico representa 90% do desperdício gerado na transformação destes discos, torna-se indispensável a otimização do processo de corte, isto é, realizar o melhoramento do *nesting*.

3.5 Estudo da procura de discos abrasivos

Com base no ficheiro MS Excel® criado para quantificar a percentagem de desperdício técnico e produtivo, foi possível verificar que a família que apresentava desperdício técnico mais elevado era a CBXDISC (DIR) e UNW.

Após esta constatação, foi decidido realizar a otimização desta família de produto, com o objetivo de diminuir o desperdício gerado. Esta é a família onde são cortados discos, de diferentes diâmetros, em três tipos de placas diferentes, conforme demonstrado na Tabela 7.

Com o objetivo de obter uma visão geral desta família de produto, realizou-se um levantamento das quantidades de discos produzidos, em 2019, de cada um dos diâmetros, por tipo de placa.

Na Tabela 12, estão representadas as quantidades de discos produzidos em 2019, na placa de 558 x 533 [mm], e respetiva percentagem.

Tabela 12 - Quantidade de discos produzidos em 2019 na placa 558 x 533 [mm]

Placa 558 x 533 [mm]		
Diâmetro	Quantidade discos	%
54	224225	21,1%
76	208007	19,5%
100	146265	13,7%
113	107825	10,1%
123	229010	21,5%
150	141185	13,3%
180	3735	0,4%
200	4560	0,4%
Total	1064812	100,0%

Já para a placa de 508 x 508 [mm], a distribuição da quantidade de discos por diâmetro é um pouco diferente da anterior, conforme demonstrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Quantidade de discos produzidos em 2019 na placa 508 x 508 [mm]

Placa 508 x 508 [mm]		
Diâmetro	Quantidade discos	%
54	32270	11,3%
76	123726	43,5%
100	46	0,0%
113	65782	23,1%
123	55161	19,4%
150	7390	2,6%
200	356	0,1%
Total	284731	100,0%

Por fim, na Tabela 14 estão descritas as percentagens de discos produzidos em 2019 por diâmetro.

Tabela 14 - Quantidade de discos produzidos em 2019 na placa 431 x 431 [mm]

Placa 431 x 431 [mm]		
Diâmetro	Quantidade discos	%
54	118471	19,0%
76	322688	51,6%
100	2132	0,3%
113	67016	10,7%
123	50292	8,0%
150	62444	10,0%
200	2046	0,3%
Total	625089	100,0%

De forma a conseguir otimizar o desperdício gerado por placa, foi utilizado um *software* de *nesting*, que permitiu fazer várias simulações, e assim aumentar a eficiência de corte desta família de produto.

3.6 Procura e seleção de *software* de *Nesting*

Depois de realizado o relatório de desperdício, foi possível verificar que uma das famílias com maior valor de desperdício técnico é a dos discos de *non woven*. Posto isto, decidiu-se realizar um projeto de otimização do desperdício técnico gerado no corte de discos nos três tipos de placas.

Para aumentar a eficiência do corte destes discos, é necessário minimizar o desperdício técnico gerado. Para isso, é necessário melhorar o arranjo de corte, isto é, melhorar o *nesting* através de re-engenharia do processo.

As vantagens da utilização de um *software* de *nesting* são a redução do desperdício, uma vez que é possível otimizar o corte, e assim realizar um melhor aproveitamento da placa, desperdiçando o mínimo possível. A esta vantagem também se encontra outra associada que é a redução de custos, ou seja, se é consumido menos material para produzir o mesmo artigo, existem ganhos associados. Outra vantagem são os benefícios ambientais, uma vez que é consumido menos material, e no caso dos abrasivos que não são recicláveis, a quantidade enviada para aterro é inferior. A rapidez com que o *software* processa o melhor arranjo de corte também é um fator chave e, por fim, existe

também a melhoria da produtividade, uma vez que existe a possibilidade de produzir desde as peças mais simples, até às mais complexas [53].

A grande desvantagem da utilização de um *software* de *nesting* é o custo associado à aquisição deste produto, pois nem todas as empresas têm capacidade para abarcar com estes custos, uma vez que, por norma, após a compra são exigidos valores anuais para atualizações do *software*. Contudo o ganho conseguido com a sua utilização é, normalmente, compensado pelas vantagens referidas anteriormente.

Para isso, foi feita uma pesquisa na internet de *software* de *nesting*, e foram testados dois, o *MYNESTING* e o *NESTFAB*. Após uma semana de testes, verificou-se que o *NESTFAB* apresentava melhores resultados e uma duração do processo de otimização bastante inferior ao *MYNESTING*, pelo que se optou por fazer todo o processo de otimização com o *NESTFAB*.

O *NESTFAB* permite criar as folhas onde serão cortadas as peças, assim como as peças a cortar, ou ainda exportar estes ficheiros CAD a testar no *software*. É bastante simples de usar e eficaz na otimização, conseguindo padrões de corte ótimos em poucos segundos, principalmente com a utilização de peças simples como discos. Permite também, após esta otimização, exportar o *layout* otimizado em vários formatos compatíveis com as máquinas de corte [54].

Como se pode verificar na Figura 46 a na Figura 47, o *software* permite em cerca de 40 segundos, fazer uma conjugação de padrões de corte, para conseguir cortar 3000 discos de diâmetro 76 mm e 1000 discos de diâmetro 100 mm na placa de 558 mm, e ainda quais as quantidades a utilizar com cada um dos padrões.

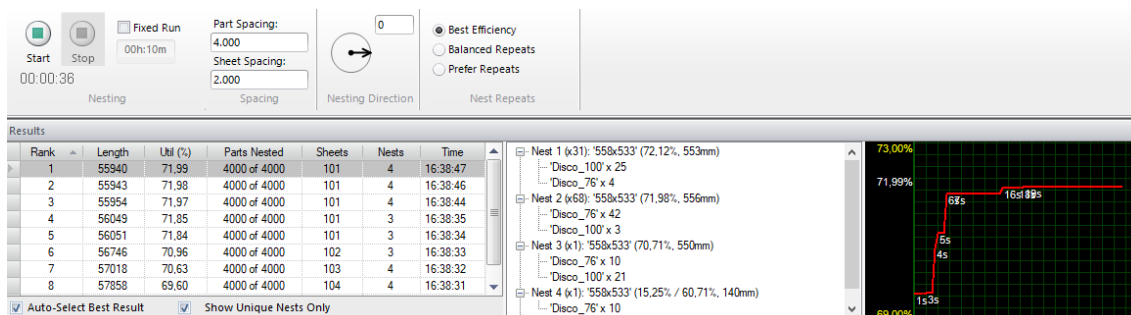


Figura 46 - Simulação do corte de 3000 discos de diâmetro 76 mm e 1000 discos de diâmetro 100 mm na placa de 558 x 533 [mm] [55]

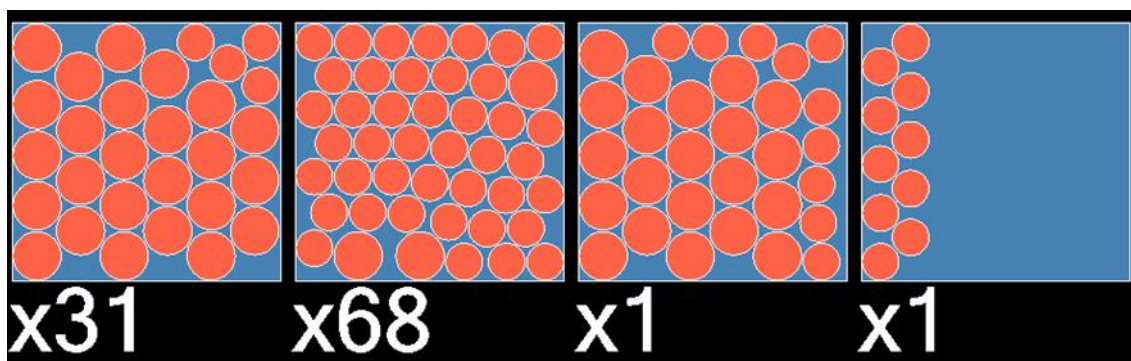


Figura 47 - Padrão de corte otimizado para as quantidades de 3000 discos de diâmetro 76 mm e 1000 discos de diâmetro 100 mm na placa de 558 x 533 [mm] [55]

Após a seleção do *software* de *nesting*, a utilizar durante o trabalho prático, com o objetivo de diminuir o desperdício técnico na família CBXDISC (DIR) e UNW, foi feito um estudo das quantidades de discos convertidos, em 2019, através de placas de *non woven* e criadas várias combinações com diferentes diâmetros, para que o *software* otimizasse ao máximo a área de placa disponível.

3.7 Criação de cenários para combinação de produtos

Após a realização do estudo das quantidades de discos produzidas em 2019, foi possível criar diferentes combinações de diâmetros, de forma a otimizar o desperdício gerado em cada placa, uma vez que ao conjugar diâmetros diferentes é possível, muitas vezes, obter arranjos de corte mais eficientes, do que quando se corta apenas um diâmetro. A base destas combinações teve como objetivo aumentar a eficiência de corte das placas em 10%, relativamente às percentagens obtidas no corte com prensa manual.

Inicialmente foi feita a verificação da quantidade máxima de discos de cada diâmetro, que o *software* conseguia agrupar em cada uma das diferentes placas, com um espaçamento entre discos de 4 mm e uma margem lateral da placa de 2 mm, conforme representado na Tabela 15.

Após a verificação da quantidade máxima de discos de apenas um diâmetro (por placa), sempre que possível, foram adicionados também discos de diâmetro 76 mm (o maior número possível), representados na Tabela 15 por Discos 76 mm.

Conforme referido, também, no ponto 3.2.1, a adição de discos de diâmetro 76 mm, prende-se com o facto de ser um dos diâmetros com maior volume de produção (Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14), e pelo facto do diâmetro de 54 mm já ser obtido, nas quantidades necessárias, a partir do corte do centro dos discos de diâmetro 113 e 123

mm. Por isso, não se torna rentável o corte do diâmetro de 54 mm, mesmo implicando uma menor eficiência de corte, e optar-se pelo corte do diâmetro de 76 mm, de forma a obter o melhor aproveitamento possível de cada placa.

Tabela 15 - Quantidade máxima de discos de cada diâmetro, por placa

Diâmetro (mm)	Placa 558 mm		Placa 508 mm		Placa 431 mm	
	Quantidade Máxima discos	Discos 76 mm	Quantidade Máxima discos	Discos 76 mm	Quantidade Máxima discos	Discos 76 mm
76	47	-	38	-	26	-
100	27	-	22	-	14	-
113	20	3	16	2	11	3
123	18	-	14	1	8	6
150	11	5	8	8	6	4
180	8	6	-	-	-	-
200	6	6	4	12	4	1

De seguida, são apresentados alguns exemplos das otimizações com apenas um diâmetro e, quando possível, com a inclusão de discos de 76 mm, de cada uma das placas. Os restantes estão enumerados nos anexos.

A Figura 48, mostra a simulação realizada para o diâmetro de 123 mm, na placa de 558 mm, e a quantidade máxima de discos com os parâmetros de espaçamento referidos anteriormente (4 mm entre discos e 2 mm de margem da placa), com a opção da melhor eficiência selecionada (opção utilizada para todas as combinações). A eficiência conseguida com esta combinação, de 71,91%, assim como o número máximo de discos passíveis de cortar na mesma (18 discos de diâmetro 123 mm), estão destacados com um círculo vermelho na Figura 48.

Além destas informações, o software também indica que para conseguir cortar 18 discos, a placa poderia ter apenas 555 mm de comprimento, e assim, obtinha-se uma eficiência um pouco superior de 72,31%.

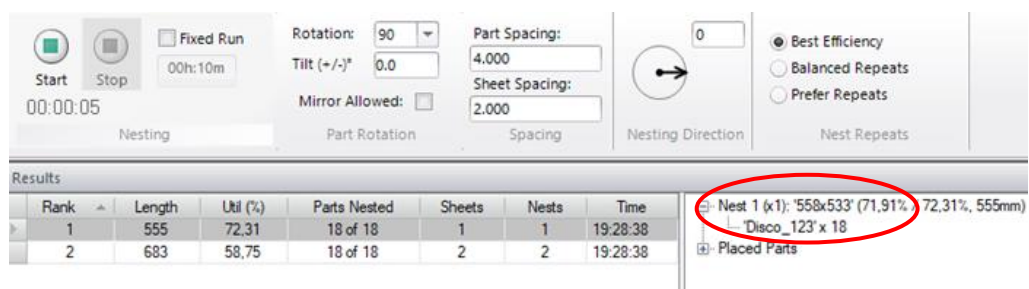


Figura 48 - Simulação da quantidade máxima de discos a cortar de diâmetro 123 mm na placa de 558 x 533 [mm] [55]

Já a Figura 49 representa o melhor arranjo de corte para o diâmetro de 123 mm, utilizando a placa de 558 x 533 [mm].

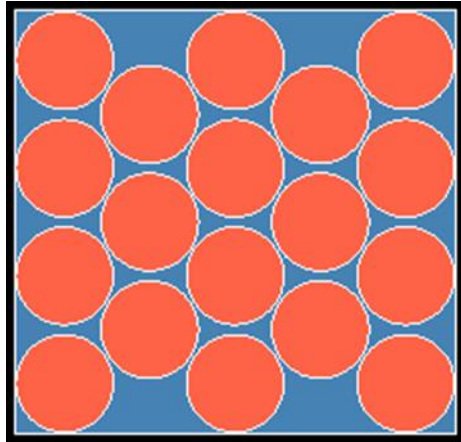


Figura 49 - Representação da quantidade máxima de discos de diâmetro 123 mm na placa 558 x 533 [mm] [55]

A Figura 50, representa a simulação de discos de 76 mm na placa de 508 mm, onde se verifica, destacado com um círculo vermelho, que é possível cortar um máximo de 38 discos deste diâmetro, obtendo uma eficiência de 68,06%.

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time	
1	489	69,40	38 of 38	1	1	11:40:23	Nest 1 (x1): 'Placa_508' (68,06%) 70,71%, 489mm
2	489	69,40	38 of 38	1	1	11:40:23	'Disco_76' x 38

Figura 50 - Simulação da quantidade máxima de discos a cortar de diâmetro 76 mm na placa de 508 x 508 [mm] [55]

A Figura 51 apresenta a configuração de corte do número máximo de discos de 76 mm de diâmetro passíveis de serem cortados na placa de 508 x 508 [mm].

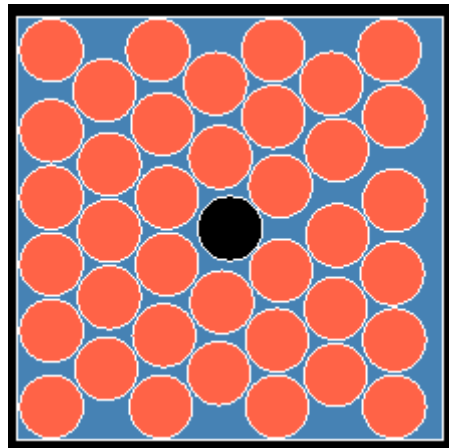


Figura 51 - Representação da quantidade máxima de discos de diâmetro 76 mm na placa 508 x 508 [mm] [55]

A Figura 52 demonstra a quantidade máxima de discos de diâmetro 113 mm (11 discos) passíveis de agrupar numa placa de 431 x 431 [mm], com o acréscimo de 3 discos de 76 mm, conforme destacado com um círculo vermelho.

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	427	67,29	14 of 14	1	1	23:40:32
2	546	53,72	14 of 14	2	2	23:40:31

Figura 52 - Simulação da quantidade máxima de discos a cortar de diâmetro 113 na placa de 431 x 431 [mm] [55]

Por fim, a Figura 53 apresenta o esquema de corte do diâmetro de 113 mm, na mesma placa.

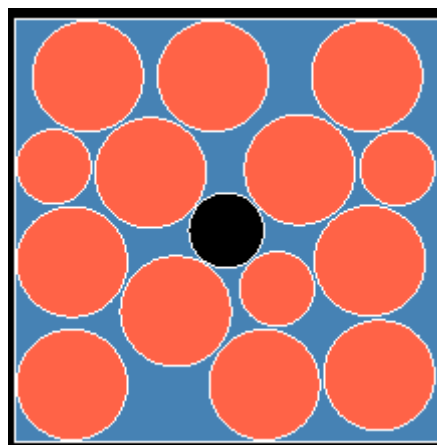


Figura 53 - Representação da quantidade máxima de discos de diâmetro 113 mm na placa de 431 x 431 [mm] [55]

Após este estudo, foram criadas combinações de dois e três diâmetros em cada uma das três placas, mediante os valores de produção representados na Tabela 12, na Tabela 13 e na Tabela 14, de forma a incluir apenas os diâmetros mais produzidos, ou seja, foram considerados para as combinações os diâmetros com maior expressão de cada uma das diferentes placas.

Posto isto, para a placa de 558 mm foram considerados os diâmetros 76 mm, 100 mm, 113 mm, 123 mm e ainda 150 mm. Já para as placas de 508 mm e 431 mm, apenas foram considerados os diâmetros 76 mm, 113 mm, 123 mm e ainda 150 mm.

Contudo, existe apenas uma exceção relativamente aos diâmetros utilizados, isto é, embora o diâmetro de 54 mm tenha elevada expressão em quase todas as placas, este não foi considerado por ser obtido através do corte do diâmetro interno dos discos de 113 mm e 123 mm, ou seja, já são obtidos em grande número com o corte destes dois diâmetros.

As combinações foram criadas, num ficheiro MS Excel®, com base nos valores de produção anuais (por ordem decrescente), onde se criaram tabelas com as diferentes combinações, e calculadas as quantidades de discos a inserir para que o software otimizasse o plano de corte, assim como as eficiências finais conseguidas após a utilização do software.

A metodologia seguida para a criação de todas as combinações de dois e três diâmetros, foi a seguinte:

1. Conjugou-se o diâmetro com maior percentagem de produção de cada placa com o segundo mais produzido, posteriormente com o terceiro mais produzido, de seguida conjugou-se o segundo diâmetro com percentagem de produção mais elevada com o terceiro mais produzido, e assim sucessivamente até perfazer as combinações (dois a dois ou três a três) com todos os diâmetros considerados para a respetiva placa;
2. Mediante a quantidade de produção anual de cada um dos diâmetros combinados, calculou-se a percentagem de ocupação que cada um tinha na placa, isto é, dividiu-se a quantidade de produção anual de cada diâmetro, pelo somatório das quantidades produzidas de todos os diâmetros pertencentes à combinação, como se pode verificar no exemplo da Figura 54, na coluna % discos da (exemplo da combinação 1 placa 558);
3. Seguidamente, multiplicou-se cada uma das percentagens, calculadas no ponto anterior, pelo valor máximo de discos (do diâmetro correspondente) passíveis de cortar na placa (otimizado pelo *NESTFAB* - Tabela 15), e assim obteve-se a

quantidade de discos a inserir no software, para que este otimizasse o melhor padrão de corte, como exemplificado na coluna Nº discos (cálculo) na Figura 54;

4. Por vezes, após cada otimização, com as quantidades calculadas, no MS Excel®, e posteriormente inseridas no software, era perceptível que, possivelmente, se conseguiria adicionar mais algum disco do diâmetro mais produzido à combinação. Sempre que ocorriam estas situações era realizado o teste, para verificar se o software conseguiria otimizar a nova quantidade de discos, e sempre que se obtinha um resultado positivo, era escrito o novo valor na coluna Nº discos (software), conforme representado no exemplo da Figura 55 para o diâmetro de 123 mm;
5. Sempre que possível foram também acrescentados aos diversos cenários discos de 76 mm de diâmetro, para um melhor aproveitamento da placa, conforme referido anteriormente;
6. Por fim, calculou-se a eficiência de corte conseguida com cada cenário, dividindo a área total de discos cortados pela área da placa, conforme exemplificado na coluna eficiência da Figura 55.

Combinação 1 - 558 mm

Diâmetro	Nº discos p/ano	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
76	208007	=D37/\$D\$39	=ARRED.PARA.CIMA(PI()*C37^2/4;0)	=E37*J5	22	=F37*H37	=I37/E19
123	229010	=D38/\$D\$39	=ARRED.PARA.CIMA(PI()*C38^2/4;0)	=E38*J8	10	=H38*F38	=I38/E19
Total	=SOMA(D37:D38)				Total	=SOMA(I37:I38)	=I39/E19

Figura 54 - Exemplificação dos cálculos realizados para a quantidade de discos a testar no *software* para a placa 558 mm combinação 1

Combinação 1 - 558 mm

Diâmetro	Nº discos p/ano	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
76	208007	48%	4537	22	22	99814	34%
123	229010	52%	11883	9	10	118830	40%
Total	437017				Total	218644	74%

Figura 55 - Representação dos valores dos cálculos descritos na Figura 54

Para cada placa e respetivo grupo de combinações (dois ou três diâmetros), é mostrado um exemplo, de uma das combinações realizadas no software *NESTFAB*, as restantes estão enumeradas nos anexos.

Foram selecionadas como forma de exemplo, ao longo deste capítulo, as combinações com a seguinte conjugação de critérios: eficiências mais elevadas e diâmetros com maior produção anual.

Relativamente à placa de 558 mm, foram considerados para as combinações, os diâmetros de 76, 100, 113, 123 e 150 mm, ou seja, foram feitas combinações de cinco dois a dois, e combinações de cinco três a três, o que totaliza 10 combinações de dois diâmetros e exatamente a mesma quantidade de três.

A Tabela 16, enumera todas as combinações de dois diâmetros da placa de 558 mm, incluindo também os discos de 76 mm (D76), onde D1 representa o diâmetro 1, D2 o diâmetro 2, Quant. D1 significa a quantidade de discos a cortar do diâmetro 1, Quant. D2 a quantidade de discos a cortar do diâmetro 2 e a última coluna apresenta a eficiência conseguida com cada uma das combinações.

Tabela 16 - Combinações de dois diâmetros placa 558 x 533 [mm]

Combinações de dois diâmetros - Placa 558x533 mm						
Combinação	D1	D2	D76	Quant. D1	Quant. D2	Eficiência
1	76	123	-	22	10	74%
2	100	123	-	11	11	73%
3	123	150	1	12	4	73%
4	123	113	4	12	6	74%
5	100	76	-	11	28	72%
6	76	150	-	32	4	73%
7	76	113	-	32	7	72%
8	100	150	5	14	5	74%
9	100	113	2	16	8	72%
10	113	150	6	9	6	75%

Inicialmente calcularam-se as quantidades de cada um dos diâmetros a testar no *software*, conforme mostra a Figura 56, para o caso da combinação 4 da placa de 558 mm.

Combinação 4 - 558 mm

Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
123	229010	68%	11882	12	12	142587	48%
113	107825	32%	10029	6	6	60172	20%
76			4536		4	18146	6%
Total	336835				Total	220906	74%

Figura 56 - Cálculos realizados para a criação da combinação 4 na placa de 558 mm

Após estes cálculos, foi realizada a otimização no *software*, representada pela Figura 57, onde se verifica que é possível conjugar 12 discos de diâmetro 123 mm, 6 discos de diâmetro 113 mm, conforme calculado no MS Excel®, e ainda a inclusão de 4 discos de 76 mm.

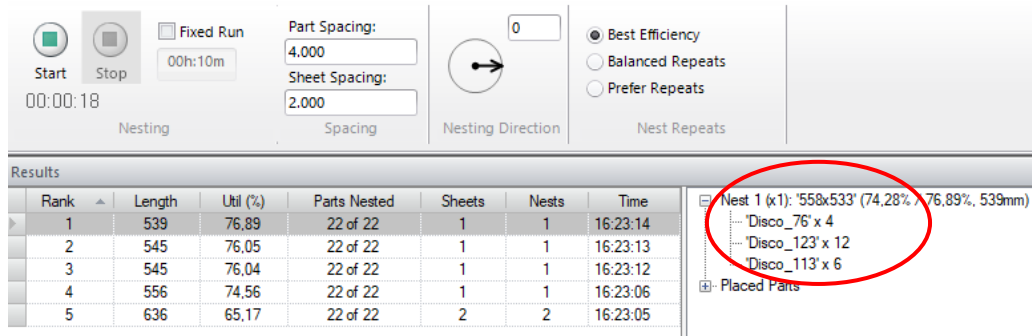


Figura 57 – Parâmetros da otimização no *software* para a combinação 4 da placa de 558 x 533 [mm] [55]

A Figura 58 exemplifica o arranjo de corte para a combinação 4 da placa de 558 mm, e assim obter um aproveitamento da mesma de 74%.

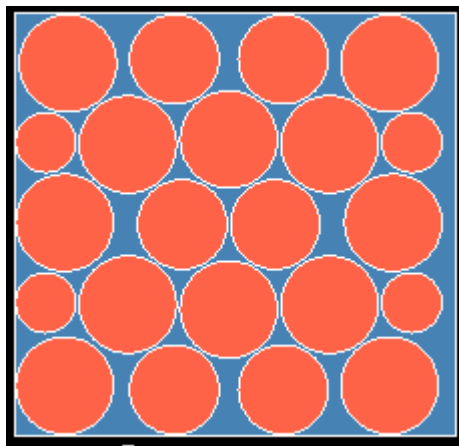


Figura 58 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 4 da placa de 558 mm [55]

A Tabela 17 representa as combinações de três diâmetros da placa de 558 x 533 [mm], assim como o acréscimo dos discos de 76 mm (D76), onde ao descrito relativamente à Tabela 16 se acrescenta a coluna D3, que representa o diâmetro 3 e Quant. D3 que descreve a quantidade de discos de diâmetro 3, a última coluna demonstra a eficiência de cada combinação.

Tabela 17 - Combinações de três diâmetros placa 558 x 533 [mm]

Combinações de três diâmetros - Placa 558 x 533 [mm]								
Combinação	D1	D2	D3	D76	Quant. D1	Quant. D2	Quant. D3	Eficiência
11	123	76	100		7	19	7	75%
12	123	76	150		8	17	3	76%
13	123	76	113		8	19	4	74%
14	123	100	150	3	8	8	3	75%

15	123	100	113	3	9	8	4	75%
16	123	150	113		9	3	5	77%
17	76	100	150		19	10	3	73%
18	76	100	113		20	11	4	73%
19	76	150	113		25	3	5	73%
20	100	150	113	3	12	3	6	74%

Relativamente às combinações de três diâmetros da placa de 558 mm, a Figura 59 representa um exemplo dos cálculos efetuados, mais precisamente para a combinação 12, onde se verifica que, para este caso foi possível, após a primeira simulação, acrescentar mais um disco de diâmetro 123 mm relativamente aos valores calculados (coluna Nº discos (cálculo)) e assim obter um maior aproveitamento da placa.

Combinção 12 - 558 mm

Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
123	229010	40%	11882	7	8	95058	32%
76	208007	36%	4536	17	17	77120	26%
150	141185	24%	17671	3	3	53014	18%
Total	578202				Total	225193	76%

Figura 59 - Cálculos realizados para a criação da combinação 12 da placa 558 mm

Na Figura 60, está representada a otimização final feita para a combinação 12, onde se conseguiu uma eficiência de corte de 76%.

A configuração do padrão de corte desta combinação, onde se incluem 8 discos de diâmetro 123 mm, 17 discos de 76 mm e 3 discos de 150 mm, está demonstrada na Figura 61.

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:01:22 Nesting Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000

Mirror Allowed: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	552	76,57	28 of 28	1	1	16:47:57
2	636	66,43	28 of 28	2	2	16:46:40

Nest 1 (x1): '558x533' (75,72%, 76,57%, 552mm)
 ... Disco_76' x 17
 ... Disco_123' x 8
 ... Disco_150' x 3
 Placed Parts

Figura 60 - Parâmetros da otimização no *software* para a combinação 12 placa de 558 x 533 [mm] [55]

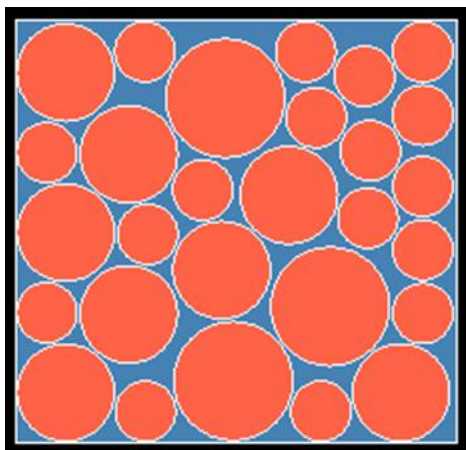


Figura 61 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 12 da placa de 558 mm [55]

Para a placa de 508 mm, foram incluídos para as combinações os diâmetros de 76, 113, 123 e 150 mm, ou seja, foram feitas combinações de quatro dois a dois, $C_{4,2}$ e combinações de quatro três a três, $C_{4,3}$, o que totaliza 6 combinações com dois diâmetros e 4 com três.

Na Tabela 18 estão representadas as combinações de dois diâmetros da placa de 508 mm, onde D1 representa o diâmetro 1, D2 o diâmetro 2, Quant. D1 a quantidade de discos do diâmetro 1 e Quant. D2 a quantidade de discos do diâmetro 2 a cortar na placa, assim como os discos de diâmetro 76 mm (D76) passíveis de incluir, em alguns cenários, de forma a otimizar a área de corte ao máximo.

Tabela 18 - Combinações de dois diâmetros na placa 508 x 508 [mm]

Combinações de dois diâmetros - Placa 508 x 508 [mm]						
Combinação	D1	D2	D76	Quant. D1	Quant. D2	Eficiência
1	76	113	-	26	6	70%
2	76	123	-	29	4	71%
3	76	150	-	35	1	70%
4	113	123	4	9	6	71%
5	113	150	5	14	1	71%
6	123	150	5	12	1	72%

Como exemplo das combinações de dois diâmetros da placa de 508 x 508 [mm], a Figura 62, exhibe os cálculos realizados para criação do cenário 4.

Combinação 4 - 508 mm

Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
113	65782	54%	10029	9	9	90259	36%
123	55161	46%	11882	6	6	71294	28%
76			4536		4	18146	7%
Total	120943				Total	179698	71%

Figura 62 - Cálculos realizados para a criação da combinação 4 da placa de 508 mm

Após os cálculos iniciais, foi possível acrescentar ainda a esta combinação 4 discos de diâmetro 76 mm que o *software* conseguiu agrupar, como mostra a Figura 63.

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	503	70.32	19 of 19	1	1	13:01:24
2	586	61.32	19 of 19	2	2	13:01:23
3	586	61.32	19 of 19	2	2	13:01:22
4	623	57.63	19 of 19	2	2	13:01:22

Results

- Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70.91% x 71.61%, 503mm)
 - 'Disco_123' x 6
 - 'Disco_113' x 9
 - 'Disco_76' x 4
- Placed Parts

Figura 63 - Parâmetros da otimização no *software* para a combinação 4 da placa de 508 x 508 [mm] [55]

No final foi obtido o padrão de corte ótimo, que está representado pela Figura 64.

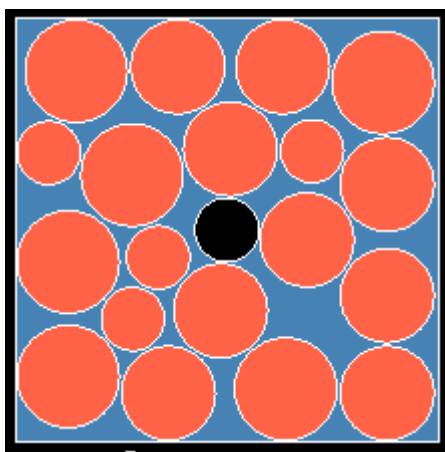


Figura 64 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 4 da placa de 508 x 508 [mm] [55]

Relativamente às combinações de três diâmetros da placa de 508 mm, existem quatro cenários, que estão demonstrados na Tabela 19, onde se acrescentam o D3 que representa o diâmetro 3 e ainda a Quant. D3, que indica a quantidade de discos do diâmetro 3 a cortar na placa. Para esta placa, apenas na combinação 10 foi possível incluir discos de diâmetro 76 mm (D76), de forma a obter maior eficiência da placa.

Tabela 19 - Combinações de três diâmetros na placa de 508 x 508 [mm]

Combinações de três diâmetros - Placa 508x508 mm								
Combinação	D1	D2	D3	D76	Quant. D1	Quant. D2	Quant. D3	Eficiência
7	76	113	123	-	23	4	3	71%
8	76	113	150	-	25	5	1	71%

9	76	123	150	-	25	4	1	70%
10	113	123	150	3	8	6	1	72%

Em relação às combinações de três diâmetros, a Figura 65, mostra os cálculos efetuados referentes à combinação 10 da placa de 508 mm.

Combinção 10 - 508 mm

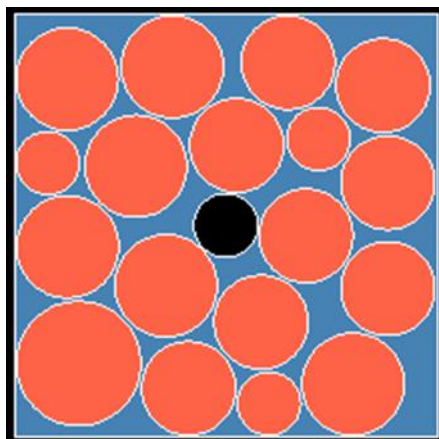
Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
113	65782	51%	10029	8	8	80230	32%
123	55161	43%	11882	6	6	71294	28%
150	7390	6%	17671	1	1	17671	7%
76			4536		3	13609	5%
Total	128333				Total	182805	72%

Figura 65 - Cálculos realizados para a criação da combinação 10 da placa de 508 x 508 [mm]

Como se pode verificar na Figura 66, foi possível acrescentar mais três discos de diâmetro 76 mm à combinação 10, e assim conseguir uma eficiência de corte de 72%.

Figura 66 – Parâmetros da otimização no *software* para a combinação 10 da placa de 508 mm [55]

Posto isto, obteve-se o padrão de corte final onde se agrupam 8 discos de diâmetro 113 mm, 6 discos de 123 mm, 1 disco de 150 mm e ainda 3 discos de 76 mm, como demonstrado na Figura 67.

Figura 67 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 10 da placa de 508 x 508 [mm] [55]

Por fim, para a placa de 431 mm, assim como a anterior, foram incluídos para as combinações os diâmetros de 76, 113, 123 e 150 mm, ou seja, foram feitas combinações de quatro dois a dois, $C_{4,2}$ e combinações de quatro três a três, $C_{4,3}$, o que totaliza 6 combinações com dois diâmetros e 4 com três.

A Tabela 20 representa as combinações de dois diâmetros criadas para a placa de 431 x 431 [mm], sendo que apenas foi possível acrescentar discos de 76 mm (D76) às combinações 4, 5 e 6.

Tabela 20 - Combinações de dois diâmetros da placa 431 x 431 [mm]

Combinações de dois diâmetros - Placa 431 x 431 [mm]						
Combinação	D1	D2	D76	Quant. D1	Quant. D2	Eficiência
1	76	113	-	22	2	66%
2	76	123	-	24	1	67%
3	76	150	-	22	1	65%
4	113	123	7	6	3	70%
5	113	150	3	6	3	70%
6	123	150	6	4	3	70%

Como exemplo das combinações de dois diâmetros para a placa de 431 mm, apresenta-se na Figura 68 os cálculos realizados para a combinação 4 desta placa.

Combinação 4 - 431 mm

Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
113	67016	57%	10029	6	6	60172	33%
123	50292	43%	11882	3	3	35647	20%
76			4536		7	31755	18%
Total	117308				Total	127575	70%

Figura 68 - Cálculos realizados para a criação da combinação 4 da placa de 431 mm

Com esta combinação, foi possível obter uma eficiência de corte de 70%, uma vez que se conseguiram juntar à combinação inicial 7 discos de diâmetro 76 mm, conforme representado na Figura 69.

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:07 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Mirror Allowed: Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	429	69.04	16 of 16	1	1	16:38:07
2	509	59.41	16 of 16	2	2	16:38:07
3	509	59.41	16 of 16	2	2	16:38:06

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_431' (70.44% x 70.82%, 429mm)
 Disco_76' x 7
 Disco_113' x 6
 Disco_123' x 3
 Placed Parts

Figura 69 - Parâmetros da otimização no software para a combinação 4 da placa de 431 mm [55]

O padrão de corte ótimo para este quarto cenário da placa de 431 mm, encontra-se exemplificado na Figura 70.

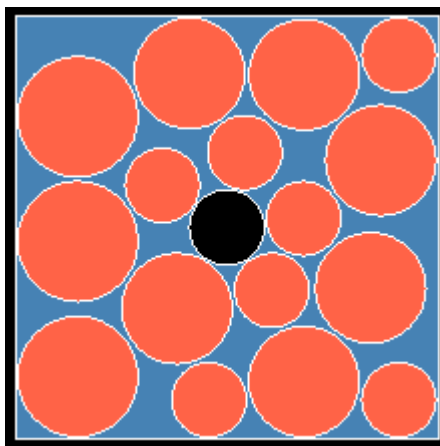


Figura 70 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 4 da placa de 431 mm [55]

Por último, a Tabela 21 integra o conjunto de combinações de três diâmetros da placa de 431 x 431 [mm], onde é possível verificar que apenas foi possível incluir discos de 76 mm (D76) na combinação 10.

Tabela 21 - Combinações de três diâmetros da placa de 431 x 431 [mm]

Combinações de três diâmetros - Placa 431 x 431 [mm]								
Combinação	D1	D2	D3	D76	Quant. D1	Quant. D2	Quant. D3	Eficiência
7	76	113	123	-	20	2	1	68%
8	76	113	150	-	19	2	1	68%
9	76	123	150	-	21	1	1	69%
10	113	123	150	6	4	2	2	70%

A Figura 71, representa os cálculos efetuados para a combinação 10 da placa de 431 mm, um exemplo dos cenários de dois diâmetros criados para esta placa, onde é possível verificar que para além dos diâmetros pertencentes a este cenário, ainda foi possível agregar mais 6 discos de diâmetro 76 mm.

Combinação 10 - 431 mm

Diâmetro	Nº discos	% discos	Área	Nº discos (cálculo)	Nº discos (software)	Área total	Eficiência
113	67016	37,3%	10029	4	4	40115	22%
123	50292	28,0%	11882	2	2	23765	13%
150	62444	34,7%	17671	2	2	35343	20%
76			4536		6	27219	15%
Total	179752				Total	126441	70%

Figura 71 - Cálculos realizados para a criação da combinação 10 da placa de 431 mm

A Figura 72 representa os parâmetros utilizados para esta combinação, onde foi possível obter uma eficiência de corte de 70%.

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	419	70.02	14 of 14	1	1	12:04:35
2	419	70.02	14 of 14	1	1	12:04:33
3	419	70.02	14 of 14	1	1	12:04:26
4	423	69.38	14 of 14	1	1	12:04:25
5	509	58.88	14 of 14	2	2	12:04:24

Figura 72 - Parâmetros da otimização no *software* para a combinação 10 da placa de 431 mm [55]

O padrão de corte desta combinação é mostrado na Figura 73, onde se agrupam 4 discos de 113 mm, 2 discos de 123 mm, 2 discos de 150 mm e ainda 6 discos de 76 mm.

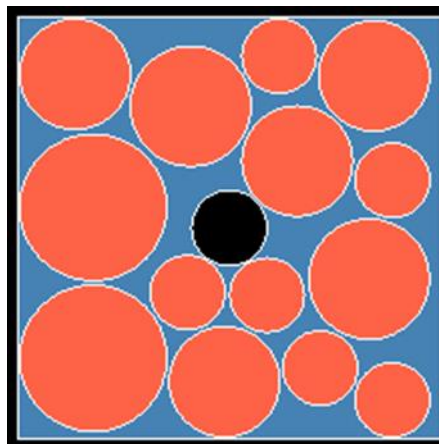


Figura 73 - Esquema de corte (*software*) para a combinação 10 da placa de 431 mm [55]

De uma forma geral, a placa de 431 mm é a que apresenta menores valores de eficiência de corte, entre as três, uma vez que é a placa que possui menores dimensões, no entanto são cortados os mesmos diâmetros que os da placa de 508 mm.

Após a criação e otimização de todas as combinações, foi criada uma pequena aplicação, que indica o melhor cenário a escolher, após a inserção dos diâmetros e respectivas quantidades de discos a cortar, que está detalhado no capítulo seguinte.

3.8 Criação de aplicação para combinação de produtos em função da procura

Depois de formuladas e otimizadas todas as combinações para cada uma das três placas, foi criada uma aplicação em MS Excel®, que calcula o melhor cenário a utilizar, mediante a seleção da placa a cortar, seguida da conjugação de diâmetros pretendidos e respetivas quantidades.

Para a criação da aplicação, foram estabelecidos três cenários, de forma a averiguar, mediante a quantidade de discos requerida, a melhor opção de corte a escolher.

O cenário 1 inclui todas as combinações criadas com dois e três diâmetros, baseadas nas quantidades produzidas anualmente, sendo o remanescente (caso exista) cortado em placas com apenas um diâmetro, otimizadas também pelo *software* de *nesting*.

Já o cenário 2 tem como premissa o corte da quantidade de discos pretendida em placas com apenas um diâmetro, também otimizadas pelo *NESTFAB*.

Por último, o cenário 3 engloba o corte dos diâmetros pretendidos, em placas onde é cortado apenas um diâmetro, com as quantidades máximas passíveis de serem cortadas na prensa manual.

Foram criadas duas opções para esta verificação, uma para o cálculo com dois diâmetros e outra para o cálculo com três diâmetros.

Após a escolha do cálculo com dois diâmetros, é necessário preencher os dados das células marcadas a amarelo na Figura 74, nomeadamente o tipo de placa, a conjugação de diâmetros pretendidos e a quantidade a produzir de cada um dos diâmetros.

Cálculo com dois diâmetros		
Inserir os dados nas células a amarelo:	Tipo de placa	Placa558
	Combinação pretendida	76;123
	Comprimento placa	558
	Diâmetro 1	76
	Diâmetro 2	123
	Quant. Diâmetro 1	3000
	Quant. Diâmetro 2	2000

Figura 74 - Inserção de dados para o cálculo com dois diâmetros

A metodologia seguida, nesta aplicação, para verificação do cenário ótimo a escolher, foi a seguinte:

1. Inserir os dados requeridos, nomeadamente, tipo de placa, combinação de diâmetros pretendida e quantidades a produzir de cada diâmetro;
2. Após a inserção dos dados, para o cenário 1, calcula-se a quantidade de placas necessárias para produzir o diâmetro de menor quantidade entre os dois, mediante o corte com a combinação escolhida, conforme representado pela equação (21). Ou seja, como exemplificado na Figura 75, para a combinação de discos de 76 e 123 mm de diâmetro, na placa 558 mm, por cada placa são cortados 22 discos do diâmetro 76 mm e 10 do diâmetro 123 mm, é feita a verificação de qual o diâmetro que é produzido mais rapidamente (coluna nº de placas menor) entre $3000/22=137$ placas e $2000/10= 200$ placas, e conclui-se que para o cenário 1, são utilizadas 137 placas com a combinação 76 mm e 123 mm;
3. De seguida, verifica-se quantas placas com apenas 1 diâmetro, (otimizado pelo *NESTFAB*) são necessárias para perfazer a quantidade em falta do outro diâmetro, utilizando primeiro a equação (22) para saber qual o diâmetro quant. menor (primeiro diâmetro a atingir a quantidade requerida, utilizando a combinação selecionada), e depois a equação (23) para calcular as placas restantes com o diâmetro com valor de produção superior, ou seja, divide-se a quantidade em falta pelo número de discos passíveis de serem cortados numa placa, e assim, completa-se a produção requerida. Conforme demonstrado na Figura 75, são ainda utilizadas 35 placas (coluna nº placas restantes) onde são cortados apenas discos de diâmetro 123 mm, ou seja, são necessárias 172 placas para a produção de 3000 discos de 76 mm e 2000 discos de 123 mm, conforme demonstrado na Figura 75, cenário 1;
4. Para o cenário 2, a aplicação calcula apenas o número de placas necessárias para produzir as quantidades requeridas, como mostrado pelas equações (24) para do diâmetro 1, e (25) para o diâmetro 2, ou seja, divide a quantidade de discos a produzir, pelo número de discos passíveis de cortar numa placa (de apenas 1 diâmetro, otimizada pelo *NESTFAB*), representado também na Figura 75, verifica-se que são necessárias 64 placas com o diâmetro 76 mm e 112 para o diâmetro 123 mm, o que totaliza 176 placas identificado como cenário 2;
5. Para o cenário 3, e como forma de comparação, é calculado o número de placas necessárias para produzir as quantidades referidas de cada um dos diâmetros, utilizando os valores máximos de discos passíveis de serem cortados na prensa manual conforme demonstrado pelas equações (26) e (27), ou seja, divide-se as quantidades requeridas, pelo número máximo de discos passíveis de serem cortados na prensa manual, conforme representado na terceira tabela da Figura 75, onde é possível verificar que são necessárias 197 placas para este caso, indicado como cenário 3;

6. Posteriormente, são escritas as quantidades de placas necessárias para cada um dos cenários representadas pelas equações (28), (29) e (39), e também o resultado final com a indicação do melhor cenário a escolher, ou seja, onde se utiliza o menor número de placas para produzir as quantidades pretendidas, que para o exemplo representado na Figura 75 a situação ótima foi o cenário 1, onde são precisas 172 placas, sendo 137 destas, cortadas com a conjugação de discos de diâmetro 76 e 123 mm e ainda 35 placas onde é cortado apenas o diâmetro 123 mm;
7. Por último, é calculada a poupança em número de placas (equação (31)) e em euros (equação (32)), conseguida com a utilização do cenário ótimo por comparação com os valores obtidos no corte em prensa manual, descrito como cenário 3. Para o exemplo representado na Figura 75, houve uma poupança de 25 placas, comparativamente com o corte na prensa manual (cenário 3), o que se traduz numa poupança de 650 €.

$$\begin{aligned}
 & N^{\circ} \text{ placas com Menor (cenário 1 – 2 diâmetros)} \\
 & = SE \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}} \times N^{\circ} \text{ discos D2 por placa} \right. \\
 & \left. < \text{Quant. Diâmetro 2}, \frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}}, \frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}} \right)
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Diâmetro Quant. menor (cenário 1 – 2 diâmetros)} \\
 & = SE \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}} \right. \\
 & \left. = N^{\circ} \text{ placas com Menor; Quant. Diâmetro 1; Quant. Diâmetro 2} \right)
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
 & N^{\circ} \text{ placas restantes (cenário 1 – 2 diâmetros)} \\
 & = SE \left(\text{Diâmetro Quant. menor} \right. \\
 & = \text{Quant. Diâmetro 1; Quant. Diâmetro 2} \\
 & \left. - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D2 (1 diâmetro por placa)}}; \text{Quant. Diâmetro 1} \right. \\
 & \left. - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D1 (1 diâmetro por placa)}} \right)
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$N^{\circ} \text{ placas } D1 \text{ (cenário 2)} = \frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos com } D1 \text{ (1 diâmetro por placa)}} \quad (24)$$

$$N^{\circ} \text{ placas } D2 \text{ (cenário 2)} = \frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos com } D2 \text{ (1 diâmetro por placa)}} \quad (25)$$

$$N^{\circ} \text{ placas } D1 \text{ (cenário 3)} = \frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos por placa com } D1 \text{ (prensa)}} \quad (26)$$

$$N^{\circ} \text{ placas } D2 \text{ (cenário 3)} = \frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos por placa com } D2 \text{ (prensa)}} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{Total placas (cenário 1 – 2 diâmetros)} \\ = N^{\circ} \text{ placas com Menor (cenário 1)} \\ + N^{\circ} \text{ placas restantes (cenário 1)} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{Total placas (cenário 2 – 2 diâmetros)} \\ = N^{\circ} \text{ placas } D1 \text{ (cenário 2)} + N^{\circ} \text{ placas } D2 \text{ (cenário 2)} \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Total placas (cenário 3 – 2 diâmetros)} \\ = N^{\circ} \text{ placas } D1 \text{ (cenário 3)} + N^{\circ} \text{ placas } D2 \text{ (cenário 3)} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \text{Poupança (placas)} \\ = SE(\text{Resultado final} \\ = \text{Cenário 1; Total placas (cenário 3)} \\ - \text{Total placas (cenário 1); SE (Resultado final} \\ = \text{Cenário 2; Total placas (cenário 3)} \\ - \text{Total placas (cenário 2); 0))} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\text{Poupança (€)} = \text{Poupança (placas)} \times \text{Preço placa (€)} \quad (32)$$

Cenário 1 (2 Diâmetros - software)						
Diâmetro Quant. Menor	Nº discos D1 p/ placa	Nº discos D2 p/placa	Nº placas c/ Menor	Nº discos c/ D1 (1 diâmetro p/placa)	Nº discos c/ D2 (1 diâmetro p/placa)	Nº placas restantes
Quant. Diâmetro 1	22	10	137	47	18	35

Cenário 2 (1 Diâmetro p/ placa - software)	
Nº placas D1	Nº placas D2
64	112

Cenário 3 (1 Diâmetro Prensa Manual)			
Nº discos p/ placa c/ D1	Nº discos p/ placa c/ D2	Nº placas D1	Nº placas D2
42	16	72	125

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Resultado final	Resultado		Poupança (placas)	Preço placa (€)	Poupança (€)
				Nº placas	Nº placas			
172	176	197	Cenário 1	137	35	25	26	650
				Diâmetros	Diâmetros			
				22 Discos de Diâmetro 76 e 10 Discos de Diâmetro 123	18 Discos de Diâmetro 123			

Figura 75 - Exemplo dos resultados dos vários cenários para o cálculo com dois diâmetros

Para o cálculo com três diâmetros, o processo é semelhante, ao anterior, sendo necessário preencher os campos das células a amarelo, ou seja, tipo de placa, combinação pretendida, e por fim a quantidade requerida para cada um dos três diâmetros, conforme representado na Figura 76.

Cálculo com três diâmetros	
Inserir os dados nas células a amarelo:	Tipo de placa Placa_508
	Combinação pretendida 76;113;123
	Comprimento placa 508
	Diâmetro 1 76
	Diâmetro 2 113
	Diâmetro 3 123
	Quant. Diâmetro 1 2000
	Quant. Diâmetro 2 1000
	Quant. Diâmetro 3 600

Figura 76 – Inserção de dados para o cálculo com três diâmetros

A metodologia seguida para o cálculo do melhor cenário a escolher para a utilização de três diâmetros, é igual ao anterior, contudo existem algumas equações diferentes, uma vez que é necessário verificar o terceiro diâmetro.

Para o cenário 1, conforme o exemplo representado na primeira tabela da Figura 77, é verificado o diâmetro produzido mais rapidamente, com a combinação de discos 76 mm; 113 mm; 123 mm, na placa de 508 mm, através do cálculo do nº de placas com menor, representado na equação (33), onde é testado se com a quant. D1, as quantidades de discos de D2 e D3 obtidas são inferiores ao valor pretendido de produção, se sim então é calculado o número de placas com a quant. D1, se não, utilizando a quant. D2, se as quantidades obtidas de D1 e D3 são inferiores às requeridas, e se sim então é calculado o número de placas com a quant. D2, se não é calculado o número de placas com a

quant. D3. Para o exemplo representado verifica-se que o número de placas com menor são 87 placas.

Posteriormente é escrito qual o diâmetro quant. menor, representado pela equação (34), que para o caso da Figura 77, é o diâmetro de 76 mm (diâmetro 1).

Após este cálculo, é verificada a quantidade de placas necessárias para a conclusão da produção, também otimizadas pelo *NESTFAB*, contudo uma vez que existem dois diâmetros, torna-se necessário calcular dois tipos de placas restantes (a) e (b), o número de placas restantes (a), representado pela equação (35) onde se testa se o diâmetro menor for o D1, é calculado o número de placas com D2 restantes, se não, se o diâmetro menor for o D2, é calculado o número de placas restantes com D1 e se não, é calculado também o número de placas restantes com D1. Também é calculado o número de placas restantes (b), como demonstrado pela equação (36), onde se verifica se o diâmetro menor é igual ao D1 ou ao D2, se sim, então é calculado o número de placas restantes com D3, se não é calculado o número de placas restantes com D2. Para o exemplo da Figura 77, conclui-se que são necessárias 41 placas com o diâmetro 113 mm e ainda 25 com o diâmetro de 123 mm.

O número de placas para o cenário 2 é calculado como para a combinação com dois diâmetros, apenas se acrescenta a equação (37), para calcular o número de placas com o diâmetro D3. A mesma situação se reflete para o cálculo do cenário 3, onde além das equações utilizadas anteriormente, se adiciona a equação (38) para o cálculo do diâmetro D3.

São feitos, posteriormente, os cálculos totais das placas para os três cenários utilizando as equações (39), (40) e (41), e conclui-se que, para o exemplo representado na Figura 77, o melhor cenário é o cenário 1, conforme representado na última tabela da Figura 77, onde são utilizadas 153 placas no total para produzir as quantidades pretendidas, obtendo-se uma poupança de 19 placas, comparativamente com o corte na prensa manual, o que se traduz numa poupança de 570 € (equações de poupança iguais aos do cenário com dois diâmetros).

$$\begin{aligned}
& N^{\circ} \text{ placas com Menor (cenário 1 – 3 diâmetros)} \\
& = SE \left(E \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}} \times N^{\circ} \text{ discos D2 por placa} \right. \right. \\
& < \text{Quant. Diâmetro 2}; \frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}} \times N^{\circ} \text{ discos D3 por placa} \\
& < \text{Quant. Diâmetro 3} \left. \right); \frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}}; SE \left(E \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}} \right. \right. \\
& \times N^{\circ} \text{ discos D1 por placa} \\
& < \text{Quant. Diâmetro 1}; \frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}} \times N^{\circ} \text{ discos D3 por placa} \\
& < \text{Quant. Diâmetro 3} \left. \right); \frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}}; \frac{\text{Quant. Diâmetro 3}}{N^{\circ} \text{ discos D3 por placa}} \left. \right) \quad (33)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Diâmetro Quant. menor (cenário 1 – 3 diâmetros)} \\
& = SE \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 1}}{N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}} \right. \\
& = N^{\circ} \text{ placas com Menor}; \text{Quant. Diâmetro 1}; SE \left(\frac{\text{Quant. Diâmetro 2}}{N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}} \right. \\
& = N^{\circ} \text{ placas com Menor}; \text{Quant. Diâmetro 2}; \text{Quant. Diâmetro 3} \left. \right) \quad (34)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& N^{\circ} \text{ placas restantes (a) (cenário 1 – 3 diâmetros)} \\
& = SE \left(\text{Diâmetro Quant. menor} \right. \\
& = \text{Quant. Diâmetro 1}; \text{Quant. Diâmetro 2} \\
& - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D2 (1 diâmetro por placa)}}; SE \left(\text{Diâmetro Quant. menor} \right. \\
& = \text{Quant. Diâmetro 2}; \text{Quant. Diâmetro 1} \\
& - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D1 (1 diâmetro por placa)}}; \text{Quant. Diâmetro 1} \\
& - \left. \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D1 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D1 (1 diâmetro por placa)}} \right) \quad (35)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& N^{\circ} \text{ placas restantes (b) (cenário 1 – 3 diâmetros)} \\
& = SE \left(OU(\text{Diâmetro Quant. menor} \right. \\
& = \text{Quant. Diâmetro 1; Diâmetro Quant. menor} \\
& = \text{Quant. Diâmetro 2); Quant. Diâmetro 3} \\
& - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D3 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D3 (1 diâmetro por placa)}} ; \text{Quant. Diâmetro 2} \\
& \left. - \frac{N^{\circ} \text{ placas com Menor} \times N^{\circ} \text{ discos D2 por placa}}{N^{\circ} \text{ discos com D2 (1 diâmetro por placa)}} \right)
\end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned}
& N^{\circ} \text{ placas D3 (cenário 2 – 3 diâmetros)} \\
& = \frac{\text{Quant. Diâmetro 3}}{N^{\circ} \text{ discos com D3 (1 diâmetro por placa)}}
\end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned}
& N^{\circ} \text{ placas D3 (cenário 3 – 3 diâmetros)} \\
& = \frac{\text{Quant. Diâmetro 3}}{N^{\circ} \text{ discos por placa com D3 (prensa)}}
\end{aligned} \tag{38}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Total placas (cenário 1 – 3 diâmetros)} \\
& = N^{\circ} \text{ placas com Menor (cenário 1)} \\
& + N^{\circ} \text{ placas restantes (a)(cenário 1)} \\
& + N^{\circ} \text{ placas restantes (b) (cenário 1)}
\end{aligned} \tag{39}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Total placas (cenário 2 – 3 diâmetros)} \\
& = N^{\circ} \text{ placas D1 (cenário 2) + } N^{\circ} \text{ placas D2 (cenário 2)} \\
& + N^{\circ} \text{ placas D3 (cenário 2)}
\end{aligned} \tag{40}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Total placas (cenário 3 – 3 diâmetros)} \\
& = N^{\circ} \text{ placas D1 (cenário 3) + } N^{\circ} \text{ placas D2 (cenário 3)} \\
& + N^{\circ} \text{ placas D3 (cenário 3)}
\end{aligned} \tag{41}$$

Cenário 1 (3 Diâmetros - software)									
Diâmetro Quant. Menor	Nº discos D1 p/ placa	Nº discos D2 p/placa	Nº discos D3 p/placa	Nº placas c/ Menor	Nº discos c/ D1 (1 diâmetro p/placa)	Nº discos c/ D2 (1 diâmetro p/placa)	Nº discos c/ D3 (1 diâmetro p/placa)	Nº placas restantes (a)	Nº placas restantes (b)
Quant. Diâmetro 1	23	4	3	87	38	16	14	41	25

Cenário 2 (1 Diâmetro p/ placa - software)		
Nº placas D1	Nº placas D2	Nº placas D3
53	63	43

Cenário 3 (1 Diâmetro Prensa)					
Nº discos p/ placa c/ D1	Nº discos p/ placa c/ D2	Nº discos p/ placa c/ D3	Nº placas D1	Nº placas D2	Nº placas D3
34	16	12	59	63	50

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Resultado final Cenário 1	Resultado			Poupança (placas)	Preço placa (€)	Poupança (€)
				Nº placas	Nº placas	Nº placas			
153	159	172	Cenário 1	87	43	25	19	19	570
				Diâmetros	Diâmetros	Diâmetros			
				23 Discos de Diâmetro 76, 4 Discos de Diâmetro 113 e 3 Discos de Diâmetro 123	16 Discos de Diâmetro 113	14 Discos de Diâmetro 123			

Figura 77 - Exemplo dos resultados dos vários cenários para o cálculo com três diâmetros

De uma forma geral, a utilização do *software* de *nesting*, para a criação das várias combinações, assim como para a otimização do corte de apenas um diâmetro por placa, foi benéfico e trouxe melhorias em termos de desperdício e eficiência de corte, que são passíveis de comprovar e verificar com a comparação feita no programa de MS Excel® criado.

Infelizmente, não foi possível obter valores concretos das poupanças mensais relativamente a matéria-prima com a implementação desta aplicação, devido ao facto de a máquina de corte por jato de água (única máquina, onde era possível cortar estas combinações) ter tido vários períodos de manutenção prolongada.

3.9 Análise crítica dos resultados

Após a criação das combinações e posterior otimização através da utilização do *software* de *nesting*, foi possível verificar que é possível a obtenção de taxas de aproveitamento das placas, bastante superiores às existentes.

A conjugação de diferentes diâmetros também é um fator muito importante para conseguir valores de eficiência de corte superiores, uma vez que se torna possível o preenchimento das placas em áreas que não seriam aproveitadas com a utilização de apenas um diâmetro. Além dos diferentes diâmetros, a conjugação de discos de pequenas dimensões, como é o caso do disco de 76 mm, uma vez que também é dos discos mais produzidos, é também um ponto crucial para que se consiga obter a melhor eficiência de corte possível.

A conjugação de diâmetros, através das combinações criadas a partir dos valores produzidos em 2019, permite também conseguir produzir várias ordens de produção ao mesmo tempo, o que melhora a produtividade, diminuindo o tempo de produção de

cada ordem de fabrico. Contudo não foi possível fazer esta quantificação devido aos períodos de manutenção da máquina.

A criação da aplicação com a comparação dos vários cenários, permite também perceber, se possivelmente é mais benéfico para a conjugação de diâmetros e quantidades pretendidas, a utilização de planos de corte otimizados pelo *software*, com apenas 1 diâmetro, referidos como cenário 2.

A eficiência é calculada dividindo a área total de discos (de um determinado diâmetro) passíveis de cortar numa placa, pela área total da placa, pelo que o ganho de eficiência com a utilização do *NESTFAB* (1 diâmetro por placa ou combinações), foi calculada pela diferença entre esta eficiência e a eficiência conseguida com o corte em prensa manual, conforme demonstrado na equação (42).

Ganho Eficiência

$$= \text{Eficiência conseguida com a utilização do NESTFAB} \quad (42) \\ - \text{Eficiência obtida pelo corte em prensa manual}$$

A Tabela 22, demonstra o ganho obtido entre o corte em prensa manual e a otimização realizada com apenas um diâmetro, e quando possível a adição de discos de 76 mm, na placa de 558 mm, onde se verificam ganhos entre os 4 e os 10%.

Tabela 22 - Ganho de eficiência conseguido com a utilização do *software* para a placa de 558 mm

Placa 558 mm			
Diâmetro (mm)	Eficiência (prensa)	Eficiência (software)	Ganho de eficiência (software - prensa)
76	64%	72%	8%
100	66%	71%	5%
113	67%	72%	5%
123	64%	72%	8%
150	69%	73%	4%
180	68%	78%	10%
200	65%	74%	9%

Relativamente à placa de 508 mm, os ganhos de eficiência obtidos por comparação entre o corte em prensa e a otimização realizada para o corte de apenas um diâmetro

por placa no *NESTFAB*, localizam-se entre os 4 e os 12 %, conforme se verifica na Tabela 23.

Tabela 23 - Ganho de eficiência conseguido com a utilização do *software* para a placa de 508 mm

Placa 508 mm			
Diâmetro (mm)	Eficiência (prensa)	Eficiência (software)	Ganho de eficiência (software - prensa)
76	61%	68%	7%
100	56%	68%	12%
113	63%	67%	4%
123	56%	67%	11%
150	67%	70%	4%
200	64%	71%	7%

Os ganhos de eficiência obtidos por comparação entre o corte em prensa e a otimização realizada para o corte de apenas um diâmetro por placa no *NESTFAB*, para a placa de 431 mm, localizam-se entre os 3 e os 15%. conforme demonstrado na Tabela 24.

Tabela 24 - Ganho de eficiência conseguido com a utilização do *software* para a placa de 431 mm

Placa 431 mm			
Diâmetro (mm)	Eficiência (prensa)	Eficiência (software)	Ganho de eficiência (software - prensa)
76	60%	65%	5%
100	52%	61%	9%
113	55%	68%	13%
123	52%	67%	15%
150	64%	69%	5%
200	69%	72%	3%

Em relação às combinações criadas com dois diâmetros, é possível verificar que os valores de eficiência estão praticamente todos acima dos 70%, com exceção das primeiras combinações com a placa de 431 mm, o que por si só já reflete a melhoria conseguida, uma vez que com a utilização dos padrões de corte anteriores, em nenhuma placa era possível obter eficiências de corte deste nível de grandeza.

Tabela 25 - Eficiências conseguidas nas várias combinações com 2 diâmetros

Placa 558 mm - 2 diâmetros		Placa 508 mm - 2 diâmetros		Placa 431 mm - 2 diâmetros	
Combinação	Eficiência	Combinação	Eficiência	Combinação	Eficiência
1	74%	1	70%	1	66%
2	73%	2	71%	2	67%
3	73%	3	70%	3	65%
4	74%	4	71%	4	70%
5	72%	5	71%	5	70%
6	73%	6	72%	6	70%
7	72%	-	-	-	-
8	74%	-	-	-	-
9	72%	-	-	-	-
10	75%	-	-	-	-

O cenário das combinações com três diâmetros também foi bem conseguido, uma vez que tal como para o anterior, quase todas as combinações apresentam valores de eficiência superiores a 70%, o que permite ganhos bastante consideráveis por comparação aos níveis de eficiência da prensa manual.

Tabela 26 - Eficiências conseguidas nas várias combinações com 3 diâmetros

Placa 558 mm - 3 diâmetros		Placa 508 mm - 3 diâmetros		Placa 431 mm - 3 diâmetros	
Combinação	Eficiência	Combinação	Eficiência	Combinação	Eficiência
11	75%	7	71%	7	68%
12	76%	8	71%	8	68%
13	74%	9	70%	9	69%
14	75%	10	72%	10	70%
15	75%	-	-	-	-
16	77%	-	-	-	-
17	73%	-	-	-	-
18	73%	-	-	-	-
19	73%	-	-	-	-
20	74%	-	-	-	-

Foi possível verificar que o objetivo de aumentar a eficiência de corte em 10%, com a criação das várias combinações de dois e três diâmetros, foi conseguido, em termos gerais, de uma forma positiva, uma vez que praticamente todas as eficiências de corte das várias combinações para cada uma das três placas, estão acima dos 70%, e por comparação os valores de eficiência conseguidos na prensa manual, rondam apenas os

60%. A Tabela 27, representa as médias das eficiências utilizando as combinações criadas e o corte em prensa manual, onde se verifica que, em termos médios os ganhos das eficiências foram bem conseguidos uma vez que estão bastante próximos dos 10%, sendo que para a placa de 508 mm esse valor foi de facto conseguido.

Tabela 27 - Comparação das médias das eficiências entre as combinações criadas e o corte em prensa

Placa 558 mm		Placa 508 mm		Placa 431 mm	
Média eficiência (combinações)	Média eficiência (prensa)	Média eficiência (combinações)	Média eficiência (prensa)	Média eficiência (combinações)	Média eficiência (prensa)
74%	66%	71%	61%	68%	59%
Ganho=74 – 66 = 8%		Ganho= 71 – 61 = 10%		Ganho =68 – 59 = 9%	

Além das combinações de dois e três diâmetros, também foi possível, com a utilização do software, obter eficiências bastante mais favoráveis no corte de placas com apenas um diâmetro conforme demonstrado na Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24 na coluna ganho de eficiência.

Estes aumentos da eficiência de corte são bastante importantes, uma vez que permitem obter benefícios em vários sentidos, desde logo a diminuição do desperdício gerado e por consequência a diminuição dos custos associados à compra de matéria-prima, apresenta também benefícios ambientais, uma vez que são descartados menos resíduos, além da melhoria da produtividade, uma vez que a máquina trabalha de forma automática, sendo apenas necessário que o operador abasteça as placas a cortar.

Em relação aos custos ambientais, foi possível de uma forma geral diminuir a percentagem de material descartado (placas) de 40 % (foi considerada a eficiência do corte em prensa cerca de 60%, em termos médios) para 30% (foi considerada a eficiência do corte com as combinações de 70%, em termos médios). Sabendo que as placas correspondem a 60% do total de material descartado, significa que em 2019 foram descartados 99 864 kg de placas, que com a melhoria de 10%, permitiu um decréscimo para 74 898 kg, isto é, houve uma poupança de 24 966 kg, o que totaliza, uma poupança de 2 457€ anuais, conforme representado na Tabela 28.

Tabela 28 - Poupança anual de material enviado para aterro

2019		2020	
Quantidade descartada (kg)	Custo (€)	Quantidade descartada (kg)	Custo (€)
99 864	9 828	74 898	7 371
Poupança conseguida (kg) = 99 864 – 74 898 = 24 966 kg			
Poupança conseguida (€) = 9 828 – 7 371 = 2 457€			

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Com a realização deste relatório, foi possível analisar e estudar todo o processo de corte dos diferentes tipos de abrasivos existentes, uma vez que a Saint-Gobain, Lda., apenas realiza a conversão/transformação de produtos abrasivos revestidos e não tecidos.

Durante a análise e o estudo dos diferentes processos de corte, para a criação do ficheiro do relatório de desperdício, foi possível verificar que para uma família de produto em específico, o “esqueleto” de material descartado era elevado e seria passível de melhoria.

Posto isto, após a realização do relatório de desperdício, em MS Excel®, que permite fazer a distinção entre o desperdício técnico e produtivo gerado por ordem de produção, foi possível verificar que a família de discos de *non woven* (CBXDISC (DIR) e UNW), cortados a partir de placas, era de facto a família com desperdício técnico anual mais elevado, ultrapassando o 1 milhão de euros.

Após esta constatação, foi realizado um estudo das quantidades de discos produzidos anualmente nesta família, e criado um conjunto de combinações de corte com dois e três diâmetros, para cada uma das três placas, que foram otimizadas com a utilização de *software* de *nesting*, de forma a conseguir inserir o número máximo de discos por placa de determinada combinação.

Posteriormente, foi criada uma pequena aplicação em MS Excel®, que permite identificar o melhor cenário a utilizar, assim como a poupança conseguida comparativamente com o processo de corte na prensa manual, mediante a inserção dos diâmetros a cortar (combinações de dois ou de três) e as respetivas quantidades, assim como a placa a utilizar.

Foi possível perceber que os problemas de *nesting* são de uma forma geral bastante complexos, e são necessários vários modelos matemáticos e diferentes heurísticas que possuem várias restrições e têm que obedecer a vários critérios, mediante o objetivo requerido como, por exemplo, a impossibilidade de sobreposição de peças.

Conclui-se, que a eficiência de corte conseguida com a criação das combinações otimizadas pelo *software* de *nesting*, foi bastante superior à existente no corte em

prensa manual, tendo-se obtido valores acima dos 70% em praticamente todas elas. Além das combinações, foi possível também aumentar a eficiência de corte com apenas um tipo diâmetro por placa, conseguindo ganhos bastante favoráveis, comparativamente com os existentes.

Comprovou-se que foi possível, em termos gerais, cumprir o objetivo de aumentar a eficiência de corte em 10%, com a criação das combinações de dois e três diâmetros otimizados pelo *NESTFAB*, uma vez que foram obtidas eficiências acima dos 70%, comparativamente com as eficiências obtidas pelo corte em prensa manual, que se localizavam em torno dos 60%. Em termos médios as eficiências conseguidas com a criação das combinações, para cada uma das placas originou um ganho entre 8 e 10% (tendo sido de 10% para a placa de 508 mm), comparativamente com a eficiência obtida pelo corte em prensa manual, pelo que o objetivo foi bem conseguido.

Contudo não foi possível obter os valores de poupança de matéria-prima, com a implementação das combinações, devido aos longos períodos de manutenção da máquina de corte por jato de água.

Em termos ambientais foi também possível diminuir a quantidade enviada para aterro, em termos médios, de 40% para 30%, isto é, foram enviados menos 24 966 kg de material para aterro, o que se traduziu numa poupança de 2457€ anuais.

Constatou-se, que a otimização de qualquer processo de corte é de extrema importância para qualquer indústria, uma vez que permite gerar benefícios a vários níveis, nomeadamente a redução do desperdício, a diminuição dos custos com matéria-prima, a melhoria da produtividade e muito importante a questão ambiental, com menos material descartado.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Nesta dissertação foram criadas várias combinações para o corte de discos nas placas *non woven* para que sejam utilizadas na produção, pelo que uma das propostas de trabalhos futuros passaria pela integração, no relatório de desperdício, dos novos cálculos das combinações criadas, uma vez que os cálculos do desperdício mensal são realizados através das quantidades máximas de discos cortados da prensa manual, e de alguma forma diferenciar as ordens produzidas pela prensa manual, das produzidos na *waterjet*.

Outra proposta de melhoria seria a uniformização de todos os cortantes utilizados na prensa manual, para que se consiga fazer os aproveitamentos das placas (quando aplicável), da primeira vez que são cortadas, em vez de regressarem ao armazém para que se voltem a utilizar posteriormente quando for necessário cortar os discos de

menores dimensões, evitando assim perdas de tempo de transporte de matéria-prima, aumento do espaço no armazém, assim como aumento de produtividade.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] Saint-GobainAbrasivos. (2018). Obtido: https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0xd2467bdf8bcd077%3A0xcd1d459569afe381!3m1!7e115!4s%2Fmaps%2Fplace%2Fsaint%2Bgobain%2Babrasivos%2Bmaia%2F%4041.2573775%2C-8.6319651%2C3a%2C75y%2C260.98h%2C90t%2Fdata%3D*213m4*211e1*213m2*211s7-StJlIQzCoQmwIMSPUfSQ*212e0*214m2*213m1*211s0xd2467bdf8bcd077%3A0xcd1d459569afe381%3Fsa%3DX!5ssaint%20gobain%20abrasivos%20maia%20-%20Pesquisa%20Google!15sCgIQAQ&imagekey=!1e10!2sAF1QipOnkrBwOpnrAD43lwoyWQdXVYXPiTUL-9uf8SBp&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjVu4P2n7PuAhWWDmMBHRKxDt0Qpx8wCnoECBQQCA&cshid=1611445965312248#
- [2] A. Celikkaya, J. A. Scherger, and V. M. Wald, "Abrasive grain, method of making same and abrasive products," 1993.
- [3] L. L. Peterson, "Coated abrasive article," 1997.
- [4] S.-G. A. PT. (2020). *Tipos Abrasivos*. Obtido: <https://www.saint-gobain-abrasives.com/pt-pt/os-nossos-produtos>
- [5] S. Ramanath, K. A. Saucier, and R. Upadhyay, "Bonded abrasive article and method of forming," ed: Google Patents, 2014.
- [6] D. E. SIMON. (2001). *How To Choose and Use Non-Woven Abrasives*. Obtido: <https://www.pfonline.com/articles/how-to-choose-and-use-non-woven-abrasives>
- [7] Grandviewresearch. (2020). *Abrasive Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Coated, Bonded), By Application (Automotive & Transportation, Metal Fabrication), By Region (Asia Pacific, Europe), And Segment Forecasts, 2020 - 2027*. Obtido: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/abrasives-market>
- [8] Saint-Gobain. (2020). *MA88 Monocrystalline Alumina Grains*. Obtido: <https://www.abrasivematerials.saint-gobain.com/products/aluminum-oxide/ma88>
- [9] S. Fiven. (2019). *Silicon Carbide for Abrasive*. Obtido: <https://www.fiven.com/pt/produtos/sikar-abrasives/>
- [10] Saint-Gobain. (2020). *Norzon NV Alumina Zirconia Grains*. Obtido: <https://www.abrasivematerials.saint-gobain.com/products/alumina-zirconia/norzon-nv>

- [11] Saint-Gobain. (2020). *CERPASS XTL Abrasive Grains*. Obtido: <https://www.abrasivematerials.saint-gobain.com/products/cerpass-ceramic-grain/xtl>
- [12] Klingspor. (2019). *Grain Types*. Obtido: <https://www.klingspor.co.za/lowdown-on-grinding/grain-types>
- [13] Saint-Gobain. (2020). *norton_industrial_2017_catalogue*. Obtido: https://www.saint-gobain-abrasives.com/sga-common/files/document/norton_industrial_2017_catalogue_cluster_4.pdf
- [14] S. Abrasives. (2020). *Sia Abrasives - Abrasive structure*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-us/expertise/types-of-abrasives/coated-abrasives/structure>
- [15] R. G. Kelly and G. J. Kardys, "Abrasive products," 1996.
- [16] K. P. Tech). (2019). *KLINGSPOR COATED ABRASIVES GUIDE*. Obtido: <https://www.pfe.tech/klingspor-coated-abrasive-guide/#specialcoatings>
- [17] W. F. McCutcheon, C. Caracostas, R. Bauer, G. M. Bosak, and G. J. Kardys, "Abrasive products," 1999.
- [18] U. EPA. (2020). *Abrasives Manufacturing*. Obtido: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s31.pdf>
- [19] S. Abrasives. (2020). *Sia Abrasives - Production*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-us/expertise/types-of-abrasives/coated-abrasives/production>
- [20] S. Abrasives. (2020). *Grit Coating Method*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-us/expertise/types-of-abrasives/coated-abrasives/grit-coating-method>
- [21] W. Abrasives. (2019). *About Abrasives*. Obtido: <http://www.wingsabrasives.com/en/about-abrasives>
- [22] Klingspor. (2019). *Flexing*. Obtido: <https://www.klingspor.ae/lowdown-on-grinding/flexing>
- [23] S.-G. R. N. America. (2020). *Abrasives*. Obtido: <https://sgr-northamerica.saint-gobain.com/content/abrasives>
- [24] M. A. Lukowski, "Bonded abrasive articles and methods of manufacture," 2019.
- [25] S. Abrasives. (2020). *Bonded Abrasives*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-us/expertise/types-of-abrasives/bonded-abrasives>
- [26] L. A. Carman, W. S. Coblenz, and J. L. Hammarstrom, "Self-bonded ceramic abrasive wheels," 1992.
- [27] C. P. Armstrong *et al.*, "Manufacture of a metal bonded abrasive product," 1999.
- [28] G. Huzinec, "Method for making vitreous bonded abrasive article and article made by the method," 1993.

- [29] S. Abrasives. (2020). *Fleece abrasives*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-gb/expertise/types-of-abrasives/fleece-abrasives>
- [30] G. M. Pollaud, S. Maljean, C. M. Rivera, and E. C. Gomez, "Method of manufacturing nonwoven abrasive articles using dry particulate material," 2004.
- [31] L. M. O'gary *et al.*, "Nonwoven abrasive articles and methods," 2008.
- [32] S. Abrasives. (2020). *Production of nonwoven abrasives*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-gb/expertise/types-of-abrasives/fleece-abrasives/fleece>
- [33] S. Abrasives. (2020). *Manufacture of Surface Conditioning Materials (SCM)*. Obtido: <https://www.siaabrasives.com/en-gb/expertise/types-of-abrasives/fleece-abrasives/scm>
- [34] A. Elkeran, "A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering," *European Journal of Operational Research*, vol. 231, no. 3, pp. 757-769, 2013.
- [35] A. R. Babu and N. R. Babu, "A generic approach for nesting of 2-D parts in 2-D sheets using genetic and heuristic algorithms," *Computer-Aided Design*, vol. 33, no. 12, pp. 879-891, 2001.
- [36] A. M. Gomes and J. F. Oliveira, "A 2-exchange heuristic for nesting problems," *European Journal of Operational Research*, vol. 141, no. 2, pp. 359-370, 2002.
- [37] M. A. Carravilla, C. Ribeiro, and J. F. Oliveira, "Solving nesting problems with non-convex polygons by constraint logic programming," *International Transactions in Operational Research*, vol. 10, no. 6, pp. 651-663, 2003.
- [38] P. Brás, C. Alves, J. V. de Carvalho, and T. Pinto, "Exploring new constructive algorithms for the leather nesting problem in the automotive industry," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 43, no. 17, pp. 225-230, 2010.
- [39] E. Lutters, D. ten Dam, and T. Faneker, "3D Nesting of Complex Shapes," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 26-31, 2012/01/01/ 2012.
- [40] B. A. Junior, P. R. Pinheiro, and R. D. Saraiva, "A hybrid methodology for nesting irregular shapes: Case study on a textile industry," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 24, pp. 15-20, 2013.
- [41] V. Canellidis, J. Giannatsis, and V. Dedoussis, "Efficient parts nesting schemes for improving stereolithography utilization," *Computer-Aided Design*, vol. 45, no. 5, pp. 875-886, 2013.
- [42] R. Baldacci, M. A. Boschetti, M. Ganovelli, and V. Maniezzo, "Algorithms for nesting with defects," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 163, pp. 17-33, 2014.
- [43] I. Litvinchev and E. Ozuna, "Approximate packing circles in a rectangular container: valid inequalities and nesting," *Journal of applied research and technology*, vol. 12, no. 4, pp. 716-723, 2014.
- [44] P. Rocha, R. Rodrigues, A. M. Gomes, F. M. Toledo, and M. Andretta, "Circle covering representation for nesting problems with continuous rotations," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 5235-5240, 2014.

- [45] A. Siasos and G.-C. Vosniakos, "Optimal directional nesting of planar profiles on fabric bands for composites manufacturing," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 283-297, 2014.
- [46] P. Rocha, R. Rodrigues, A. M. Gomes, F. M. Toledo, and M. Andretta, "Two-Phase Approach to the Nesting problem with continuous rotations," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 501-506, 2015.
- [47] K. V. Anand and A. R. Babu, "Heuristic and genetic approach for nesting of two-dimensional rectangular shaped parts with common cutting edge concept for laser cutting and profile blanking processes," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 80, pp. 111-124, 2015.
- [48] L. R. Mundim, M. Andretta, and T. A. de Queiroz, "A biased random key genetic algorithm for open dimension nesting problems using no-fit raster," *Expert Systems with Applications*, vol. 81, pp. 358-371, 2017.
- [49] FEPA. (2020). *Environment*. Obtido: <https://fepa-abrasives.org/environment/>
- [50] A. P. d. Ambiente. (2017). *Guia de Classificação de Resíduos*. Obtido: https://www.apambiente.pt/_zdata/Politicar/Residuos/Classificacao/Manual%20de%20Classificacao%20de%20resduos_20170113.pdf
- [51] A. El-Domiaty, M. Shabara, A. Abdel-Rahman, and A. Al-Sabeeh, "On the modelling of abrasive waterjet cutting," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 255-265, 1996.
- [52] OMAX. (2021). *OMAX PRECISION JETMACHINING CENTER* Obtido: <https://www.omax.com/omax-waterjet/5555>
- [53] Scan2CAD. (2017). *Nesting – Everything You Need to Know*. Obtido: <https://www.scan2cad.com/cnc/everything-about-nesting/>
- [54] E. S. L.-. Site. (2015). *NESTFAB*. Obtido: <https://www.nestfab.com/>
- [55] E. S. Limited, "NESTFAB," ed, 2015.

ANEXOS

6.1 ANEXO A - SIMULAÇÕES *NESTFAB* - PLACA: 558X533 MM

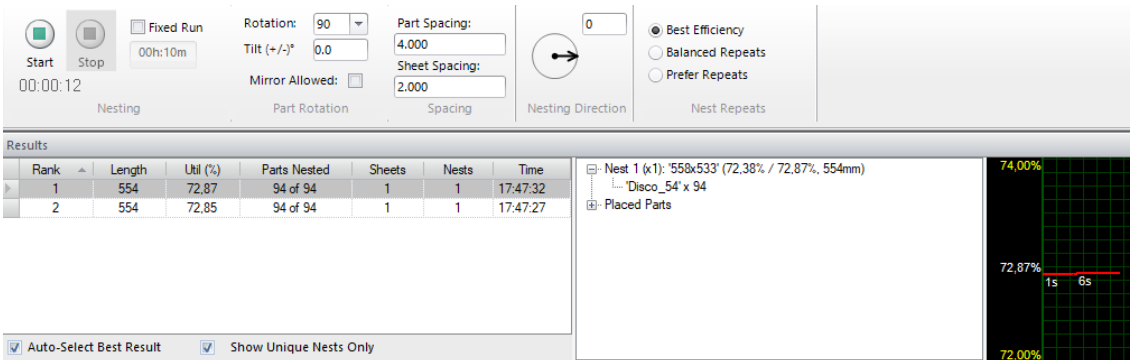
6.2 ANEXO B - SIMULAÇÕES *NESTFAB* - PLACA: 508X508 MM

6.3 ANEXO C - SIMULAÇÕES *NESTFAB* - PLACA: 431X431 MM

6 ANEXOS

6.1 ANEXO A - Simulações NESTFAB - Placa: 558x533 mm

Discos 54

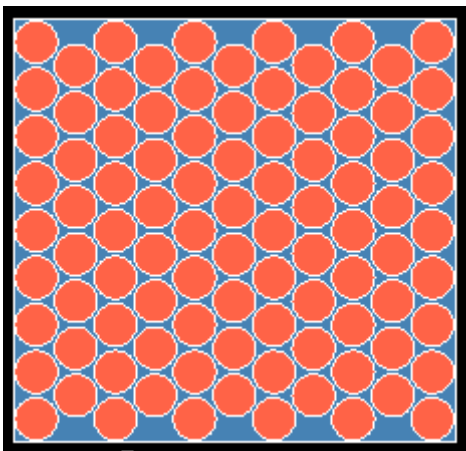


The screenshot displays the NESTFAB software interface. The top section contains control buttons for 'Start' and 'Stop', a 'Fixed Run' checkbox, and a timer showing '00h:10m'. Below these are settings for 'Rotation' (90), 'Tilt (+/-)°' (0.0), 'Mirror Allowed' (unchecked), 'Part Spacing' (4.000), 'Sheet Spacing' (2.000), 'Nesting Direction' (0), and 'Nest Repeats' (Best Efficiency selected). The 'Results' section features a table with the following data:

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	72.87	94 of 94	1	1	17:47:32
2	554	72.85	94 of 94	1	1	17:47:27

To the right of the table, a tree view shows 'Nest 1 (x1): '558x533' (72.38% / 72.87%, 554mm)' and 'Disco_54' x 94'. A 'Placed Parts' section is also visible. A small grid visualization on the right shows utilization levels from 72.00% to 74.00%.

At the bottom, there are checkboxes for 'Auto-Select Best Result' and 'Show Unique Nests Only'.



Discos 76

Fixed Run
 00h:10m
 00:00:06

Nesting Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
 Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
 Mirror Allowed:

Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats

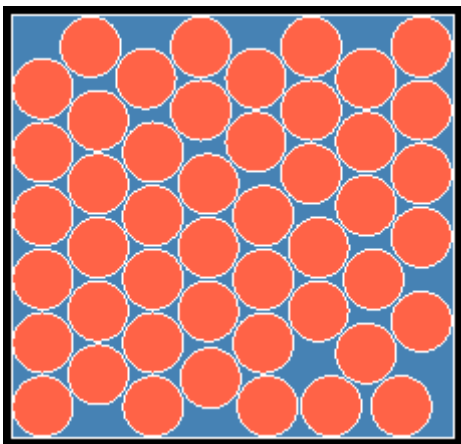
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	72.25	47 of 47	1	1	17:54:21

Nest 1 (x1): '558x533' (71.69% / 72.25%, 554mm)
 Disco_76 x 47
 Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

74.00%
72.25%
0s
72.00%



Discos 100

Fixed Run
 00h:10m
 00:00:07

Nesting Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
 Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
 Mirror Allowed:

Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats

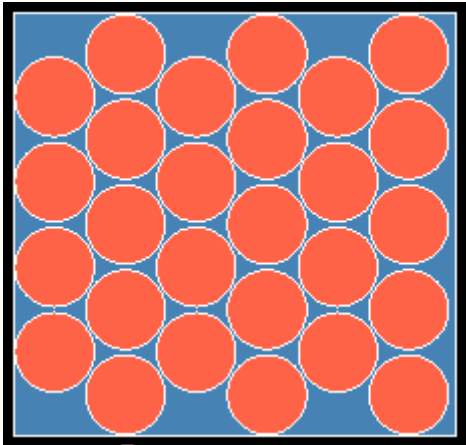
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	548	72.66	27 of 27	1	1	19:17:44

Nest 1 (x1): '558x533' (71.30% / 72.66%, 548mm)
 Disco_100 x 27
 Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

74.00%
72.66%
1s
72.00%



Discos 113 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotations: 90 Tilt (+/-): 0.0 Mirror Allowed:

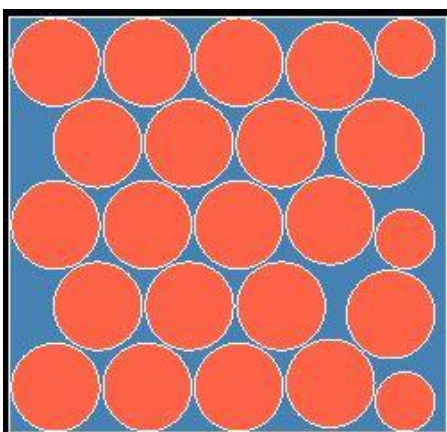
Part Spacing: 4.0 Sheet Spacing: 2.0 Spacing

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	543	74,00	23 of 23	1	1	10:29:40
2	543	74,00	23 of 23	1	1	10:29:39
3	673	59,71	23 of 23	2	2	10:29:38

Nest 1 (x1): '558x533' (72,02% / 74,00%, 543mm)
 Disco_76' x 3
 Disco_113' x 20
 Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m
00:00:05 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed:

0 Nesting Direction Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats Nest Repeats

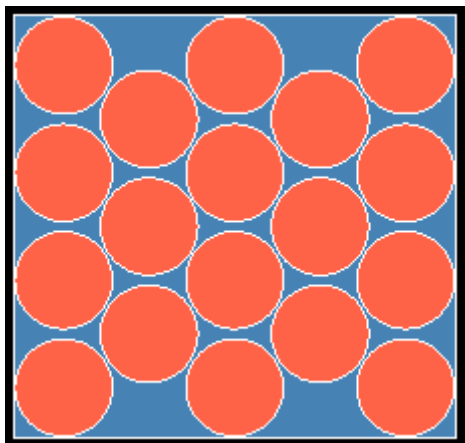
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	555	72.31	18 of 18	1	1	19:28:38
2	683	58.75	18 of 18	2	2	19:28:38

Nest 1 (x1): '558x533' (71,91% / 72,31%, 555mm)
Disco_123' x 18
Placed Parts

74.00%
72.31%
1s
58.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos de 150 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m
00:00:10 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.0 Sheet Spacing: 2.0 Mirror Allowed:

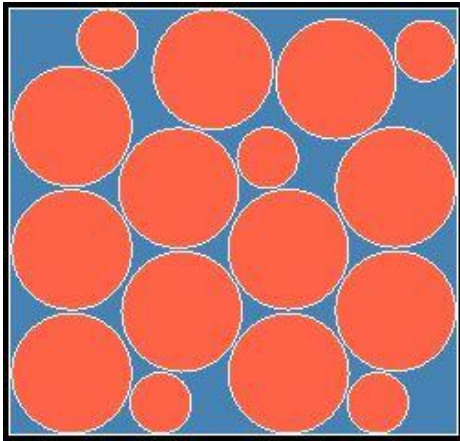
0 Nesting Direction Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats Nest Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	73.25	16 of 16	1	1	10:47:41
2	556	73.25	16 of 16	1	1	10:47:40
3	636	64.03	16 of 16	2	2	10:47:34
4	710	57.36	16 of 16	2	2	10:47:33
5	710	57.36	16 of 16	2	2	10:47:32
6	710	57.36	16 of 16	2	2	10:47:31

Nest 1 (x1): '558x533' (72,99% / 73,25%, 556mm)
Disco_76' x 5
Disco_150' x 11
Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 180 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction Nest Repeats

Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

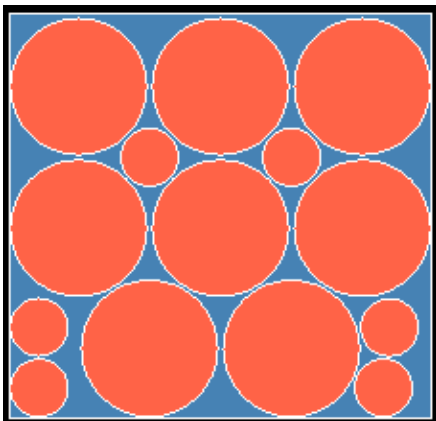
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	77.88	14 of 14	1	1	15:05:44
2	556	77.88	14 of 14	1	1	15:05:40
3	636	68.08	14 of 14	2	2	15:05:35

Results

Nest 1 (x1): '558x533' (77.60% / 77.88%, 556mm)
 'Disco_180' x 8
 'Disco_76' x 6
 Placed Parts

79.00%
77.88%
68.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos de 200 e 76

Fixed Run
 00h:10m
 00:00:03

Rotation: 90
 Tilt (+/-)°: 0.0
 Mirror Allowed:

Part Spacing: 4.000
 Sheet Spacing: 2.000

Nesting Direction: 0

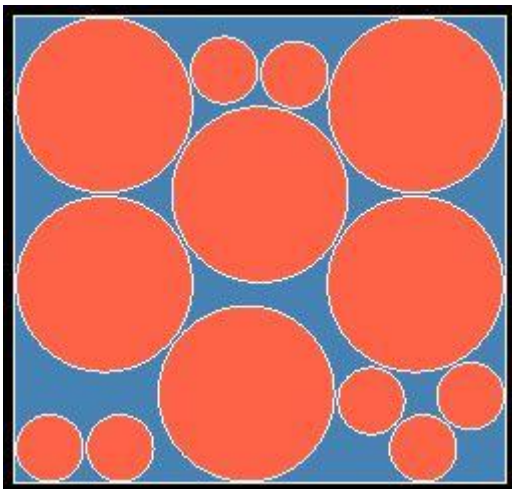
Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	74,32	13 of 13	1	1	12:10:40
2	636	64,97	13 of 13	2	2	12:10:40
3	760	54,37	13 of 13	2	2	12:10:39

Nest 1 (x1): '558x533' (74,06% / 74,32%, 556mm)
 'Disco_200' x 6
 'Disco_76' x 7
 Placed Parts

Auto-Select Best Result
 Show Unique Nests Only



Combinações 2 diâmetros

1. Discos 76 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:10

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed:

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

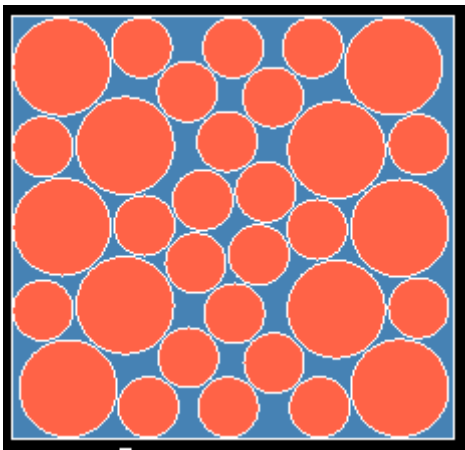
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	550	74,53	32 of 32	1	1	14:47:16
2	636	64,49	32 of 32	2	2	14:47:16

Nest 1 (x1): '550x533' (73,51% / 74,53%, 550mm)
 -- Disco_123' x 10
 -- Disco_76' x 22
 Placed Parts

76,00%
74,53%
64,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



2. Discos de 100 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:01:18

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed:

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

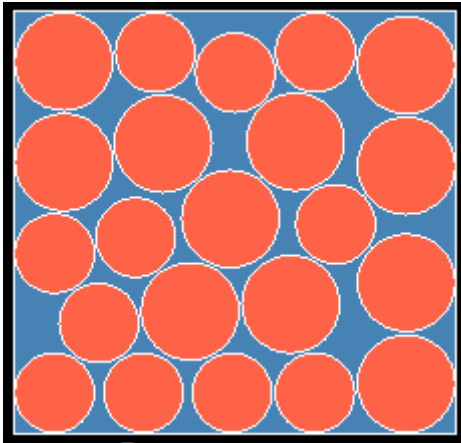
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	73,26	22 of 22	1	1	14:25:34
2	660	61,71	22 of 22	2	2	14:25:00

Nest 1 (x1): '556x533' (73,00% / 73,26%, 556mm)
 -- Disco_123' x 11
 -- Disco_100' x 11
 Placed Parts

75,00%
73,26%
61,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



3. Discos 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:39 Nesting

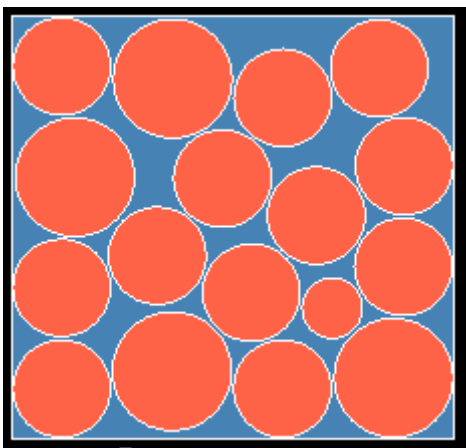
Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Mirror Allowed: Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	73.50	17 of 17	1	1	15:01:32
2	636	64.25	17 of 17	2	2	15:01:31
3	683	59.83	17 of 17	2	2	15:01:01

Results: Nest 1 (x1): '550x533' (73.23% / 73.50%, 556mm)
 --- Disco_150' x 4
 --- Disco_123' x 12
 --- Disco_76' x 1
 Placed Parts

75.00% 73.50% 59.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



4. Discos 113 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Part Spacing: 4.000 Spacing

Sheet Spacing: 2.000

Nesting Direction 0

Best Efficiency
Balanced Repeats
Prefer Repeats Nest Repeats

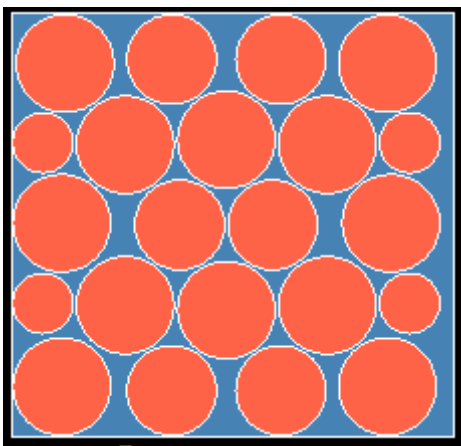
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	539	76,89	22 of 22	1	1	16:23:14
2	545	76,05	22 of 22	1	1	16:23:13
3	545	76,04	22 of 22	1	1	16:23:12
4	556	74,56	22 of 22	1	1	16:23:06
5	636	65,17	22 of 22	2	2	16:23:05

Nest 1 (x1): '558x533' (74.28% / 76.89%, 539mm)
 Disco_76' x 4
 Disco_123' x 12
 Disco_113' x 6
 Placed Parts

78.00%
76.89%
9s
78s
2s
65.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



5. Discos 76 e 100

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Part Spacing: 4.000 Spacing

Sheet Spacing: 2.000

Nesting Direction 0

Best Efficiency
Balanced Repeats
Prefer Repeats Nest Repeats

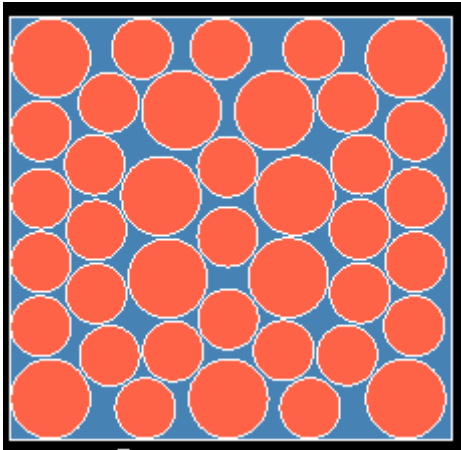
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	549	72,98	39 of 39	1	1	16:32:02
2	636	62,96	39 of 39	2	2	16:31:58

Nest 1 (x1): '558x533' (71.76% / 72.98%, 549mm)
 Disco_100' x 11
 Disco_76' x 28
 Placed Parts

74.00%
72.98%
5s
62.00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



6. Discos de 76 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

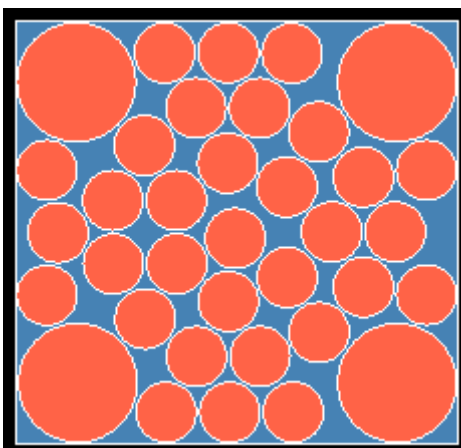
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	555	72.92	36 of 36	1	1	12:28:55
2	636	63.67	36 of 36	2	2	12:28:49

Nest 1 (x1): '558x533' (72.58% / 72.92%, 555mm)
 Disco_150' x 4
 Disco_76' x 32
 Placed Parts

74.00%
72.92%
63.00%
1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



7. Discos de 76 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

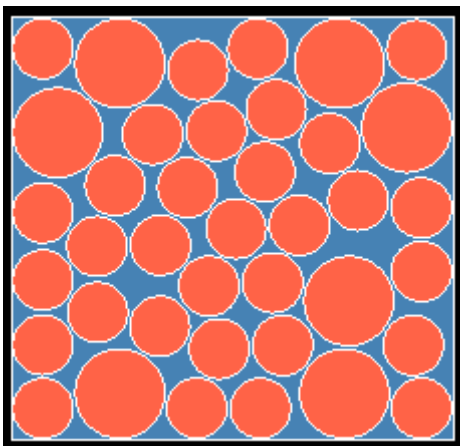
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	72.96	39 of 39	1	1	15:40:02
2	636	63.53	39 of 39	2	2	15:39:18

Nest 1 (x1): '558x533' (72.41% / 72.96%, 554mm)
Disco_76' x 32
Disco_113' x 7
Placed Parts

74.00%
72.96%
63.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



8. Discos 100 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

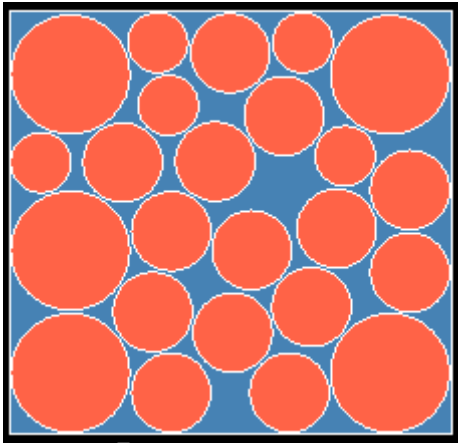
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	74.85	24 of 24	1	1	12:32:57
2	554	74.85	24 of 24	1	1	12:32:51
3	636	65.19	24 of 24	2	2	12:32:50
4	636	65.19	24 of 24	2	2	12:32:49
5	636	65.19	24 of 24	2	2	12:32:48
6	636	65.19	24 of 24	2	2	12:32:48

Nest 1 (x1): '558x533' (74.31% / 74.85%, 554mm)
Disco_150' x 5
Disco_100' x 14
Disco_76' x 5
Placed Parts

76.00%
74.85%
65.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



9. Discos de 100 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:05

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Mirror Allowed: Part Rotation

Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Spacing

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	555	72.67	26 of 26	1	1	13:11:15
2	636	63.41	26 of 26	2	2	13:11:14
3	660	61.11	26 of 26	2	2	13:11:13

Results

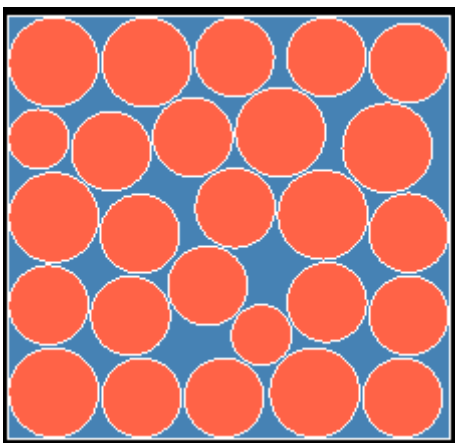
Nest 1 (x1): '558x533' (72.28% / 72.67%, 555mm)

- 'Disco_100' x 16
- 'Disco_113' x 8
- 'Disco_76' x 2

Placed Parts

74.00% 72.67% 3s 2s 61.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



10. Discos de 113 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed:

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Results

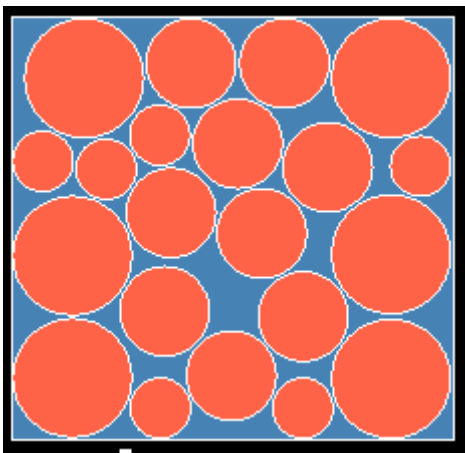
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	553	75,86	21 of 21	1	1	14:16:31
2	636	65,93	21 of 21	2	2	14:16:27
3	636	65,93	21 of 21	2	2	14:16:27
4	673	62,31	21 of 21	2	2	14:16:26

Nest 1 (x1): '558x533' (75,15% / 75,86%, 553mm)
 -- Disco_150' x 6
 -- Disco_76' x 6
 -- Disco_113' x 9
 Placed Parts

77,00%
75,86%

62,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Combinções de 3 discos

11. Discos de 123, 100 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed:

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Results

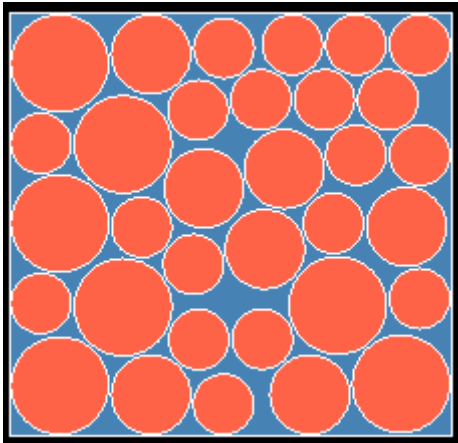
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	75,94	33 of 33	1	1	14:34:09
2	636	66,18	33 of 33	2	2	14:33:23
3	636	66,18	33 of 33	2	2	14:33:22
4	636	66,18	33 of 33	2	2	14:33:21

Nest 1 (x1): '558x533' (75,43% / 75,94%, 554mm)
 -- Disco_123' x 7
 -- Disco_76' x 19
 -- Disco_100' x 7
 Placed Parts

77,00%
75,94%

66,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



12. Discos 123, 76 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000

Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000

Mirror Allowed: Nesting Direction: 0

Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats Nest Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	552	76,57	28 of 28	1	1	16:47:57
2	636	66,43	28 of 28	2	2	16:46:40

Nest 1 (x1): '558x533' (75,72% / 76,57%, 552mm)

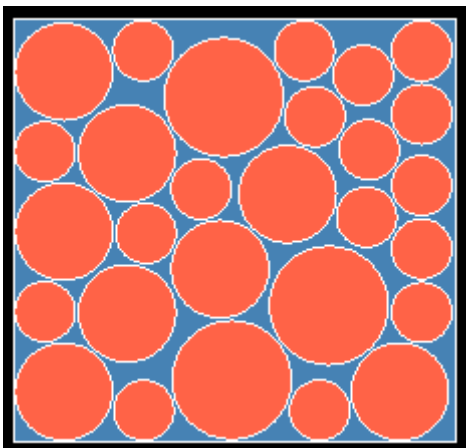
- 'Disco_76' x 17
- 'Disco_123' x 8
- 'Disco_150' x 3

Placed Parts

78,00%
76,57%

66,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



13. Discos 123, 76 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

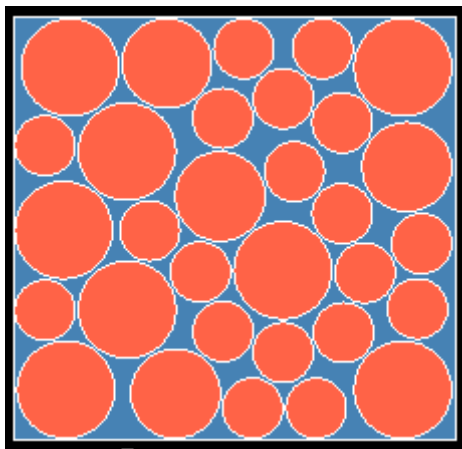
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	552	75.30	31 of 31	1	1	15:39:39
2	636	65.30	31 of 31	2	2	15:39:25
3	636	65.30	31 of 31	2	2	15:39:24

Nest 1 (x1): '558x533' (74.43% / 75.30%, 552mm)
 'Disco_123' x 8
 'Disco_113' x 4
 'Disco_76' x 19
 Placed Parts

77.00% 75.30% 65.00%

155

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



14. Discos 123, 100, 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

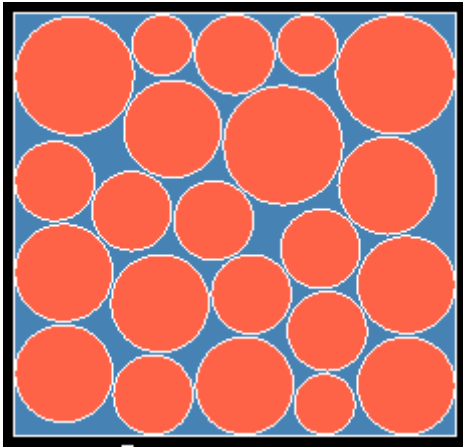
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	75.76	22 of 22	1	1	15:57:07
2	636	66.23	22 of 22	2	2	15:56:40
3	660	63.82	22 of 22	2	2	15:56:40

Nest 1 (x1): '558x533' (75.49% / 75.76%, 556mm)
 'Disco_150' x 3
 'Disco_123' x 8
 'Disco_100' x 8
 'Disco_76' x 3
 Placed Parts

77.00% 75.76% 63.00%

288 15

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



15. Discos 123, 100 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Mirror Allowed:

Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000

Nesting Direction: Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	551	76.12	24 of 24	1	1	16:31:50
2	636	65.93	24 of 24	2	2	16:30:45
3	636	65.93	24 of 24	2	2	16:30:37
4	636	65.93	24 of 24	2	2	16:30:35
5	636	65.93	24 of 24	2	2	16:30:33
6	660	63.53	24 of 24	2	2	16:30:33

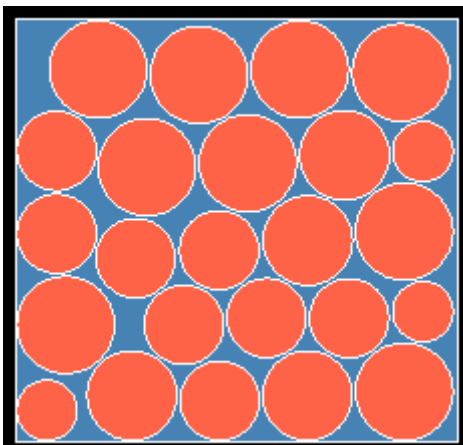
Nest 1 (x1): 550x533 (75.15% / 76.12%, 551mm)

- Disco_123 x 9
- Disco_76 x 3
- Disco_113 x 4
- Disco_100 x 8

Placed Parts

78.00%
76.12%

63.00%



16. Discos de 123, 150 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Spacing

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

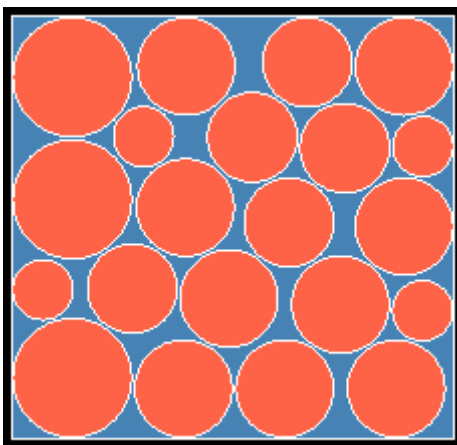
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	556	77.04	21 of 21	1	1	12:26:51
2	636	67.33	21 of 21	2	2	12:26:21
3	673	63.63	21 of 21	2	2	12:26:20

Nest 1 (x1): '558x533' (76.74% / 77.04%, 556mm)
 Disco_123' x 9
 Disco_76' x 4
 Disco_113' x 5
 Disco_150' x 3
 Placed Parts

79.00% 77.04% 63.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



17. Discos 76, 100 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Spacing

Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

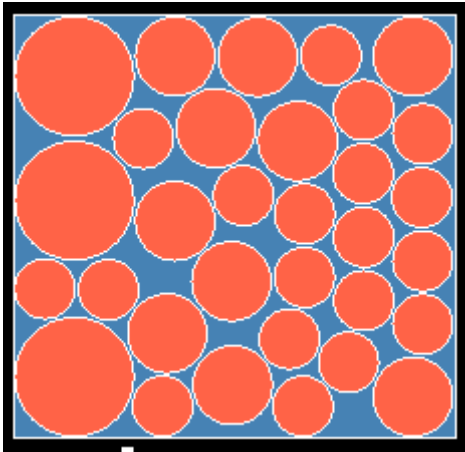
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	553	73.87	32 of 32	1	1	09:43:12
2	636	64.23	32 of 32	2	2	09:43:08

Nest 1 (x1): '558x533' (73.21% / 73.87%, 553mm)
 Disco_100' x 10
 Disco_76' x 19
 Disco_150' x 3
 Placed Parts

75.00% 73.87% 64.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



18. Discos 76, 100 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

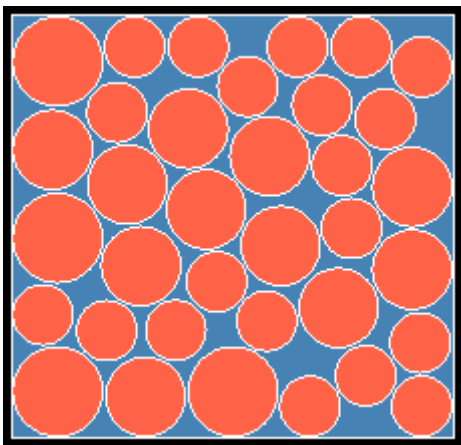
Best Efficiency
Balanced Repeats
Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	554	73,56	35 of 35	1	1	12:43:25
2	636	64,08	35 of 35	2	2	12:42:57

Nest 1 (x1): '558x533' (73.04% / 73.56%, 554mm)
 'Disco_76' x 20
 'Disco_100' x 11
 'Disco_113' x 4
 Placed Parts

75,00%
73,56%
64,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



19. Discos de 76, 150 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

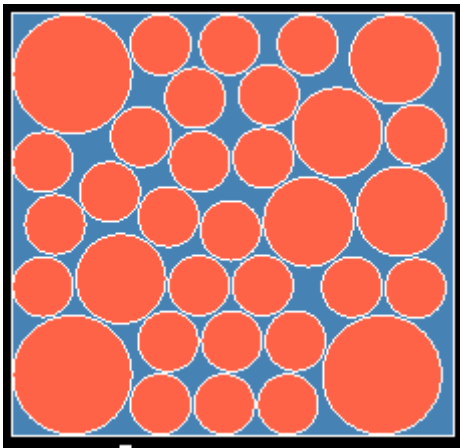
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	547	74.34	33 of 33	1	1	12:51:18
2	636	63.89	33 of 33	2	2	12:51:17

Results

Nest 1 (x1): '558x533' (72.82% / 74.34%, 547mm)
 - 'Disco_76' x 25
 - 'Disco_113' x 5
 - 'Disco_150' x 3
 Placed Parts

76.00% 74.34% 2s
63.00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



20. Discos de 100, 150 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

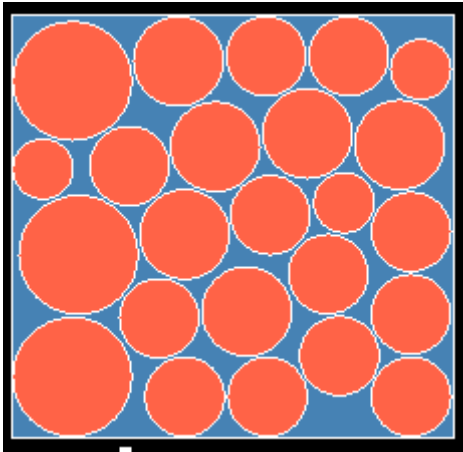
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	553	74.98	24 of 24	1	1	12:59:17
2	636	65.21	24 of 24	2	2	12:59:15

Results

Nest 1 (x1): '558x533' (74.32% / 74.98%, 553mm)
 - 'Disco_100' x 12
 - 'Disco_76' x 3
 - 'Disco_113' x 6
 - 'Disco_150' x 3
 Placed Parts

76.00% 74.98% 3s
65.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



6.2 ANEXO B - Simulações NESTFAB - Placa: 508x508 mm

Discos de 54

Fixed Run
00h:10m
00:00:07
Nesting

Rotation: 90
Tilt (+/-): 0.0
Mirror Allowed:
Part Rotation

Part Spacing: 4.000
Sheet Spacing: 2.000
Spacing

0
Nesting Direction

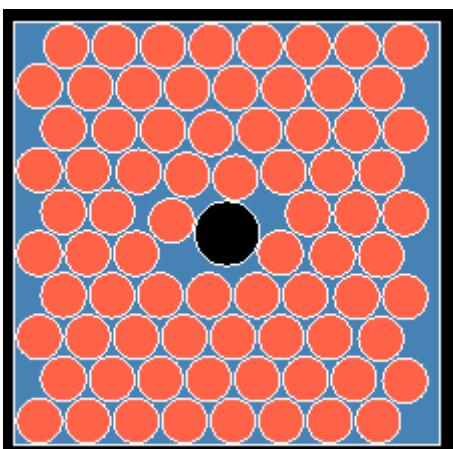
Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats
Nest Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	494	69.31	76 of 76	1	1	11:36:42
2	494	69.31	76 of 76	1	1	11:36:41
3	489	66.40	72 of 76	1	1	11:36:40

Auto-Select Best Result
 Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (68.72% / 70.61%, 494mm)
 Disco_54' x 76
 Placed Parts

71.00%
69.31%
66.00%
1s
1s



Discos 76

Fixed Run 00h:10m

Rotation: 90
 Tilt (+/-): 0.0
 Mirror Allowed:

Part Spacing: 4.000
 Sheet Spacing: 2.000

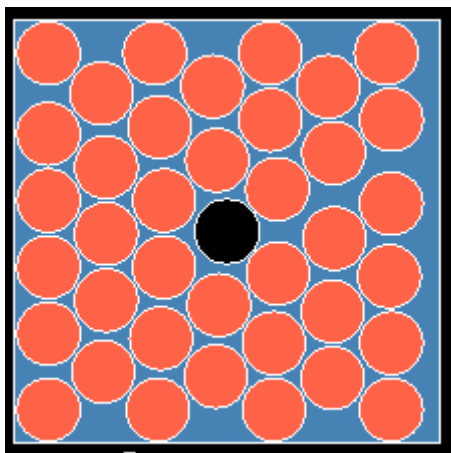
Nesting Direction: 0
 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	489	69.40	38 of 38	1	1	11:40:23
2	489	69.40	38 of 38	1	1	11:40:23

Auto-Select Best Result
 Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (68,06% / 70,71%, 489mm)
 Disco_76 x 38
 Placed Parts

71,00%
69,40%
69,00%



Discos de 100

Fixed Run 00h:10m

Rotation: 90
 Tilt (+/-): 0.0
 Mirror Allowed:

Part Spacing: 4.000
 Sheet Spacing: 2.000

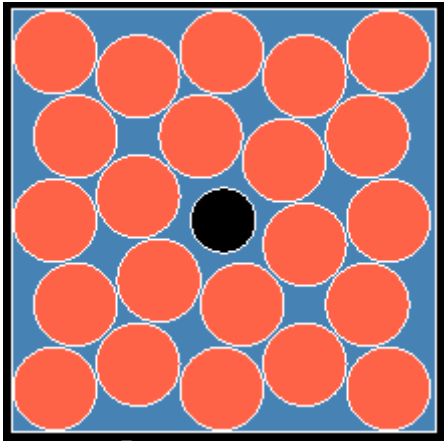
Nesting Direction: 0
 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	502	67.82	22 of 22	1	1	11:42:24
2	502	67.82	22 of 22	1	1	11:42:15
3	502	67.82	22 of 22	1	1	11:42:13
4	610	56.63	22 of 22	2	2	11:42:05

Auto-Select Best Result
 Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (68,22% / 69,10%, 502mm)
 Disco_100 x 22
 Placed Parts

69,00%
67,82%
56,00%



Discos 113 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

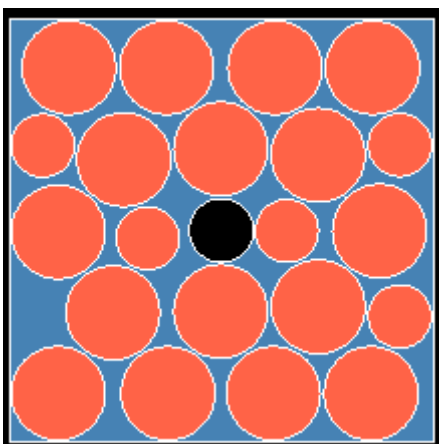
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	506	71.28	21 of 21	1	1	23:34:53
2	586	62.50	21 of 21	2	2	23:34:51
3	586	62.50	21 of 21	2	2	23:34:51
4	586	62.50	21 of 21	2	2	23:34:46
5	623	58.73	21 of 21	2	2	23:34:46

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (72.27% / 72.59%, 506mm)
 Disco_76 x 5
 Disco_113 x 16
 Placed Parts

73.00%
71.28%
58.00%



Discos 123 e 76

Fixed Run
 00h:10m
 00:00:30 Nesting

Rotation: 90
 Tilt (+/-)°: 0.0
 Mirror Allowed: Part Rotation

Part Spacing: 4.000
 Sheet Spacing: 2.000
 Spacing

Nesting Direction: 0

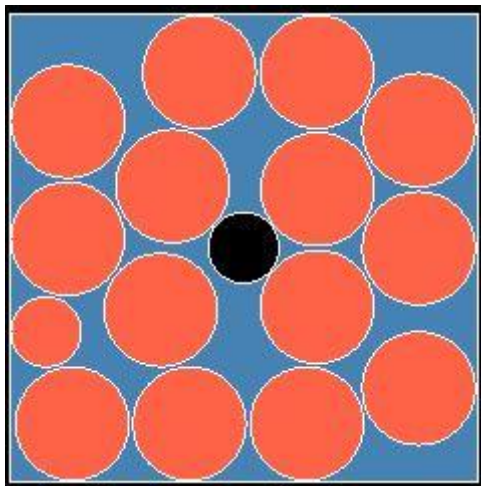
Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats
 Nest Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	505	66,61	15 of 15	1	1	11:24:16
2	586	58,32	15 of 15	2	2	11:24:09
3	633	53,92	15 of 15	2	2	11:24:08
4	633	53,92	15 of 15	2	2	11:24:06

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (67,44% / 67,84%, 505mm)
 Disco_123' x 14
 Disco_76' x 1
 Placed Parts



Discos 150 e 76

Fixed Run
 00h:10m
 00:01:00 Nesting

Rotation: 90
 Tilt (+/-)°: 0.0
 Mirror Allowed: Part Rotation

Part Spacing: 4.000
 Sheet Spacing: 2.000
 Spacing

Nesting Direction: 0

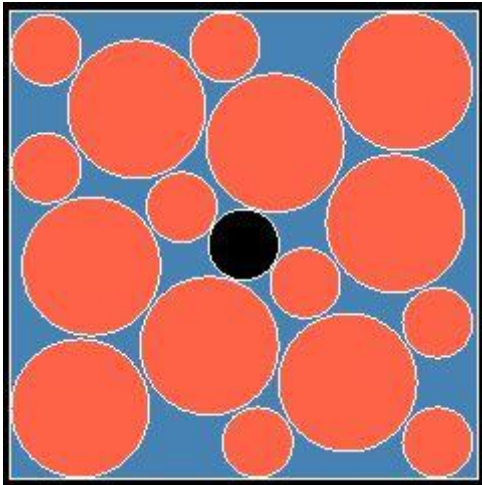
Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats
 Nest Repeats

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	502	69,68	16 of 16	1	1	11:30:31
2	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:52
3	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:46
4	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:39
5	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:39
6	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:38
7	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:37
8	586	60,63	16 of 16	2	2	11:29:36

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70,11% / 70,96%, 502mm)
 Disco_150' x 8
 Disco_76' x 8
 Placed Parts



Discos 200 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

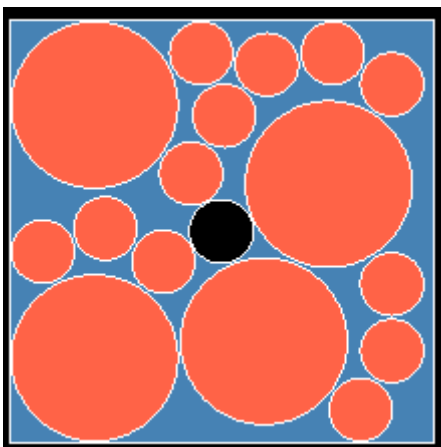
Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	496	71.43	16 of 16	1	1	15:50:19
2	499	71.05	16 of 16	1	1	15:50:15
3	499	71.05	16 of 16	1	1	15:50:05
4	499	71.05	16 of 16	1	1	15:49:57
5	586	61.46	16 of 16	2	2	15:49:55

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_508' (71.07% / 72.74%, 496mm)
 - Disco_76 x 12
 - Disco_200 x 4
 Placed Parts

73.00%
71.43%
61.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Combinações de 2 Discos

1. Discos 76 e discos de 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

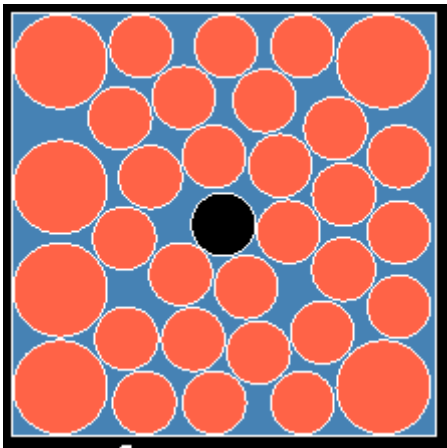
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	502	69,80	32 of 32	1	1	12:40:23
2	502	69,80	32 of 32	1	1	12:40:22
3	502	69,80	32 of 32	1	1	12:40:13
4	586	60,78	32 of 32	2	2	12:40:12
5	586	60,78	32 of 32	2	2	12:40:12

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70,29% / 71,08%, 502mm)
 ... 'Disco_113' x 6
 ... 'Disco_76' x 26
 Placed Parts

71,00%
69,80%
60,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



2. Discos 76 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

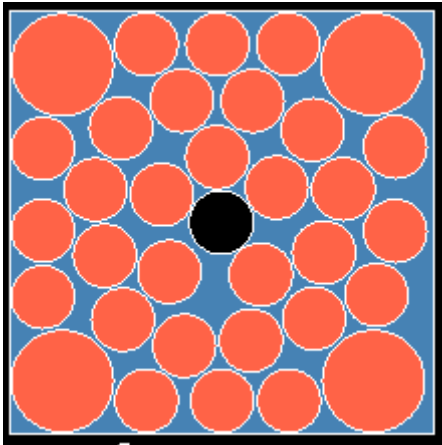
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	500	70,47	33 of 33	1	1	12:49:15
2	586	61,11	33 of 33	2	2	12:49:14

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70,67% / 71,76%, 500mm)
 ... 'Disco_76' x 29
 ... 'Disco_123' x 4
 Placed Parts

72,00%
70,47%
61,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



3. Discos 76 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

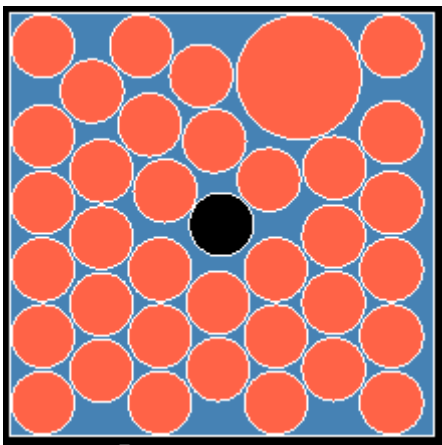
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	496	70,06	36 of 36	1	1	12:53:51
2	496	70,06	36 of 36	1	1	12:53:47
3	497	69,93	36 of 36	1	1	12:53:45
4	505	68,71	36 of 36	1	1	12:53:44
5	586	60,21	36 of 36	2	2	12:53:43
6	586	60,21	36 of 36	2	2	12:53:42
7	586	60,21	36 of 36	2	2	12:53:41

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_508' (69.63% / 71.35%, 496mm)
 'Disco_76' x 35
 'Disco_150' x 1
 Placed Parts

72,00%
70,06%
60,00%

5s7s
4s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



4. Discos de 113 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Nesting Direction: 0

Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Nest Repeats: Best Efficiency

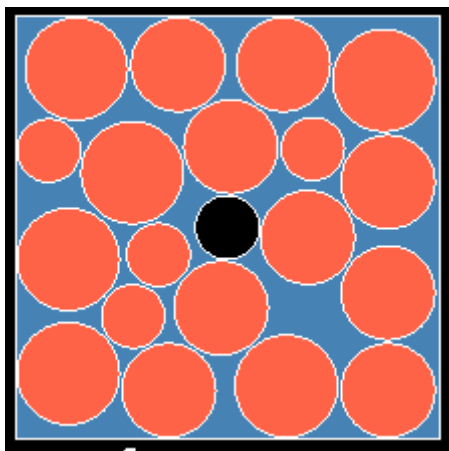
Mirror Allowed: Nest Repeats: Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	503	70.32	19 of 19	1	1	13:01:24
2	586	61.32	19 of 19	2	2	13:01:23
3	586	61.32	19 of 19	2	2	13:01:22
4	623	57.63	19 of 19	2	2	13:01:22

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70.91% / 71.61%, 503mm)
 - Disco_123' x 6
 - Disco_113' x 9
 - Disco_76' x 4
 Placed Parts

72.00% 70.32% 3s
 67.00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



5. Discos 113 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Nesting Direction: 0

Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Nest Repeats: Best Efficiency

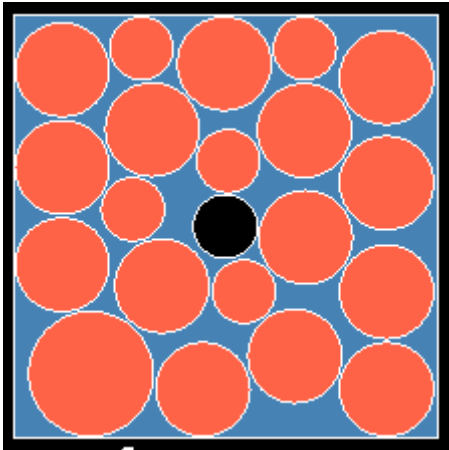
Mirror Allowed: Nest Repeats: Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	504	70.65	20 of 20	1	1	13:07:18
2	586	61.68	20 of 20	2	2	13:07:18
3	586	61.68	20 of 20	2	2	13:07:17


Results: Nest 1 (x1): 'Placa_508' (71.33% / 71.95%, 504mm)
 - Disco_113' x 14
 - Disco_76' x 5
 - Disco_150' x 1
 Placed Parts

72.00% 70.65% 2s
 61.00% 1s


Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only




6. Discos de 123 e 150



Export Nests



Summary Report



Detailed Report

Export & Print

Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	503	71,57	18 of 18	1	1	14:40:26
2	503	71,57	18 of 18	1	1	14:40:17
3	586	62,43	18 of 18	2	2	14:40:17

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (72,19% / 72,89%, 503mm)

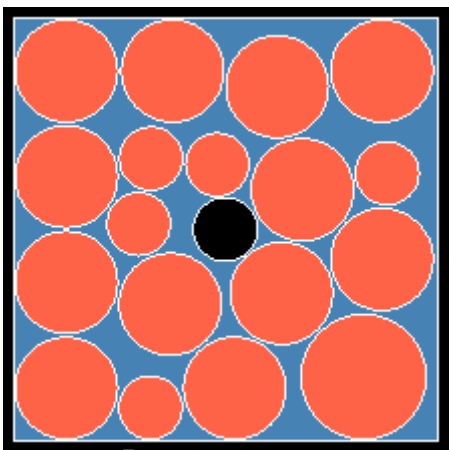
- 'Disco_123' x 12
- 'Disco_150' x 1
- 'Disco_76' x 5

Placed Parts

73,00%

71,57%

62,00%



Combinções de 3 Discos

7. Discos de 76, 113 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

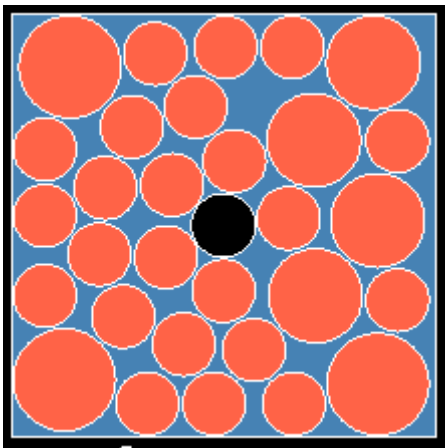
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	501	70.81	30 of 30	1	1	14:25:21
2	586	61.46	30 of 30	2	2	14:25:21
3	586	61.46	30 of 30	2	2	14:25:20

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (71.07% / 72.11%, 501mm)
 Disco_76' x 23
 Disco_123' x 3
 Disco_113' x 4
 Placed Parts

72.00%
70.81%
61.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



8. Discos de 76, 113 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

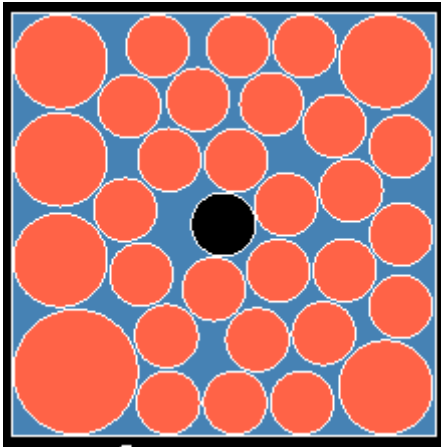
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	505	70.64	31 of 31	1	1	14:37:02
2	505	70.64	31 of 31	1	1	14:37:00
3	505	70.64	31 of 31	1	1	14:36:52
4	586	61.84	31 of 31	2	2	14:36:52
5	586	61.84	31 of 31	2	2	14:36:51
6	586	61.84	31 of 31	2	2	14:36:51

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (71.52% / 71.94%, 505mm)
 Disco_113' x 5
 Disco_76' x 25
 Disco_150' x 1
 Placed Parts

72.00%
70.64%
61.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



9. Discos 76, 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:04 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Mirror Allowed: Nesting Direction Nest Repeats

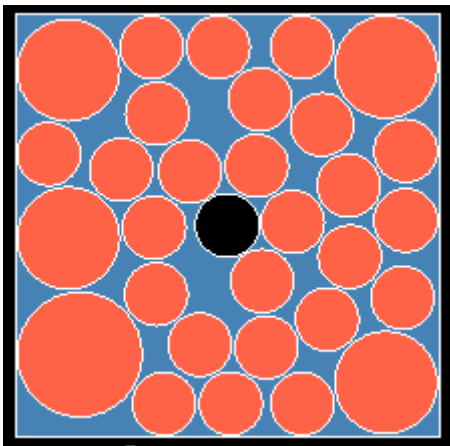
Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	506	69.53	30 of 30	1	1	14:43:05
2	586	60.95	30 of 30	2	2	14:43:04

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (70.48% / 70.81%, 506mm)
 'Disco_123' x 4
 'Disco_76' x 25
 'Disco_150' x 1
 Placed Parts

71.00%
69.53%
60.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



10. Discos de 113, 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

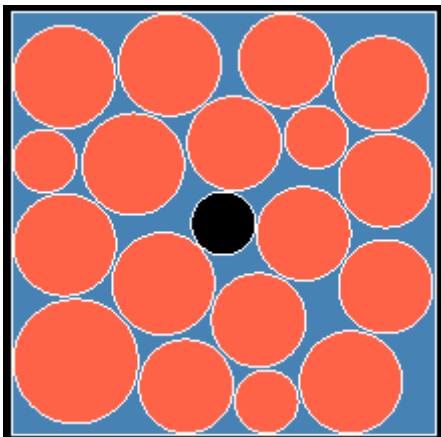
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	505	71,26	18 of 18	1	1	15:02:07
2	623	58,62	18 of 18	2	2	15:02:07

Nest 1 (x1): 'Placa_508' (72,14% / 72,57%, 505mm)
 Disco_113' x 8
 Disco_123' x 6
 Disco_76' x 3
 Disco_150' x 1
 Placed Parts

73,00%
71,26%
58,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



6.3 ANEXO C - Simulações NESTFAB – Placa: 431x431 mm

Discos 54

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

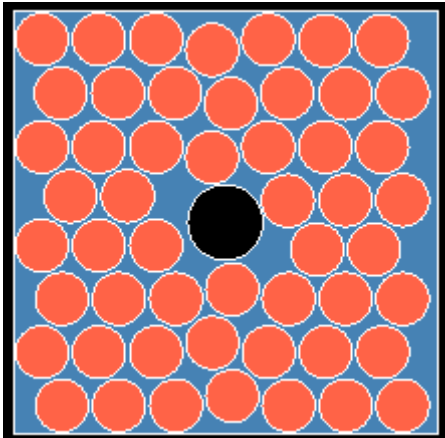
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	423	65,36	52 of 52	1	1	15:11:49
2	423	65,36	52 of 52	1	1	15:11:48
3	424	65,19	52 of 52	1	1	15:11:41
4	424	65,19	52 of 52	1	1	15:11:40
5	487	58,02	52 of 52	2	2	15:11:40

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (65,76% / 67,04%, 423mm)
 Disco_54' x 52
 Placed Parts

67,00%
65,36%
58,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting
 Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
 Tilt (+/-)* 0.0 Sheet Spacing: 2.000
 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0
 Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats

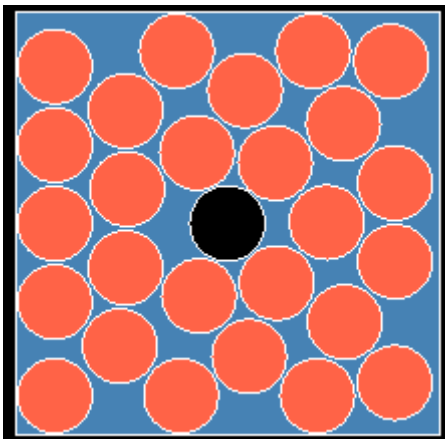
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	424	64,58	26 of 26	1	1	15:15:30
2	424	64,58	26 of 26	1	1	15:15:22
3	509	54,93	26 of 26	2	2	15:15:21
4	509	54,93	26 of 26	2	2	15:15:21

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (65,13% / 66,24%, 424mm)
 'Disco_76' x 26
 Placed Parts

66,00%
 64,58%
 54,00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 100

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:22 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Mirror Allowed: Part Rotation

Part Spacing: 4,000 Sheet Spacing: 2,000 Spacing

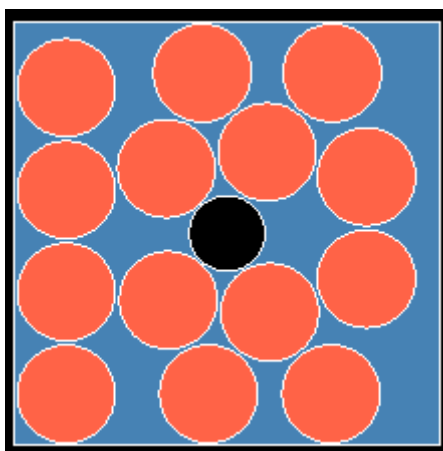
Nesting Direction Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	407	62,65	14 of 14	1	1	15:18:42
2	407	62,65	14 of 14	1	1	15:18:40
3	407	62,65	14 of 14	1	1	15:18:32
4	423	60,24	14 of 14	1	1	15:18:31
5	423	60,24	14 of 14	1	1	15:18:31

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_431' (60,71% / 64,26%, 407mm) ... 'Disco_100' x 14 Placed Parts

64,00% 62,65% 60,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 113 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:05 Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Mirror Allowed: Part Rotation

Part Spacing: 4,000 Sheet Spacing: 2,000 Spacing

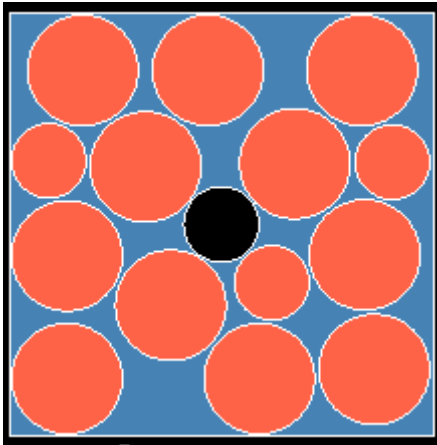
Nesting Direction Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	427	67,29	14 of 14	1	1	23:40:32
2	546	53,72	14 of 14	2	2	23:40:31

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_431' (68,43% / 69,02%, 427mm) ... 'Disco_76' x 3 ... 'Disco_113' x 11 Placed Parts

69,00% 67,29% 65,00% 63,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos de 123 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m 00:00:08 Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
 Tilt (+/-): 0,0 Sheet Spacing: 2.000
 Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

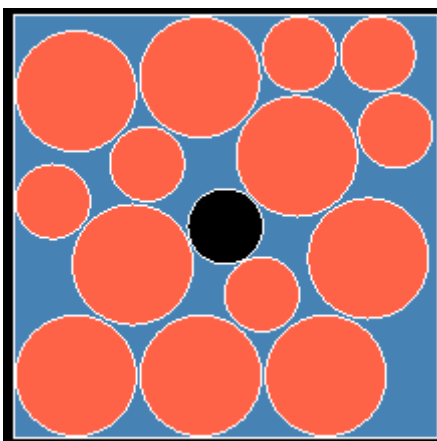
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	426	66,55	14 of 14	1	1	23:44:36
2	509	56,95	14 of 14	2	2	23:44:32

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (67,52% / 68,26%, 426mm)
 'Disco_76' x 6
 'Disco_123' x 8
 Placed Parts

68,00% 66,55% 56,00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos 150 e 76

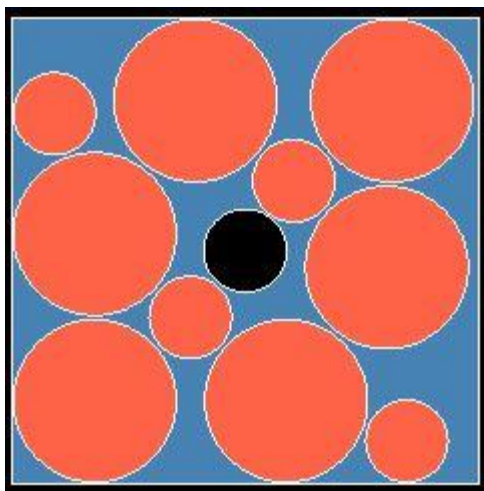
Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:21

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Tilt (+/-)°: 0.0 Mirror Allowed: Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	426	67,65	10 of 10	1	1	12:14:11
2	426	67,65	10 of 10	1	1	12:14:09
3	426	67,65	10 of 10	1	1	12:14:02
4	509	57,83	10 of 10	2	2	12:14:01
5	583	50,35	10 of 10	2	2	12:13:59

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_431' (68,57% / 69,39%, 426mm) Disco_150' x 6 Disco_76' x 4 Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



Discos de 200 e 76

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:32

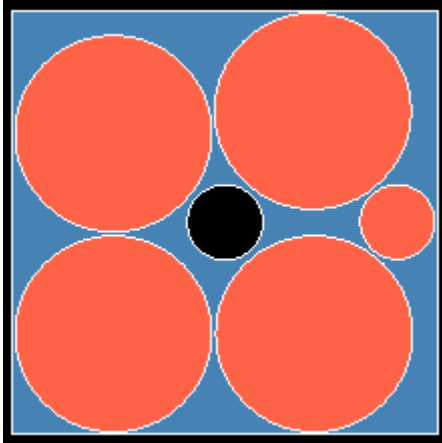
Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Tilt (+/-)°: 0.0 Mirror Allowed: Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	429	70,46	5 of 5	1	1	15:58:34
2	429	70,46	5 of 5	1	1	15:58:24

Results: Nest 1 (x1): 'Placa_431' (71,89% / 72,27%, 429mm) Placed Parts

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

72,00%
70,46%
70,00%



Combinações de 2 Discos

1. Disco 76 e 113

Start Stop Fixed Run 00h:10m
00:00:06 Nesting

Rotation: 90
Tilt (+/-): 0.0
Mirror Allowed:

Part Spacing: 4.000
Sheet Spacing: 2.000
Spacing

Nesting Direction: 0

Best Efficiency
Balanced Repeats
Prefer Repeats
Nest Repeats

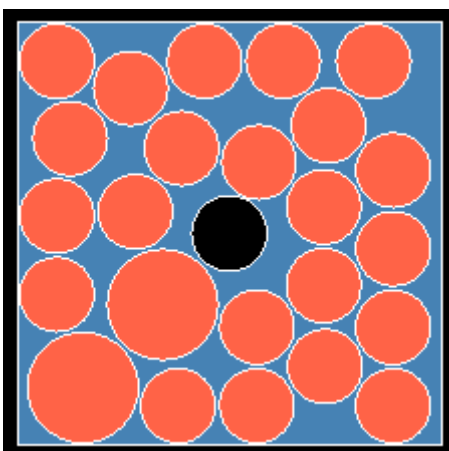
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	420	66,22	24 of 24	1	1	15:46:54
2	509	55,82	24 of 24	2	2	15:46:53

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (66,18% / 67,92%, 420mm)
 'Disco_76' x 22
 'Disco_113' x 2
 Placed Parts

68,00%
66,22%
55,00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



2. Discos 76 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Nesting Direction: 0 Best Efficiency

Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Balanced Repeats

Mirror Allowed: Placed Parts Prefer Repeats

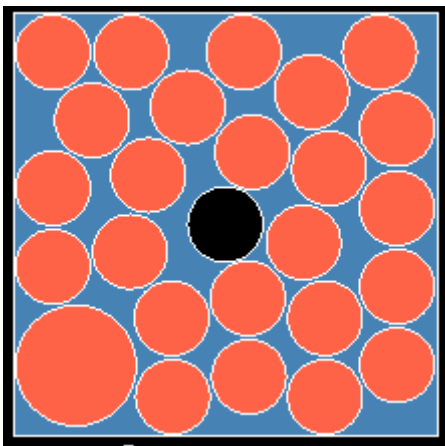
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	428	65.46	25 of 25	1	1	16:12:44
2	428	65.46	25 of 25	1	1	16:12:37
3	509	56.24	25 of 25	2	2	16:12:35
4	509	56.24	25 of 25	2	2	16:12:35

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (66.68% / 67.14%, 428mm)
 Disco_76' x 24
 Disco_123' x 1
 Placed Parts

67.00%
65.46%
56.00%



3. Discos 76 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Nesting Direction: 0 Best Efficiency

Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Balanced Repeats

Mirror Allowed: Placed Parts Prefer Repeats

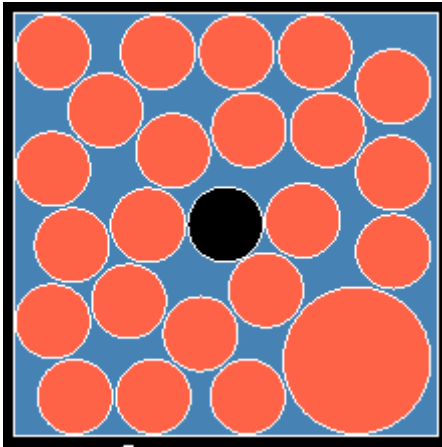
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	424	64.26	23 of 23	1	1	16:16:14
2	509	54.71	23 of 23	2	2	16:16:13

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (64.87% / 65.91%, 424mm)
 Disco_76' x 22
 Disco_150' x 1
 Placed Parts

66.00%
64.26%
54.00%



4. Discos de 113 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-): 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction Nest Repeats

Best Efficiency Balanced Repeats Prefer Repeats

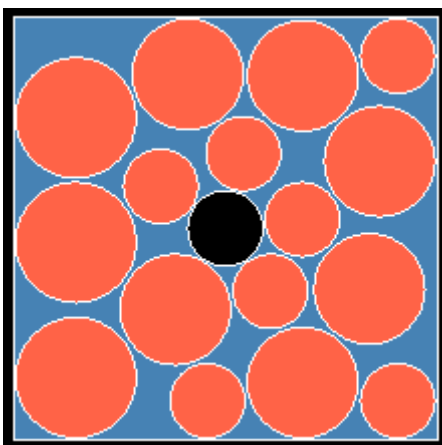
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	429	69,04	16 of 16	1	1	16:38:07
2	509	59,41	16 of 16	2	2	16:38:07
3	509	59,41	16 of 16	2	2	16:38:06

Results

- Nest 1 (x1): 'Placa_431' (70,44% / 70,82%, 429mm)
 - 'Disco_76' x 7
 - 'Disco_113' x 6
 - 'Disco_123' x 3
- Placed Parts

71,00% 69,04% 59,00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



5. Discos 113 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:21

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

Results

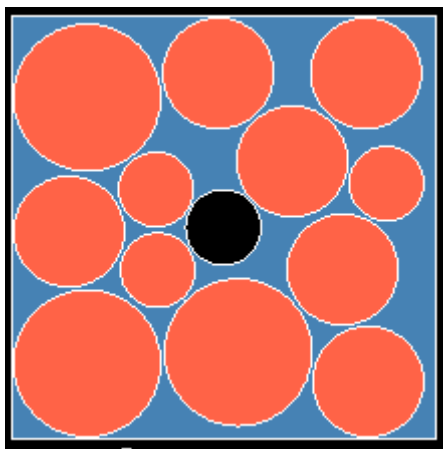
Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	419	70.16	12 of 12	1	1	16:44:16
2	419	70.16	12 of 12	1	1	16:44:13
3	419	70.15	12 of 12	1	1	16:44:09
4	423	69.62	12 of 12	1	1	16:44:08
5	427	68.86	12 of 12	1	1	16:44:07
6	509	59.05	12 of 12	2	2	16:44:07

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Current Layout

Nest 1 (k1): 'Placa_431' (70,01% / 71,97%, 419mm)
 'Disco_76' x 3
 'Disco_113' x 6
 'Disco_150' x 3
 Placed Parts

72,00%
70,16%
59,00%



6. Discos 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:09

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000 Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

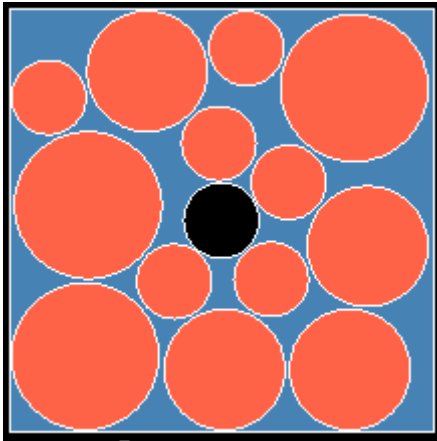
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	426	69.65	13 of 13	1	1	08:45:51
2	509	59.50	13 of 13	2	2	08:45:50
3	509	59.50	13 of 13	2	2	08:45:49

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (70,55% / 71,44%, 426mm)
 'Disco_150' x 3
 'Disco_123' x 4
 'Disco_76' x 6
 Placed Parts

71,00%
69,65%
59,00%



Combinações de 3 Discos

7. Discos de 76, 113 e 123

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting 00:00:14

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
 Tilt (+/-)°: 0.0 Sheet Spacing: 2.000
 Mirror Allowed: Part Rotation Spacing Nesting Direction Nest Repeats

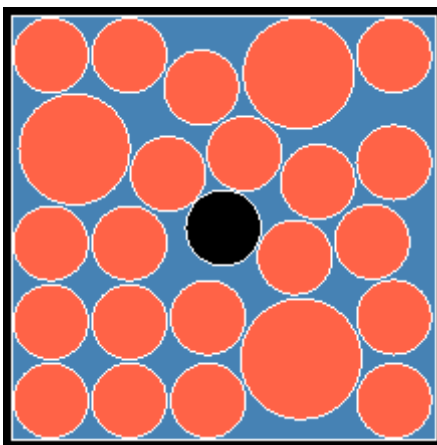
Best Efficiency
 Balanced Repeats
 Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	427	66.67	23 of 23	1	1	09:02:41
2	427	66.67	23 of 23	1	1	09:02:33
3	509	57.13	23 of 23	2	2	09:02:31

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (67.73% / 68.39%, 427mm)
 -- 'Disco_76' x 20
 -- 'Disco_123' x 1
 -- 'Disco_113' x 2
 Placed Parts

68.00%
 66.67%
 57.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



8. Discos de 76, 113 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

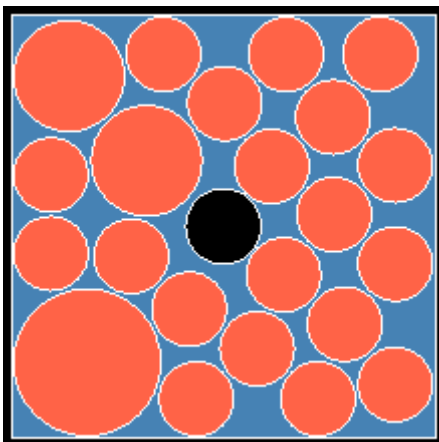
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	428	67.15	22 of 22	1	1	09:07:36
2	509	57.71	22 of 22	2	2	09:07:35

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (68.43% / 68.88%, 428mm)
 'Disco_76' x 19
 'Disco_113' x 2
 'Disco_150' x 1
 Placed Parts

69.00%
67.15%
57.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



9. Discos 76, 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Tilt (+/-)°: 0.0 Part Spacing: 4.000 Sheet Spacing: 2.000 Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Mirror Allowed:

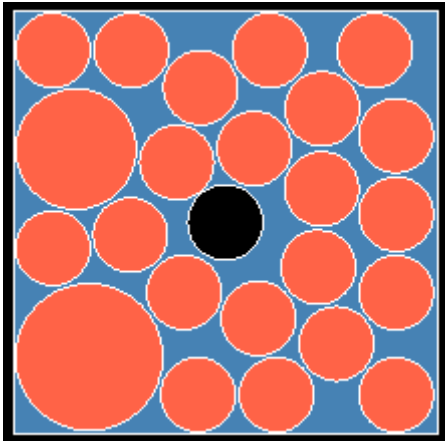
Results

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	427	67.81	23 of 23	1	1	09:17:26
2	427	67.81	23 of 23	1	1	09:17:19
3	427	67.81	23 of 23	1	1	09:17:17
4	509	58.13	23 of 23	2	2	09:17:10
5	509	58.13	23 of 23	2	2	09:17:10

Nest 1 (x1): 'Placa_431' (68.92% / 69.55%, 427mm)
 'Disco_76' x 21
 'Disco_150' x 1
 'Disco_123' x 1
 Placed Parts

69.00%
67.81%
58.00%

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only



10. Discos 113, 123 e 150

Start Stop Fixed Run 00h:10m Nesting

Rotation: 90 Part Spacing: 4.000
Tilt (+/-): 0.0 Sheet Spacing: 2.000
Mirror Allowed: Nesting Direction: 0 Nest Repeats: Best Efficiency, Balanced Repeats, Prefer Repeats

Rank	Length	Util (%)	Parts Nested	Sheets	Nests	Time
1	419	70,02	14 of 14	1	1	12:04:35
2	419	70,02	14 of 14	1	1	12:04:33
3	419	70,02	14 of 14	1	1	12:04:26
4	423	69,38	14 of 14	1	1	12:04:25
5	509	58,88	14 of 14	2	2	12:04:24

Results

- Nest 1 (x1): 'Placa_431' (69,82% / 71,82%, 419mm)
 - 'Disco_113' x 4
 - 'Disco_76' x 6
 - 'Disco_123' x 2
 - 'Disco_150' x 2
- Placed Parts

71,00% 70,02% 3s 2s 58,00% 1s

Auto-Select Best Result Show Unique Nests Only

