



Estudo do brilho e microrrugosidade de peças plásticas produzidas por moldação por injeção

Dissertação de Mestrado

Ricardo José Henriques de Sousa¹

Orientador na FEUP: Prof. Doutor Fernando Jorge Monteiro

Orientador na empresa Mold-Tech®: Sr. Raúl Souto

¹Estudante do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de
Materiais

Porto, Julho de 2014

Candidato	Ricardo José Henriques de Sousa	Código	090508010
Título	Estudo do brilho e microrrugosidade de peças plásticas produzidas por injeção		
Data	22 de Julho 2014		
Local	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Sala F103 - 16:30h		
Júri	<i>Presidente</i>	Professora Doutora Maria Ascensão Ferreira Silva Lopes	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	Doutor Carlos Pinto Moreira de Sá	CEMUP
	<i>Orientador</i>	Professor Doutor Fernando Jorge Mendes Monteiro	DEMM/FEUP

Resumo

A Mold-Tech® Portugal, Tratamento e Revestimento de Metais Lda, é uma empresa líder mundial na produção de texturas e um dos seus mercados alvo é a indústria de moldes para plásticos. A sua política de qualidade procura uma otimização e conhecimento do processo antes e depois da produção da textura. A indústria automóvel, como grande utilizadora de moldes para a injeção de polímeros, procura cada vez mais um maior rigor no brilho das suas peças plásticas e para isso é necessário um maior conhecimento do comportamento do brilho nos moldes metálicos.

O brilho das peças é afetado por três agentes: o índice de refração do material, geometria e microrrugosidade e do coeficiente de atrito entre o polímero e o metal. O índice de refração depende da densidade, massa molecular e polaridade molecular do material. A geometria e microrrugosidade são definidas pelo processo de texturização que contém diversas etapas, entre elas a dissolução química que define a geometria, e o acabamento com jato de partículas que confere a microrrugosidade. Com o estudo efetuado verifica-se que o aumento da rugosidade leva a uma diminuição do brilho. Por sua vez, o coeficiente de atrito entre o polímero e o metal define o grau de reprodutibilidade da textura do material plástico. Isto é, a rugosidade decorrente do processo de injeção afeta o brilho respetivo. O coeficiente de atrito mencionado é fundamentalmente afetado pelos parâmetros de injeção utilizados e pela viscosidade do material.

Um dos aspetos mais importantes deste trabalho foi descobrir a relação entre o brilho do aço texturizado e respetivo brilho produzido na peça polimérica. Com este estudo foi possível encontrar equações que podem estimar o brilho para os materiais ABS e PP com diferentes texturas, em cinza e preto. As equações alcançadas apresentaram bons coeficientes de correlação o que indica que há uma grande dependência entre o brilho do aço e o brilho dos materiais poliméricos estudados.

Palavras-chave:

Brilho, textura, rugosidade, moldação por injeção.

Study on gloss and micro-roughness of plastic parts produced by injection molding

Abstract

Mold-Tech ® Portugal, Tratamento e Revestimento de Metais Lda, is a world leader in the production of textures and one of its target markets is the industry of molds for plastics. Its quality policy pursues a process optimization and knowledge, before and after the texture production. The automotive industry, as a major user of molds for the injection of polymers, seeks continuously an accuracy on gloss of its plastic components and hence a greater understanding of gloss behavior in metallic molds.

The gloss of the parts is affected by three agents: the refractive index of the material, geometry and micro-roughness and the coefficient of friction between the polymer and the metal. The refractive index depends on the density, molecular weight and molecular polarity of the material. The geometry and micro-roughness are defined by the texturing process containing several steps, including the chemical dissolution that defines the geometry, and finishing with a blasting of particles, which provides micro-roughness. The study conducted validates that the increasing of roughness leads to a gloss reduction. Also, the coefficient of friction between the polymer and the metal defines the degree of reproducibility of texture in the plastic material. That is, the surface roughness resulting from injection process affects the gloss. The coefficient of friction mentioned is primarily affected by the injection parameters employed and the material viscosity.

One of the most important aspects of this study was to uncover the relationship between the gloss of textured steel and respective produced gloss in the polymeric part. With this study it was possible to find equations which estimate the gloss of PP and ABS materials, with different textures, in grey and black. The equations obtained presented good correlation coefficients which indicate the strong dependence between the gloss of steel and the gloss of the polymeric materials studied.

Keywords:

Gloss, Texture, Roughness, Injection Molding.

Agradecimentos

Com o término de uma etapa, que considero a mais importante na minha vida até o momento, não quero deixar de expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante este percurso. Por essa razão, à minha família e amigos quero apresentar o meu especial e sincero obrigado.

Quero também agradecer a todas as pessoas que contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado. Em especial aos meus orientadores, o Professor Dr. Fernando Jorge Monteiro e o Sr. Raúl Souto.

Expresso também os meus agradecimentos aos colaboradores da Mold-Tech® que me proporcionaram um período de estágio muito enriquecedor e que fizeram de tudo para que este trabalho fosse realizado da melhor forma possível.

Por fim, quero deixar um agradecimento especial a quem durante este percurso académico vou levar para a vida.

Índice geral

1. Introdução	1
1.1. Apresentação da empresa Mold-Tech® Portugal	1
1.2. Contexto.....	2
1.3. Objetivos	3
2. Análise bibliográfica	4
2.1. Moldação por injeção.....	4
2.1.1. O molde	4
2.1.2. Ciclo da moldação por injeção	6
2.1.3. Processo de injeção	7
2.2. Texturização.....	8
2.2.1. Dissolução química e Ataque fotoquímico	9
2.2.2. Jato de areias	12
2.3. Materiais poliméricos.....	13
2.3.1. Polipropileno (PP)	15
2.3.2. Acrilonitrina butadieno estireno (ABS)	16
2.4. Rugosidade	17
2.4.1. Medição de rugosidade por contacto	17
2.4.2. Parâmetros de avaliação da rugosidade	18
2.4.2.1. Parâmetros de amplitude	18
2.4.2.2. Parâmetros espaciais.....	20
2.4.2.3. Parâmetros híbridos	21
2.5. Brilho	21
2.5.1. Parâmetros de avaliação do brilho.....	22
2.5.2. Medidor de Brilho.....	23
2.6. Influências do brilho nas peças plásticas	24
2.6.1. Índice de refração do material	24
2.6.2. Geometria e microrrugosidade da textura	25
2.6.3. Coeficiente de atrito polímero/metal	26

3.	Trabalho experimental	27
3.1.	Introdução.....	27
3.1.1.	Metodologia do trabalho experimental.....	27
3.2.	Equipamentos utilizados	29
3.2.1.	Rugosímetro	29
3.2.2.	Medidor de Brilho.....	29
3.2.3.	Máquina de injeção.....	30
3.2.4.	Termómetro infravermelho	30
3.3.	Meios experimentais utilizados	31
3.3.1.	Aço utilizado para produzir os postigos	31
3.3.2.	Acabamentos dos postigos estudados.....	31
3.3.2.1.	Óxidos de alumínio	31
3.3.2.2.	Esferas de vidro.....	32
3.3.3.	Postigos texturizados.....	32
3.3.3.1.	Postigos: grão geométrico e <i>stipple</i> com 3 acabamentos.....	32
3.3.3.2.	Postigos: grão pele, geométrico e <i>stipple</i> com 6 acabamentos.	33
3.3.4.	Materiais plásticos injetados	35
3.4.	Ensaio realizado.....	36
3.5.	Apresentação e discussão de resultados.....	38
3.5.1.	Brilho das placas vs. Parâmetros de injeção.....	38
3.5.2.	Rugosidade das placas vs. Brilho das placas	41
3.5.3.	Rugosidade dos postigos vs. Rugosidade das placas	43
3.5.4.	Brilho dos postigos vs. Brilho das placas	45
4.	Considerações finais e propostas para trabalhos futuros	50
5.	Conclusão.....	51
6.	Bibliografia	53
	ANEXO A: Rugosidades das placas injetadas em ABS e PP em cinza e preto	57
	ANEXO B: Brilho das placas injetadas em ABS e PP em cinza e preto.....	66
	ANEXO C: Estudo do brilho vs. parâmetros de injeção	70

ANEXO D: Estudo da rugosidade das placas vs. brilho das placas	78
ANEXO E: Estudo da rugosidade dos postigos vs. rugosidade das placas	86
ANEXO F: Estudo do brilho dos postigos vs. brilho das placas	99

Índice de figuras

Figura 1. Constituintes de um molde de injeção [9].	5
Figura 2. Ciclo da moldação por injeção [9].	6
Figura 3. Processo de injeção [1].	7
Figura 4. Cilindro com parafuso (sem fim) dividido em três zonas distintas [1].	8
Figura 5. Remoção de material por dissolução química [8].	10
Figura 6. Ataque fotoquímico (esquema) [8].	11
Figura 7. Imagens ilustrativas de a) microesferas de vidro e b) óxidos de alumínio [15, 16].	13
Figura 8. Estrutura linear e ramificada (termoplásticos) e ligações covalentes (termoendurecíveis) [17].	14
Figura 9. Moléculas de propileno e polipropileno [21].	15
Figura 10. Estrutura química dos monómeros do ABS e respetiva cadeia [25].	16
Figura 11. Esquema de um rugosímetro de contacto [29].	18
Figura 12. Definição do desvio médio aritmético do perfil (Ra) [31].	19
Figura 13. Definição da altura máxima do perfil em 10 pontos (Rz ISO e DIN) [31]. ..	20
Figura 14. Definição da altura máxima do perfil (Pt) [31].	20
Figura 15. Contagem do número de larguras médias dos elementos do perfil (R _{Pc}) [31].	21
Figura 16. Reflexão difusa [32].	22
Figura 17. Superfície semi-brilhante [32].	23
Figura 18. Diagrama de um medidor de brilho, apresentando os seus componentes principais [36].	23
Figura 19. Comparação do índice de refração (n_D) com o brilho teórico (R/R_{st}) e ângulo de incidência até o valor máximo teórico de refração (1,567) [42].	25
Figura 20. Fluxograma relativo ao trabalho experimental.	28
Figura 21. Rugosímetro utilizado na empresa Mold-Tech®.	29

Figura 22. Medidor de brilho utilizado na empresa Mold-Tech®.	29
Figura 23. Máquina de injeção ARBURG Allrounder utilizada na injeção das placas plásticas.	30
Figura 24. Termómetro digital infravermelho, MT-350 MINIPA.	30
Figura 25. Postiços PG3 a) e PS3 b) com área de 21 x 17 cm.	33
Figura 26. Postiço PP6 a), PG6 b) e PS6 c) com área de 21 x 17 cm.	34
Figura 27. Estudo da influência dos parâmetros de injeção nas placas a) PG3ABSc, zona 2 e b) PS3ABSp, zona 3.	39
Figura 28. Estudo da influência dos parâmetros de injeção na placa PG3PPc a) zona 1 e b) zona 3.	40
Figura 29. Relação entre o brilho e o a) Rz, b) Ra e c) RΔq da placa PS3PPp.	42
Figura 30. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PG3 e zona 1 e b) postiço PG3 e zona 3, ambos da placa PG3ABSc com diferentes parâmetros de injeção.	44
Figura 31. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PG3 e zona 1 e b) postiço PG3 e zona 3, ambos da placa PG3PPc com diferentes parâmetros de injeção.	44
Figura 32. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PS3 e zona 1 e b) postiço PS3 e zona 3, ambos da placa PS3ABSc com diferentes parâmetros de injeção.	45
Figura 33. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PS3 e zona 1 e b) postiço PS3 e zona 3, ambos da placa PS3PPp com diferentes parâmetros de injeção.	45
Figura 34. Linha de tendência entre os brilhos dos postiços e das placas em ABS cinza.	46
Figura 35. Linha de tendência entre os brilhos dos postiços e das placas em ABS preto.	47

Figura 36. Linha de tendência entre os brilhos dos postigos e das placas em PP cinza.
.....48

Figura 37. Linha de tendência entre os brilhos dos postigos e das placas em PP preto.
.....48

Índice de tabelas

Tabela 1. Rugosidade Ra máxima a considerar e respectivos ângulos de desmoldação entre a direção de ejeção e a superfície da peça plástica para diferentes materiais termoplásticos [8].....	12
Tabela 2. Características da máquina injetora ARBURG Allrounder 320M 750-210. ...	30
Tabela 3. Composição química do aço utilizado nos postigos [47].....	31
Tabela 4. Composição química dos óxidos de alumínio [48].	32
Tabela 5. Composição química das esferas de vidro [16].	32
Tabela 6. Valores de brilho e rugosidade das diferentes zonas do postigo PG3.....	33
Tabela 7. Valores de brilho e rugosidade das diferentes zonas do postigo PS3	33
Tabela 8. Brilhos das diferentes zonas do postigo PP6.	34
Tabela 9. Brilhos das diferentes zonas do postigo PG6.	35
Tabela 10. Brilhos das diferentes zonas do postigo PS6.	35
Tabela 11. Principais propriedades do ABS cinza " Elix P2H-AT0" [49].	35
Tabela 12. Principais propriedades do ABS preto "BASF Terlurand GP 22" [50].	36
Tabela 13. Principais propriedades do PP cinza " Hostacom EYC 136N" [51].	36
Tabela 14. Principais propriedades do PP preto " SABIC® PP PHC31" [52].	36
Tabela 15. Parâmetros de injeção utilizados para o ABS cinza e preto nos postigos PG3 e PS3.....	37
Tabela 16. Parâmetros de injeção utilizados para o PP cinza e preto nos postigos PG3 e PS3.	37
Tabela 17. Parâmetros de injeção utilizados para o ABS cinza e preto nos postigos PP6, PG6 e PS6.	37
Tabela 18. Parâmetros de injeção utilizados para o PP cinza e preto nos postigos PP6, PG6 e PS6.....	38
Tabela 19. Equações que relacionam o brilho do aço (x) com o brilho das placas (y).	49

Glossário

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ABS	Acrilonitrina Butadieno Estireno
ASTM	American Society for Testing and Materials
DIN	Deutsches Institut für Normung
ISO	International Organization for Standardization
LVDT	Transformador diferencial variável linear
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PDMS	Dimetil polissiloxano
PE	Poliétileno
PMMA	Acrílico/Polimetil-metacrilato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
Pt	Altura máxima do perfil avaliado
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Policloreto de vinilo
RΔq	Raiz quadrada média das declives do perfil avaliado
Ra	Desvio médio aritmético do perfil avaliado
Rpc	Número de larguras médias dos elementos do perfil avaliado
Rq	Desvio médio quadrado do perfil avaliado
Rz	Altura máxima do perfil em 10 pontos
SPI	The Society of the Plastics Industry
UB	Unidades de brilho

1. Introdução

O trabalho realizado abrange matérias lecionadas no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, curso da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O tema desta dissertação em ambiente empresarial resulta da constatação da necessidade de se estudar de forma aprofundada a relação entre as características óticas, em particular o brilho produzido em componentes poliméricos para a indústria automóvel, resultante da introdução de texturas em superfícies de moldes de injeção de plástico e a sua relação com alguns parâmetros de injeção aplicados durante o processamento do material polimérico.

1.1. Apresentação da empresa Mold-Tech® Portugal

A Mold-Tech® Portugal, Tratamento e Revestimento de Metais LDA é uma empresa que se insere no grupo americano Standex Engraving. Esta empresa tem desempenhado um papel predominante no desenvolvimento da texturização, inicialmente por ter inventado o seu próprio processo e seguidamente por satisfazer as necessidades de texturização únicas para os seus clientes. As principais áreas a que se dedica a Mold-Tech® são a texturização, gravação, aplicação de revestimentos e desenvolvimento de novas texturas. O interesse da Mold-Tech® Portugal no que se refere a esta dissertação é melhorar o seu conhecimento da influência da rugosidade no brilho final das superfícies de peças poliméricas e poder estimar o brilho do polímero após a medição do brilho e rugosidade nas reentrâncias dos moldes, o que possibilita a eliminação de ajustes de brilho posteriores, o que se reveste de aspetos economicamente vantajosos para a empresa.

A Mold-Tech® Portugal, no que diz respeito à texturização divide-se em diversas secções. O processo inicia-se numa zona destinada à receção dos moldes onde são descarregados e organizados segundo ordens de fabrico. De seguida, estes passam para um local onde são aplicados os isolamentos por uma pintura de borracha. Subsequentemente, efetua-se o corte do isolamento de modo a que apenas as zonas a texturizar fiquem visíveis. No fim das superfícies estarem preparadas, geralmente apenas com um ataque em solução de ácido nítrico e inspeccionadas para verificar se a microestrutura do aço está homogénea, o molde segue para uma zona de polimento. Seguidamente, o molde passa para o local da criação e aplicação de filmes e/ou zona de *spray* pigmentado, dependendo da textura a aplicar. Após ter sido aplicada a respetiva máscara, o molde é sujeito a imersão em soluções ácidas na

zona de dissolução química. Depois de atacada a cavidade do molde e ter a profundidade pretendida submete-se a projeção de microesferas de vidro e/ou óxidos de alumínio para limpar o aço e definir as rugosidades que vão afetar o brilho final das peças plásticas. Por fim, depois de todas estas etapas remove-se o isolamento e limpa-se o molde para seguir para o local de expedições.

1.2.Contexto

As indústrias atualmente são grandes consumidoras de peças plásticas, procurando as peças mais resistentes, funcionais e apelativas para os seus clientes. Um dos principais objetivos é ter um *design*, uma cor e uma superfície (textura) atraente, de modo a transformar a matéria-prima num produto de valor acrescentado, tão elevado quanto possível. A qualidade e o aspeto das superfícies são os principais fatores para a valorização e para o sucesso comercial do produto final.

A moldação por injeção é um dos métodos de processamento mais utilizados para dar forma aos materiais termoplásticos e é durante o fabrico do molde que fica definido o aspeto superficial e o *design* final da peça [1].

No acabamento superficial das peças plásticas procura-se obter um produto final com elevados padrões de qualidade. Dependendo do objetivo e aplicação final, este passo pode conceder à peça o efeito visual pretendido, melhorias na moldabilidade, promoção de qualidades táteis e texturas funcionais. Outras performances que o acabamento superficial proporciona é uma melhoria na adesão, pintabilidade e resistência ao atrito, ao desgaste e lubrificiência (ou capacidade de retenção de lubrificante) [2, 3].

O aspeto final das peças é definido pelo acabamento de superfície no molde, que pode ser realizado através de diversos processos. Os métodos mais comuns para dar a forma final desejada às peças plásticas são a texturização e o polimento [2-4].

Atualmente existem essencialmente dois processos para efetuar a texturização. Um deles consiste numa dissolução química da superfície do metal e outro é a texturização a laser, cujo resultado se traduz numa textura inserida nas cavidades do molde e futuramente nas peças plásticas injetadas [2, 3, 5].

Para analisar a qualidade do acabamento superficial é possível medir a rugosidade e o brilho. O brilho que a peça apresenta traduz o seu aspeto superficial, sendo definido pela natureza do material, cor e textura. Existem ainda parâmetros externos ao material e à geometria da peça que podem afetar o brilho, tal como o

processamento do polímero. Dos parâmetros referidos, existem alguns passíveis de controlo por parte do operador. São exemplos a forma e a profundidade da textura, o material utilizado e os parâmetros de injeção [3, 6].

Dois dos polímeros mais utilizados hoje em dia são o polipropileno (PP) e a acrilonitrina butadieno estireno (ABS) que serão estudados nesta dissertação. O PP é um termoplástico de baixo custo, boa resistência química, de fácil moldagem e coloração; tem uma boa resistência específica à fratura por flexão ou fadiga, boa resistência ao impacto e boa estabilidade térmica. O ABS, por sua vez, é um copolímero composto pela combinação de três monómeros distintos que oferece uma excelente combinação de propriedades. A acrilonitrina contribui com uma boa resistência química, térmica e mecânica. O butadieno contribui com dureza, resistência ao impacto e retenção de propriedades a baixa temperatura. Por fim, o estireno contribui com rigidez, boa aparência superficial (brilho) e uma boa capacidade de processamento. A sua ótima relação qualidade/preço torna-o muito atrativo [7].

1.3.Objetivos

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação tem como objetivo alcançar um maior conhecimento na área das texturas de moldes metálicos. A dificuldade que existe no controlo do brilho das peças plásticas conduziu a um estudo sobre o comportamento dos materiais plásticos durante a injeção. Pretendia-se que no final deste trabalho se encontrassem relações entre rugosidades e brilho entre o aço texturizado e as peças plásticas. Desta forma, será possível ter uma ideia bastante aproximada, no momento da conceção da textura, do brilho resultante na peça plástica.

Para este estudo foram tidas em conta diferentes texturas, materiais e condições de processamento. As texturas a estudar inserem-se no grupo dos grãos com padrões geométricos, *stipple* e pele tendo estes diferentes tipos de acabamentos, logo diferentes rugosidades. Os materiais a utilizar foram o ABS e PP ambos em cor cinza e preto. Por fim, nas condições de processamento da moldação por injeção pretende-se observar a influência da pressão de compactação, bem como da temperatura do molde no brilho das peças plásticas.

2. Análise bibliográfica

2.1. Moldação por injeção

A moldação por injeção é um dos processos mais utilizados no processamento de termoplásticos. Os moldes de injeção são ferramentas precisas que levam ao sucesso económico de muitos produtores de peças plásticas. Neste processo, granulados de plástico abastecem uma máquina de injeção, de seguida são misturados e fundem de forma a serem injetados na cavidade do molde metálico sobre altas pressões. Após o material plástico ter arrefecido, a peça é ejetada. O ciclo do processo de injeção compreende três etapas principais: o enchimento, a plastificação e, por fim a ejeção [1, 8, 9].

Este processo possibilita obter produtos com uma vasta gama de tamanhos e geometrias complexas. As principais aplicações deste processo incluem áreas como: telecomunicações; médicas e farmacêuticas, produtos domésticos e de escritório; eletrónica; automóvel; brinquedos; embalagens; entre outras [1].

A moldação por injeção apesar de ser um processo que implica um elevado investimento no fabrico do molde e no equipamento associado é um processo que permite uma elevada reprodutibilidade e fiabilidade dimensional dos produtos finais [10].

2.1.1. O molde

O molde é a ferramenta adequada para reproduzir a peça plástica desejada, o seu *design* depende da geometria da peça, do número de peças a ejetar ao mesmo tempo, entre outras condicionantes [11].

Os moldes convencionais são divididos em duas partes, designadas por “cavidade” e “bucha”, sendo que a cavidade está localizada na parte em que o material plástico é injetado e a bucha do lado oposto. O molde tem de ser concebido para que suporte as forças a que está sujeito no processo de injeção e o seu *design* deve permitir um fluxo eficiente e enchimento uniforme do material plástico a injetar [9].

Na figura 1 estão ilustrados as diferentes partes constituintes de um molde de injeção convencional. Como é possível visualizar, o molde é constituído por duas metades: uma estacionária, zona da cavidade onde o polímero fundido é injetado; e uma placa móvel, zona da bucha onde se encontra o sistema de ejeção das peças plásticas. Entre a chapa das cavidades e a chapa das buchas está localizado o plano

de partição que divide as duas partes do molde e tem de ser bem definida para que a ejeção da peça plástica ocorra sem nenhum problema. O material plástico a injetar é transferido da máquina de injeção para o injetor principal, este é afunilado para aumentar a velocidade de injeção e facilitar a libertação do material durante a ejeção [9].

A chapa das buchas tem como finalidade estabelecer a configuração do interior da peça plástica. Esta chapa tem associada a chapa de reforço, que é suportada por calços que concedem o espaço para o curso dos pernos extractores. Durante a plastificação a peça plástica fica presa na chapa das buchas, deste modo a peça quando o molde abre segue o mesmo curso, de seguida o extrator da máquina é ativado guiando os pernos extractores à libertação da peça plástica da chapa das buchas [9].

Os canais de refrigeração são um dos constituintes mais importantes nos moldes de injeção, estes localizam-se no interior das chapas das cavidades e buchas. Estes canais têm como função limitar o aumento de temperatura do molde gerado pelo calor do material injetado. Ambas as chapas também têm ao longo do plano de partição pequenos escapes de gás para assegurar que não fica aprisionado dentro do molde, causando defeitos na peça plástica. Estes escapes de gás são feitos geralmente de 5 em 5 mm e têm uma dimensão de 0,02 a 0,08 mm [9].

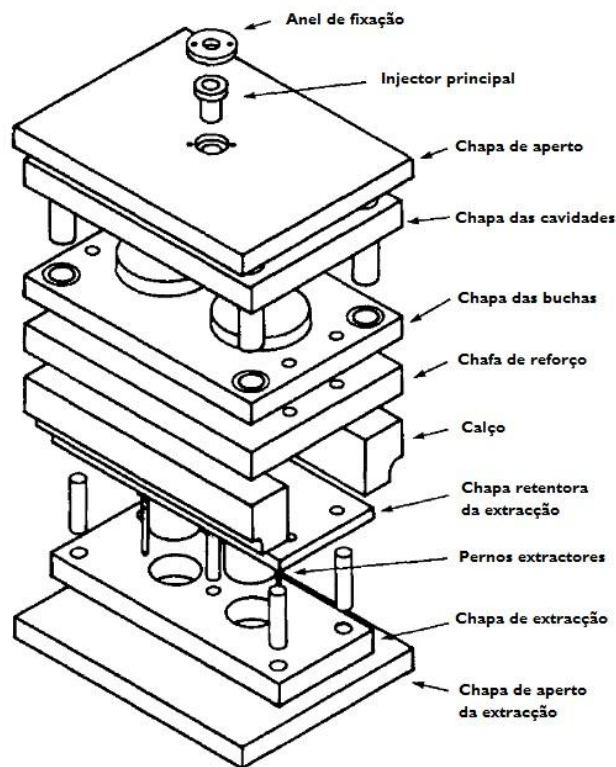


Figura 1. Constituintes de um molde de injeção [9].

2.1.2. Ciclo da moldação por injeção

A moldação por injeção de termoplásticos respeita um ciclo, representado na figura 2, que é constituído por três fases principais: o enchimento ou injeção; a plastificação; e por fim a ejeção [8, 9].

O primeiro estágio (enchimento ou injeção) compreende a alimentação do material plástico fundido. Este flui pelos canais de alimentação até preencher toda a zona entre a cavidade e a bucha. A alimentação é assegurada pelo pistão da unidade de injeção, esta fase de injeção é acompanhada por um aumento da pressão. Durante este primeiro estágio o fluxo de material continua, a uma taxa mais lenta, de modo a compensar a perda de volume do material durante a solidificação. É nesta fase que a próxima carga de material é reposta na máquina de injeção [8, 9].

O segundo estágio (plastificação) começa quando a cavidade do molde está totalmente preenchida, nesta fase a pressão atinge o seu valor máximo durante o tempo de compactação. Esta pressão é utilizada para compensar a contração do polímero, sendo este forçado a preencher todos os espaços no interior do molde. O tempo associado à compactação difere de material para material. De seguida, o pistão da unidade injetora é retraído e a pressão exercida no molde decresce. O arrefecimento neste estágio é muito rápido durante o tempo de compactação e pode ocorrer refluxo, no caso do material ainda não estar totalmente solidificado, mas para isso não ocorrer é necessário um *design* adequado da entrada da injeção. O tempo de plastificação é geralmente o mais longo [8, 9].

Por fim, no último estágio (ejeção) após o material ter solidificado ocorre a abertura do molde e a respetiva ejeção com o auxílio de extratores. Terminada esta etapa o molde fecha e o ciclo repete-se [8, 9].

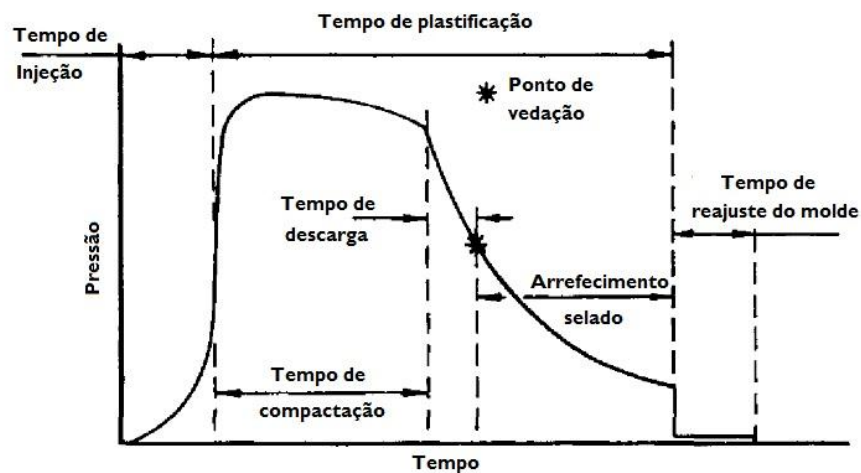


Figura 2. Ciclo da moldação por injeção [9].

2.1.3. Processo de injeção

O processo de injeção abrange o conjunto de uma máquina de injeção e o molde. Esta máquina tem como função processar os granulados plásticos, misturando-os e levando-os a uma temperatura superior à temperatura de fusão do termoplástico. Na figura 3 está representado o processo de injeção constituído pela máquina de injeção, a unidade de aperto e o molde [1].

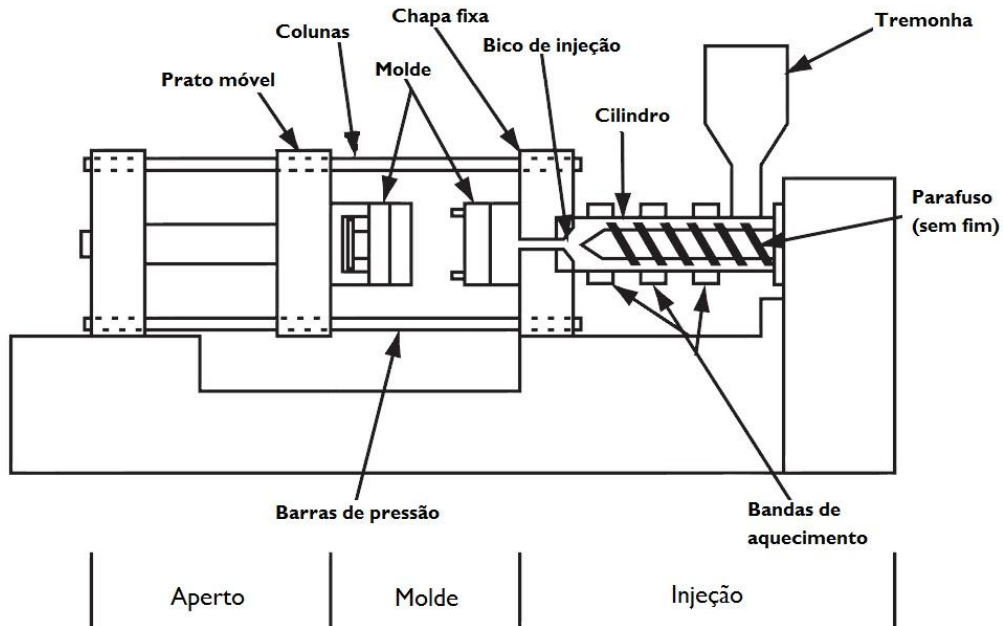


Figura 3. Processo de injeção [1].

O cilindro onde se dá a fusão da matéria plástica é o instrumento que permite o fornecimento do material para o molde. O cilindro é constituído por um parafuso (sem fim), um sistema hidráulico para deslocar o parafuso para a frente e para trás e bandas de aquecimento para manter uma temperatura uniforme dentro do cilindro [1].

O parafuso (sem fim) tem como objetivo, ao fazer girar os granulados de plástico, que estes sigam um caminho uniforme em direção ao molde. Durante este percurso estes vão atingindo o seu ponto de fusão tornando-se num material viscoso no seu todo. O parafuso pode ser dividido em três zonas: a zona de alimentação, a zona de transição e a zona de doseamento como estão apresentadas na figura 4 [1].

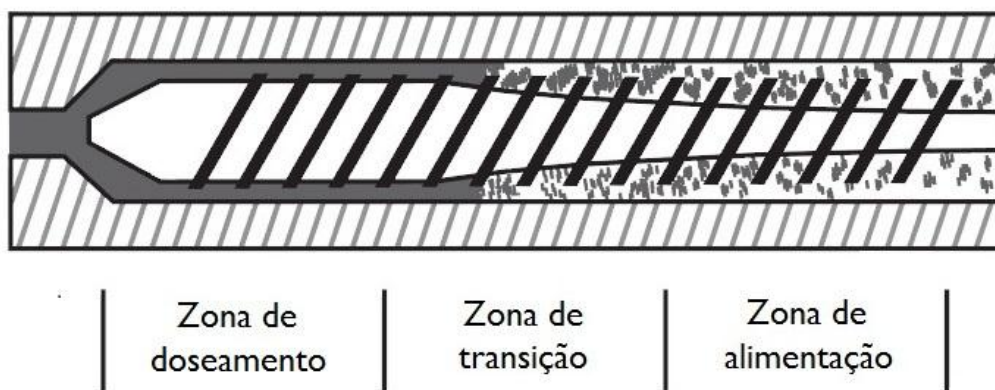


Figura 4. Cilindro com parafuso (sem fim) dividido em três zonas distintas [1].

A zona de alimentação, onde existe o maior volume, é o local onde os granulados entram através da tremonha e são movidos para a zona seguinte. Na zona de transição a pressão, as tensões de corte e a temperatura aumentam; todos estes fatores levam a que os granulados atinjam o seu ponto de fusão. Neste momento, o parafuso garante uma mistura homogênea dos granulados. Por último, na zona de doseamento o material encontra-se totalmente fundido e homogêneo e está pronto para entrar no molde. Este processo termina com a ajuda de um sistema hidráulico do parafuso que o move em direção ao molde e injeta a quantidade necessária de material [1].

2.2. Texturização

A texturização foi introduzida na indústria dos moldes devido à procura de um produto final mais apelativo e de maior valor acrescentado. Com este processo pode-se melhorar o aspeto visual, as qualidades táteis e produzir superfícies funcionais. As texturas que podem ser criadas são todas as que estão ao alcance da imaginação humana, por exemplo destacam-se as texturas a imitar couro, madeira, areia e outras como padrões geométricos. Outra função muito importante que se procura com a texturização é alcançar boas qualidades táteis, que vão de encontro à funcionalidade do produto. Deste modo, tanto podem provocar uma boa sensação ao toque como serem superfícies mais ásperas caso se pretenda uma boa aderência do plástico à mão [2, 3].

Além de todo o aspeto estético criado pela textura, esta também proporciona uma melhoria no processamento do polímero diminuindo deste modo o risco de defeitos, como marcas, aprisionamento de gases, e turbulência do fluxo plástico [3].

O processo mais utilizado na texturização das cavidades e buchas dos moldes de injeção é a dissolução química mais conhecida por ataque fotoquímico. Este processo tem como vantagens não criar rebarba nas arestas gravadas, não inserir tensões residuais na peça de trabalho e poder ser aplicado a qualquer material desde que seja atacado quimicamente. A eficiência da produção é elevada e tanto detalhes macroscópicos como microscópicos podem ser processados com elevada precisão [8, 12].

O jato de areias é muito utilizado no processo de texturização pois permite por um lado limpar as superfícies que foram atacadas e por outro reproduzir diferentes rugosidades nas cavidades dos moldes, permitindo deste modo reproduzir brilhos particulares nas peças plásticas [8].

Atualmente estão a surgir novos métodos de texturização para a indústria de moldes como a texturização a laser. A texturização a laser surge com uma maquinação produzida através de ablação por laser, que volatiliza o material passando este do estado sólido para gás, este método oferece uma substancial poupança de tempo e custo [5].

2.2.1. Dissolução química e Ataque fotoquímico

Para fins decorativos e funcionais a texturização é muito utilizada e com a dissolução química podemos obter a textura pretendida [8].

Neste processo tem de haver uma solubilidade dos metais em soluções ácidas, sendo possível produzir uma textura determinada. O material metálico dissolve-se como resultado de diferenças de potenciais entre microrregiões do material ou entre as diferenças entre o material e o agente químico; na figura 5 está representado este processo de remoção. Os átomos do metal libertam eletrões e estes são removidos da malha metálica na forma iónica por dissolução anódica. Estes iões livres são utilizados no processo de redução com os catiões e aniões presentes na solução. O material removido combina com os aniões a formação de um sal metálico insolúvel que pode ser removido do agente químico por filtração ou centrifugação. O agente redutor, em geral, é a reação de redução do hidrogénio [8].

Os agentes químicos (soluções de ataque eletroquímico) utilizados por parte das empresas têm uma composição química não disponibilizada, não sendo possível saber a sua constituição [8].

Com maior ou menor dificuldade todos os aços, incluindo aços inoxidáveis, podem ser quimicamente atacados. A remoção uniforme do material só é conseguida

caso os aços apresentem composição química e estrutura uniformes. O tamanho de grão também influencia a forma como o ataque vai afetar o metal, assim, quanto menor for o tamanho de grão melhor e mais suave vai ser a texturização. O tratamento térmico pode ajudar a obter uma microestrutura mais fina, o que leva a uma melhor texturização, portanto é frequente os moldes a texturizar terem sofrido um tratamento térmico de têmpera [8].

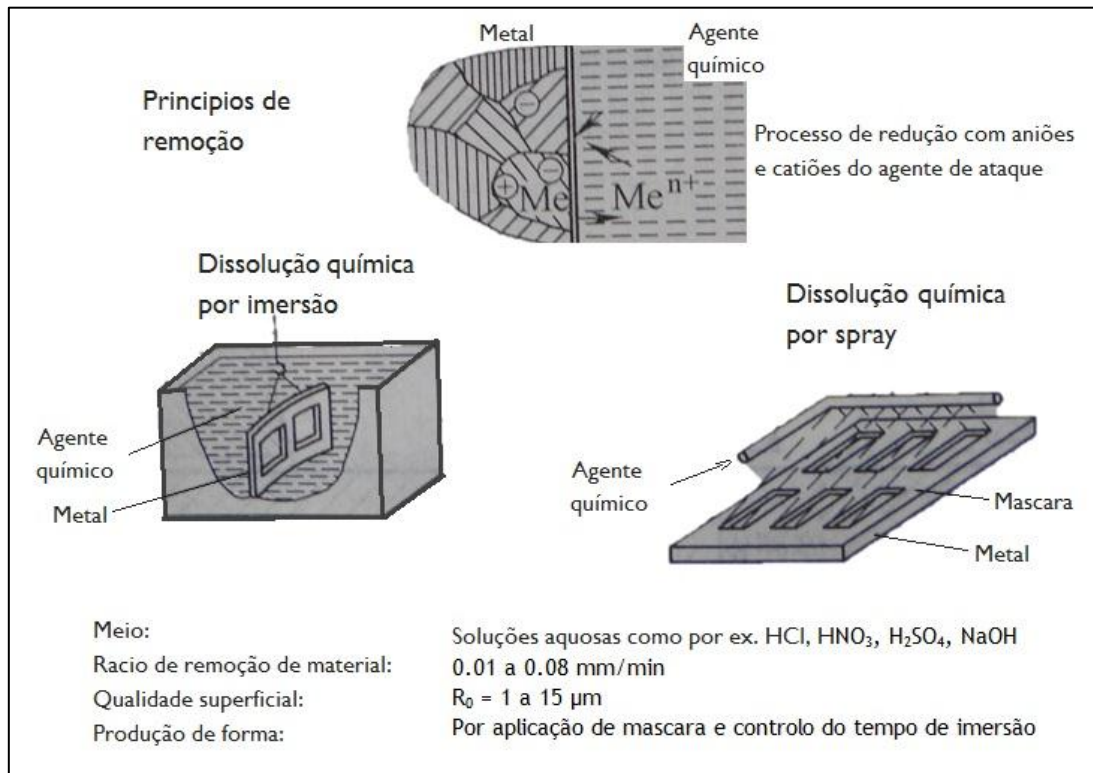


Figura 5. Remoção de material por dissolução química [8].

Antes de efetuar a dissolução química a superfície a texturizar deve estar limpa e polida com um abrasivo muito fino. Durante o processo é necessário ter atenção à velocidade de remoção do material por parte do agente químico. A velocidade é influenciada pela composição química do banho, da temperatura e agitação provocada. Geralmente as velocidades vão desde 0,01 a 0,08 mm/min [8].

Os modos de aplicação de texturização, observados na figura 5, são por imersão ou por *spray*. A dissolução química por imersão consegue atacar tanto peças de grande dimensão como de pequena, de forma simples e com um baixo custo. No caso da dissolução química por *spray* os equipamentos utilizados são mais dispendiosos, mas é mais simples alterar o reagente químico e pode-se efetuar a dissolução em regiões mais específicas ao invés da imersão [8].

Na texturização utilizam-se películas fotossensíveis para ataque fotoquímico e este é o processo mais utilizado na dissolução química. Nesta etapa produzem-se

máscaras que se colocam nas cavidades e buchas dos moldes a texturizar. Estas máscaras impedem que o metal seja removido no seu todo ao criar barreiras entre o agente químico e o metal. Este processo inicia-se com a colocação manual de um filme, que contém um determinado padrão e uma camada fotossensível. O processo está representado na figura 6 [8, 12].

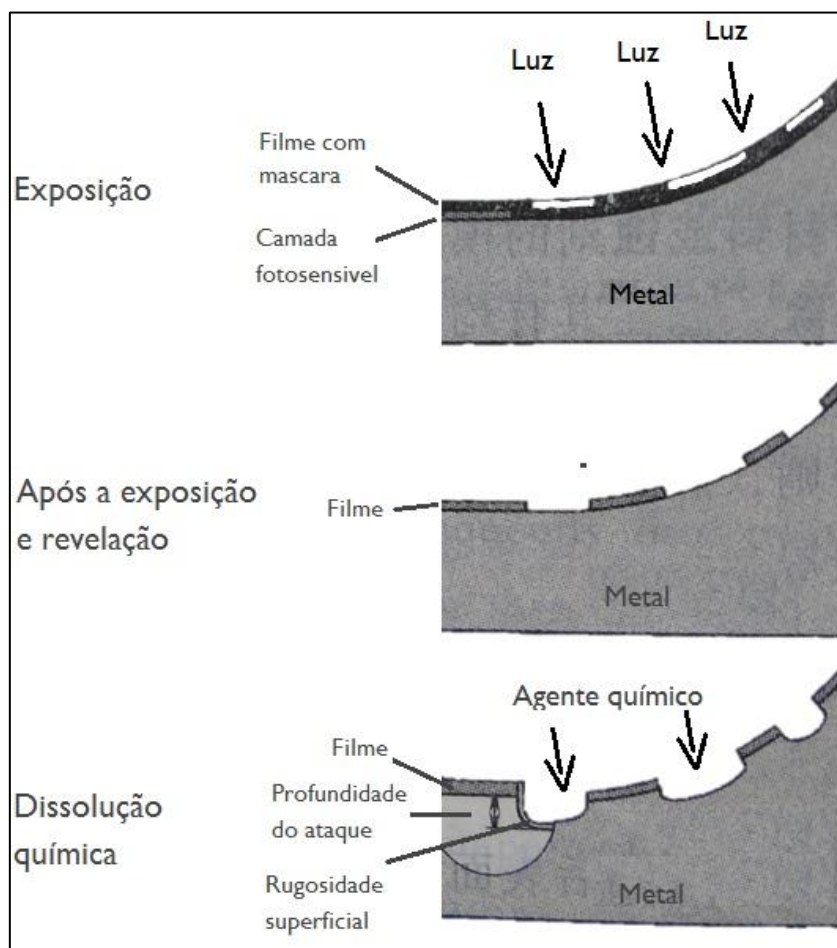


Figura 6. Ataque fotoquímico (esquema) [8].

A reprodução da superfície do molde por parte dos materiais poliméricos não é uniforme. Cada material plástico reproduz a superfície diferentemente dependendo da sua viscosidade, velocidade de plastificação e parâmetros de injeção, como a temperatura do molde, a pressão de compactação e a velocidade de injeção. Em regra, uma menor viscosidade implica uma maior replicação da textura. Consequentemente, materiais com baixa viscosidade reproduzem as superfícies do molde com mais precisão. Todavia, materiais com maiores viscosidades formam superfícies mais arredondadas, não replicando com exatidão a superfície do molde, são mais brilhantes e mais sensíveis a riscarem-se. Elevados parâmetros de processamento de injeção, como a temperatura do molde, velocidade de injeção, pressão de compactação levam a uma melhor reprodução da textura do molde [8].

Além de todos os parâmetros de injeção e propriedades dos materiais o *design* do molde, como a dimensão e posicionamento dos gomos de entrada do material têm uma interferência significativa na reprodução da textura. No caso de este sistema não ser bem concebido pode levar a diferentes replicações da textura, pois as pressões aplicadas entre a superfície e as cavidades do molde vão ser diferentes [8].

O ato da ejeção das peças durante a moldação por injeção tem de ser tido em conta durante a texturização, pois as texturas produzidas podem levar a um aprisionamento das peças na bucha. Deste modo, é necessário ter atenção às profundidades da textura produzidas e da geometria da peça plástica em relação à direção de injeção. Como regra de ouro, a profundidade da textura não pode ultrapassar 0.02 mm por cada grau de diferença entre a direção de ejeção. Na tabela 1 está representada a rugosidade Ra máxima para diferentes materiais e os respetivos ângulos de desmoldação para diferentes materiais termoplásticos [8].

Tabela 1. Rugosidade Ra máxima a considerar e respetivos ângulos de desmoldação entre a direção de ejeção e a superfície da peça plástica para diferentes materiais termoplásticos [8].

Ra μm	Ângulo de desmoldação entre a direção de injeção e a peça		
	PA	PC	ABS
0,40	0,5	1,0	0,5
0,56	0,5	1,0	0,5
0,80	0,5	1,0	0,5
1,12	0,5	1,0	0,5
1,60	0,5	1,5	1,0
2,24	1,0	2,0	1,5
3,15	1,5	2,0	2,0
4,50	2,0	3,0	2,5
6,30	2,5	4,0	3,0
9,00	3,0	5,0	4,0
12,50	4,0	6,0	5,0
18,00	5,0	7,0	6,0

2.2.2. Jato de areias

O processo de dissolução química e ataque fotoquímico providencia ao molde o acabamento e *design* superficial desejados. A superfície obtida no final do processo tem relevo e pode apresentar rugosidades heterogêneas. Deste modo, a rugosidade pode ser corrigida com um jato de areias. Os materiais mais utilizados neste processo são as microesferas de vidro (partículas mais macias) e óxidos de alumínio (partículas mais duras), ambas com características muito distintas. As partículas macias

oferecem superfícies mais lisas enquanto as partículas duras dão origem a superfícies mais rugosas [8].

Este processo complementar além de limpar as superfícies do molde atacadas quimicamente, também é utilizado para atingir um determinado brilho nas peças plásticas produzidas por moldação por injeção. Consoante as partículas utilizadas podem-se obter brilhos mais ou menos elevados. Partículas como microesferas de vidro ao produzirem superfícies mais lisas e com menor rugosidade dão origem a peças mais brilhantes. Por outro lado, partículas de óxidos de alumínio ao produzirem superfícies mais rugosas originam peças com acabamento mate, ou seja, com brilho reduzido [8, 13].

Como está mencionado anteriormente, as partículas utilizadas têm características distintas. As microesferas de vidro têm uma dureza com cerca de 5,5 Mohs e a sua forma é esférica. No caso dos óxidos de alumínio a dureza é aproximadamente 9 Mohs e a sua forma é muito irregular. Na figura 7 é possível observar cada uma das partículas [14].



a)



b)

Figura 7. Imagens ilustrativas de a) microesferas de vidro e b) óxidos de alumínio [15, 16].

2.3. Materiais poliméricos

Hoje em dia os polímeros são dos produtos mais importantes na vida quotidiana de qualquer pessoa, os produtos poliméricos vão desde produtos sofisticados, como próteses na área da medicina até os produtos mais comuns como utensílios descartáveis para a alimentação. A grande popularidade dos polímeros deve-se a uma ampla variedade de aplicações industriais, devido à sua vasta gama de propriedades. Também a sua grande facilidade de processamento, como a moldação por injeção, processo altamente produtivo, tornam estes materiais muito competitivos [17].

Os polímeros são fundamentalmente constituídos por componentes orgânicos. Estes desenvolvem-se devido à sua cadeia de átomos de carbono que podem estar ligados a outros como o oxigénio, enxofre, azoto e hidrogénio. A unidade base que origina o polímero é chamada monómero, o qual se repete ao longo das cadeias deste, formando uma macromolécula que representa o polímero. Para haver a ligação entre os monómeros, de modo a formar o polímero, tem de haver uma reação, conhecida por polimerização. Os principais tipos de polimerização são: a polimerização em cadeia, neste usam-se catalisadores que por ação do calor formam radicais livres que iniciam o processo; a polimerização por condensação, esta envolve mais de um monómero que reagindo entre si, dá origem à libertação de água, que ao ser eliminada leva a que o processo prossiga; outros tipos de polimerização menos comuns são em volume, em solução, em suspensão, em emulsão e em micro-emulsão. [18-20].

Os materiais poliméricos, em função das suas propriedades, são classificados em termoplásticos e termoendurecíveis. Um material termoplástico é constituído por um polímero com elevado peso molecular, cujas ligações são do tipo secundário como forças de *Van der Waals* e pontes de hidrogénio, que formam apenas estruturas lineares ou ramificadas. Os termoplásticos, devido às suas ligações, podem ser reaquecidos e reprocessados sem perda significativa das propriedades. Os termoendurecíveis, por sua vez, apresentam as suas cadeias unidas por ligações covalentes. Ao contrário dos termoplásticos estes, ao serem conformados numa determinada forma e curados por reação química, não podem ser reprocessados. Na figura seguinte estão representadas as diferentes estruturas dos materiais plásticos [17, 19, 20].

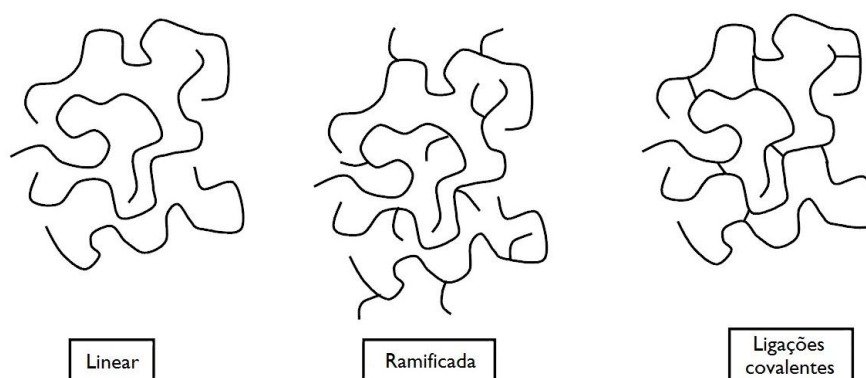


Figura 8. Estrutura linear e ramificada (termoplásticos) e ligações covalentes (termoendurecíveis) [17].

2.3.1. Polipropileno (PP)

O polipropileno é um termoplástico muito versátil, é compatível com muitos métodos de processamento, entre os quais a moldação por injeção e é usado em muitas e diferentes aplicações comerciais [21].

O custo e as propriedades do PP contribuem para que este seja um dos polímeros mais utilizados. Este é um dos termoplásticos mais leves $0,855 \text{ g/cm}^3$ no estado amorfo ou $0,946 \text{ g/cm}^3$ no estado parcialmente cristalino. O rácio entre resistência e peso é dos mais elevados da classe. A temperatura de fusão é bastante alta (160 a $170 \text{ }^\circ\text{C}$) comparativamente aos termoplásticos mais comuns e tem elevada resistência ao calor. No entanto, o PP a temperaturas mais baixas torna-se frágil [21, 22].

O PP é composto por monómeros de propileno que ao polimerizarem formam uma cadeia de polipropileno, como ilustra a figura 9. Para ocorrer a polimerização é necessário a intervenção de um catalisador que por adição de monómeros aumenta o tamanho da cadeia. O PP é considerado um polímero semi-cristalino podendo a sua percentagem de cristalinidade variar entre 3,2 e 67 %, dependendo da sua percentagem são possíveis diferentes estruturas. A percentagem de cristalinidade depende principalmente do processamento do PP e da presença de aditivos [21, 23].

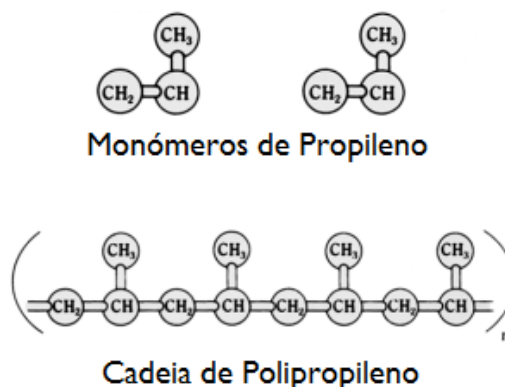


Figura 9. Moléculas de propileno e polipropileno [21].

Apesar das boas propriedades do PP é possível melhorar o desempenho deste polímero com a utilização de aditivos. Estes podem ser: nucleadores, diminuindo o tempo de processamento; corantes que oferecem diferentes colorações ao PP; agentes deslizantes para melhorar a lubrificação da superfície, retardadores de chama, para impedirem que o polímero entre em combustão; e estabilizadores face ao UV para evitarem uma possível degradação [21].

O polipropileno, além dos aditivos referidos, também pode conter cargas que elevam bastante as suas propriedades mecânicas. Entre estas, as mais usuais são o talco, esferas de vidro, as fibras de vidro e as fibras de carbono [21].

O processamento do PP dá-se a temperaturas entre os 191 e 250 °C e as pressões a utilizar devem ser entre 69 e 103 MPa para a injeção; 8 MPa de pressão de recuo e cerca de 49 MPa de pressão de compactação [23].

2.3.2. Acrilonitrina butadieno estireno (ABS)

O consumo do copolímero ABS só é ultrapassado pelo PE, PP, PVC e PS, isto demonstra que é um polímero que está muito associado ao nosso dia a dia e que é utilizado em muitas aplicações industriais [24].

As principais razões que justificam o elevado consumo do ABS são a sua alta resistência ao impacto, boa rigidez, excelente qualidade superficial, boa estabilidade dimensional a temperaturas elevadas, boa resistência química e boa resistência à fissuração sob tensão. Por outro lado, tem como principais desvantagens a falta de transparência, a baixa resistência a intempéries e a pobre resistência contra a combustão [24].

O ABS é um copolímero constituído por 3 monómeros distintos: a acrilonitrina, o butadieno e o estireno. A percentagem de cada um destes monómeros na cadeia polimérica do ABS é variável, dando diferentes propriedades dependendo da percentagem de cada um. A acrilonitrina pode ter percentagens de 15 a 50 %, para o butadieno a sua percentagem pode variar entre os 5 e os 30 %, enquanto a percentagem de estireno pode variar entre 40 e 60%. Na figura 10 é possível observar cada um dos monómeros bem como a cadeia do copolímero ABS [25, 26].

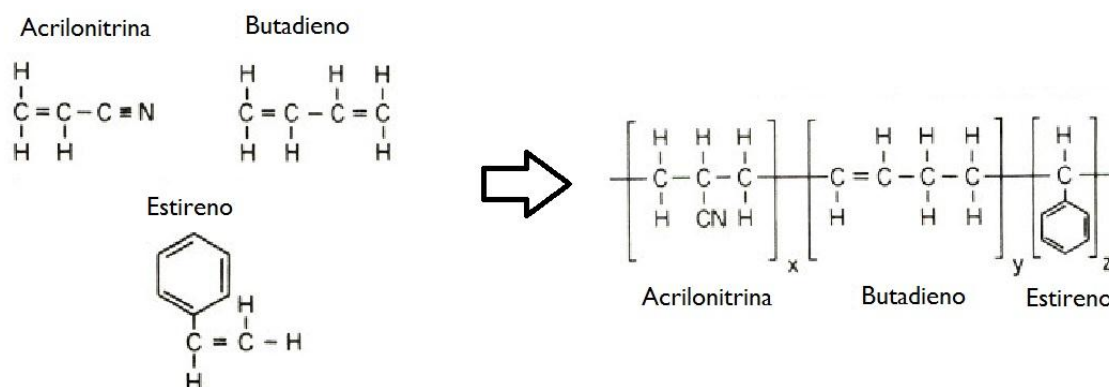


Figura 10. Estrutura química dos monómeros do ABS e respetiva cadeia [25].

O processamento do ABS para a moldação por injeção deve ser com uma temperatura de fusão de 220 a 260 °C e a pressão a aplicar de 53 MPa para a compactação e de cerca de 5 MPa para o recuo [26].

2.4. Rugosidade

A rugosidade é um dos métodos de avaliação da textura do molde bem como das peças plásticas. Deste modo, é possível com esta medição controlar com exatidão a topografia introduzida pela textura [27].

O acabamento superficial mede-se pela rugosidade superficial e é geralmente expresso em μm . O controlo superficial da rugosidade tem duas funcionalidades muito importantes: uma delas é ajudar o controlo de fabrico, incluindo a maquinaria; a outra é ajudar a otimizar a sua função (qualidade de *design*). Estas duas funções têm um profundo impacto na qualidade do produto final [27].

A importância da análise da rugosidade, no que se refere a especificações geométricas de produtos, levou à criação da norma europeia, a ISO 4287. Esta norma especifica termos, definições e parâmetros para a determinação da textura de superfície (rugosidade, ondulação e perfil primário) [28].

Estão disponíveis vários instrumentos para a medição da rugosidade. As técnicas de medição podem ser divididas em duas categorias: medição por contacto, neste método o instrumento de medição está em contacto com a superfície a medir; e medição sem contacto, efetuada com um feixe laser [29].

Na medição por contacto existem limitações geométricas por parte do palpador perante as possíveis características da superfície. O tamanho e forma da ponta de contacto vão determinar a sua capacidade de medição, esta não pode medir profundidades superiores à sua nem raios inferiores ao seu [30].

Nos instrumentos óticos, ou seja, sem contacto com a superfície têm como limitação o comprimento de onda que define a resolução espacial. Outros problemas podem surgir caso a superfície seja altamente refletora ou absorva demasiado a luz, desta forma a superfície não é corretamente detetada [30].

2.4.1. Medição de rugosidade por contacto

Este método utiliza um instrumento que amplifica e grava os movimentos verticais de um palpador que se movimenta a uma determinada velocidade sobre a superfície a medir [29].

Os palpadores são mecanicamente acoplados a um transdutor, este pode ser um transformador diferencial variável linear (LVDT), um sensor ótico ou um sensor capacitivo. O mecanismo para recolha de dados funciona com a aplicação de carga do palpador sobre a amostra que é varrida por uma unidade transversal, a velocidade constante. De seguida, o transdutor produz um sinal analógico que corresponde ao movimento do palpador. Este sinal é, em seguida, amplificado e traduzido em diferentes parâmetros de rugosidade [29].

Na figura 11 está representado um rugosímetro de contacto. Este aparelho é composto por uma cabeça de medição que contém o palpador e um braço que está ligado ao transdutor LVDT para monitorizar os movimentos verticais. O solenóide de força é acoplado ao braço do palpador pelo eixo de flexão e promove a pressão do palpador sobre a amostra. O sensor de proximidade serve para limitar a localização do palpador em relação à amostra [29].

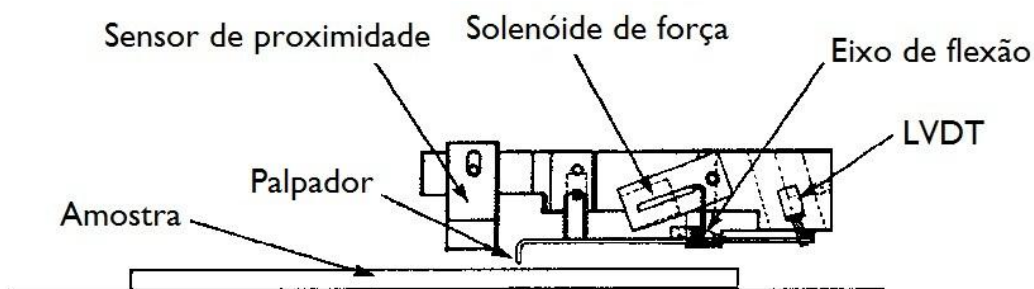


Figura 11. Esquema de um rugosímetro de contacto [29].

2.4.2. Parâmetros de avaliação da rugosidade

Os parâmetros de rugosidade podem ser calculados tanto em duas como em três dimensões. Na avaliação da rugosidade em 2D apenas é analisado um determinado comprimento correspondente a uma linha, enquanto em 3D a análise é efetuada numa área. Os parâmetros de rugosidade são normalmente categorizados em três grupos de acordo com a sua funcionalidade. Estes grupos são definidos em parâmetros de amplitude, parâmetros espaciais e parâmetros híbridos [28, 31].

2.4.2.1. Parâmetros de amplitude

Os parâmetros de amplitude são os mais importantes para caracterizar a topografia de uma superfície. São utilizados para medir as características verticais da superfície. Entre estes, os mais importantes são o desvio médio aritmético do perfil avaliado (R_a), o desvio médio quadrado do perfil avaliado (R_q), a altura máxima do perfil em 10 pontos (R_z) e a altura máxima do perfil (P_t) [28, 31].

A rugosidade Ra é a medida mais usada para controlo de qualidade. Esta é definida pelo desvio médio absoluto das irregularidades verticais ao longo de um dado comprimento de amostragem, como é possível observar na figura 12. A definição matemática da rugosidade Ra é calculada pela equação 1, onde l é o comprimento analisado e $y(x)$ a rugosidade da amostra [31].

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (1)$$

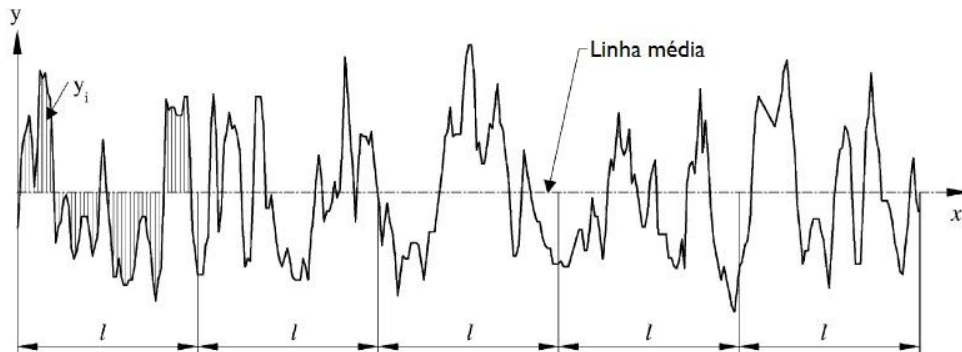


Figura 12. Definição do desvio médio aritmético do perfil (Ra) [31].

A rugosidade Rz é mais sensível que a Ra, para a medição de rugosidades mais acentuadas. A norma ISO define este parâmetro pela diferença de alturas entre a média dos cinco picos mais altos e dos cinco vales mais baixos ao longo de um determinado comprimento. A norma DIN, por sua vez, define esta rugosidade como a média do somatório dos cinco picos mais altos e dos cinco vales mais baixos ao longo de um determinado comprimento, como demonstra a figura 13. As equações matemáticas que definem o Rz estão representadas nas equações 2 e 3, onde p corresponde aos pontos mais altos e v aos pontos mais baixos registados [31].

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (2)$$

$$R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (3)$$

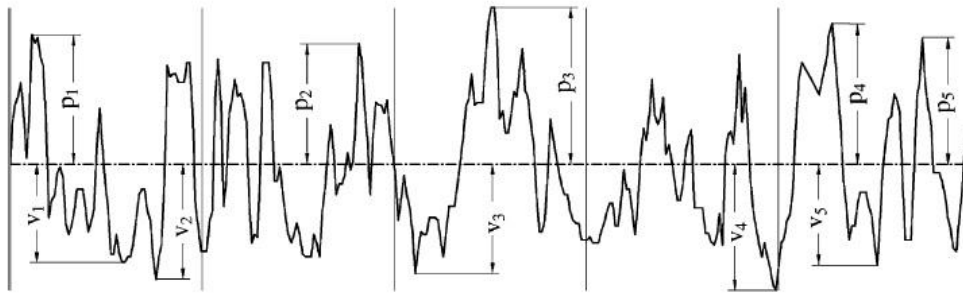


Figura 13. Definição da altura máxima do perfil em 10 pontos (Rz ISO e DIN) [31].

A rugosidade Rq representa um desvio *standard* da distribuição da altura da superfície, sendo um ótimo parâmetro para descrever a rugosidade da superfície por métodos estatísticos. Este parâmetro é mais sensível que a rugosidade Ra quando existem desvios significativos da linha média. Este pode ser calculado pela equação 4, onde l é o comprimento analisado e $y(x)$ a rugosidade da amostra [31].

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \{y(x)\}^2 dx} \quad (4)$$

O Pt ou R_{max} é altamente sensível aos pontos mais altos e mais baixos de uma superfície. Este parâmetro é definido pela soma entre o pico mais alto e o mais baixo, como é possível observar na figura 14 [31].

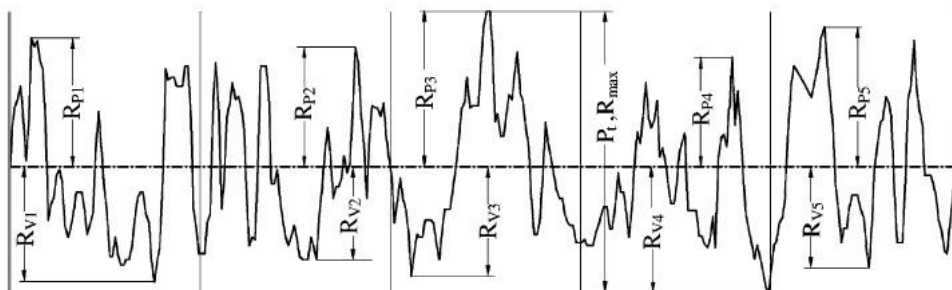


Figura 14. Definição da altura máxima do perfil (Pt) [31].

2.4.2.2. Parâmetros espaciais

Os parâmetros espaciais são os que medem as características horizontais dos desvios da superfície. Entre todos os parâmetros espaciais o que se destaca é o número das larguras médias dos elementos do perfil (RPc) [28, 31].

O RPc é determinado pelo número de picos locais, estes são definidos por a distância da linha média definida pelo utilizador, em que todos os picos acima ou a baixo dessa mesma distância são contabilizados. O número de contagem de picos é determinado ao longo do comprimento de avaliação e o resultado é dado em picos por centímetro. A figura 15 demonstra como é efetuada esta medição [31].

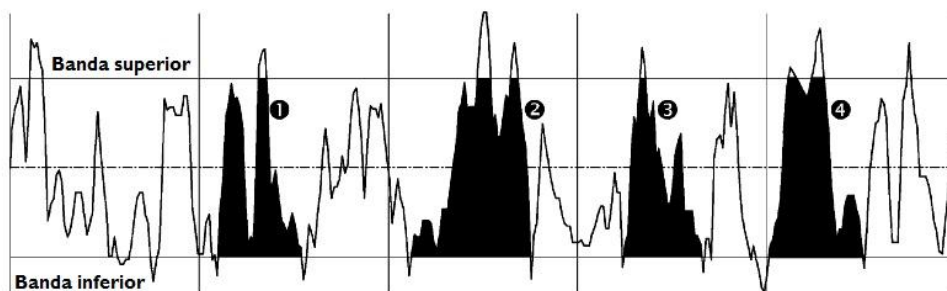


Figura 15. Contagem do número de larguras médias dos elementos do perfil (RPC) [31].

2.4.2.3. Parâmetros híbridos

Os parâmetros híbridos são uma combinação entre os parâmetros de amplitude e os espaciais. Qualquer alteração que ocorra tanto na direção vertical como na horizontal vai ter um efeito neste parâmetro. Entre todos os parâmetros o que mais se destaca é a raiz quadrada média dos declives do perfil avaliado (RΔq) [28, 31].

O RΔq é a raiz quadrada da média da inclinação média do perfil. A equação 5 demonstra como pode ser calculado este parâmetro, onde L é o comprimento de amostragem e $y(x)$ o perfil de rugosidade [31].

$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L \left(\frac{d}{dx} y(x) \right)^2 dx} \quad (5)$$

2.5. Brilho

O olho humano é de longe o melhor instrumento ótico para avaliar o brilho, pois consegue diferenciar, sem qualquer problema, diferenças de intensidade luminosa muito próximas. Em contrapartida, a avaliação humana do brilho é difícil, depende de pessoa para pessoa sendo apenas comparativa, torna-se assim impossível de quantificar com precisão já que o ser humano não tem essa capacidade [32].

Para resolver esta questão, surgiram equipamentos que calculam a intensidade do brilho. Esta medida é importante para definir a qualidade e a aparência visual das peças plásticas. Visto que, a maioria das aplicações que utilizam peças poliméricas necessitam de requisitos específicos de brilho de superfície. O brilho, a cor e a textura superficial são as principais propriedades de avaliação da aparência de uma superfície [33].

A aparência da superfície é visualmente perceptível e divide-se em duas categorias: luz e cor, com diferentes características [18].

A cor depende da absorção seletiva da luz e pode ser descrita tanto pelos seus valores de triestímulos (X, Y e Z) ou pelo sistema de Munsell, que classifica a cor em termos de matriz, luminosidade e saturação. A cor está relacionada com atributos de reflexão espectral de uma superfície [18, 33].

As características de luminosidade, comparativamente à cor, são mais difíceis de avaliar pelo olho humano, podendo no entanto ser analisadas. O brilho está relacionado com atributos da reflexão direcional da luz, dependendo da uniformidade da superfície e do índice de refração do material [18, 33].

2.5.1. Parâmetros de avaliação do brilho

A fim de garantir a qualidade das peças poliméricas, foi necessário descrever o brilho das superfícies com critérios objetivos e mensuráveis. Os dispositivos de medição de brilho são há muito utilizados pela indústria na quantificação do brilho [32].

A medição de brilho é dividida em três componentes: fonte de luminosidade, a superfície e o recetor. No entanto, as características que influenciam o brilho são: o tipo de material (estrutura do polímero), a topografia superficial e o grau de transparência [32].

No caso de superfícies lisas, de alto brilho existe uma grande reflexão da luz. A intensidade da luz refletida é dependente do ângulo de incidência e das propriedades do material (índice de refração). Nos polímeros, parte da luz incidente penetra no material e é seletivamente absorvida ou espalhada, dependendo da cor do pigmento. A luz difusa sai do material e dá a impressão de uma cor específica, figura 16 [32].

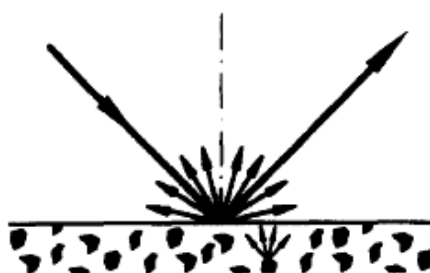


Figura 16. Reflexão difusa [32].

Para superfícies texturizadas a luz não reflete apenas na direção especular, reflete difusamente em outras direções. A reflexão analisada diminui drasticamente, pois quanto maior a difusão da luz menor será o brilho que a peça apresenta. A figura 17 representa uma superfície com elevada difusão de luz [32].

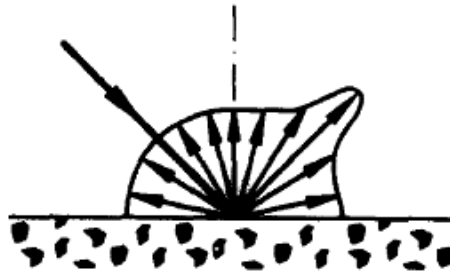


Figura 17. Superfície semi-brilhante [32].

O brilho é apresentado em unidades de brilho (UB), este valor parte de 0 UB, superfície totalmente mate, a qual não reflete qualquer tipo de luz, sendo que, os valores máximos podem chegar a 2000 UB, superfície muito brilhante, típico de metais polidos. O calibre universal está definido para 100 UB referente a uma superfície *standard* de vidro preto polido com um índice de refração de 1.567, no entanto existem outros calibres que podem ser utilizados [32, 34].

O ângulo de incidência da luz também afeta os resultados, os ângulos utilizados pelos medidores de brilho nas medições podem ser de: 20°, 60° e 85°. O ângulo mais utilizado e recomendado para a análise de peças plásticas é o de 60° que é o indicado para peças semi-brilhantes. Para a análise de peças de alto brilho é recomendado utilizar um ângulo de 20°, enquanto para baixos brilhos é indicado 85° [34, 35].

2.5.2. Medidor de Brilho

Cada aparelho é constituído por uma fonte de luz incandescente que é responsável por gerar um feixe de luz que incidirá no recetor, como é apresentado na figura 18 (onde “*i*” é o ângulo especular (incidência) e “*v*” o ângulo de receção da luz refletida). O recetor deve ser um dispositivo fotossensível capaz de reagir à incidência da radiação visível [36].

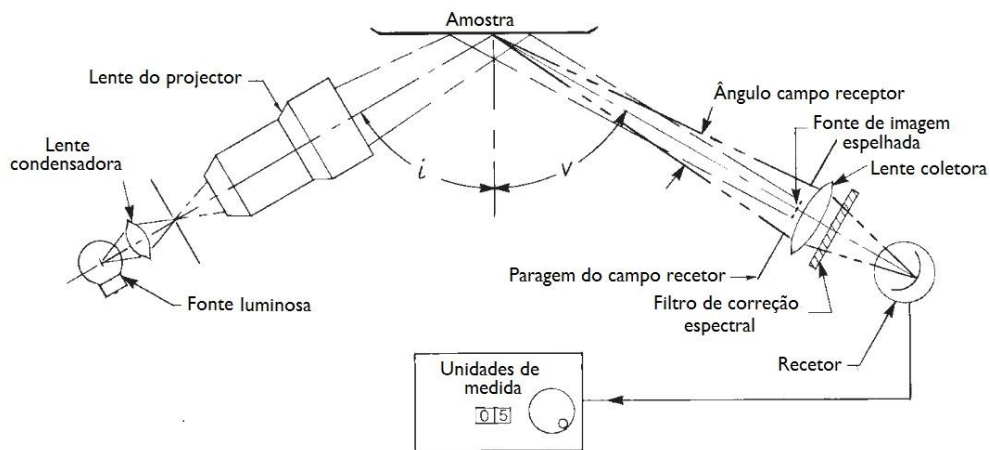


Figura 18. Diagrama de um medidor de brilho, apresentando os seus componentes principais [36].

2.6. Influências do brilho nas peças plásticas

O brilho das peças plásticas depende de três fatores, dois afetam diretamente o brilho e outro afeta-o indiretamente. Um deles é o índice de refração, este indicador depende da natureza do material polimérico e da coloração que lhe é associada. Outro fator que afeta o brilho é a microrrugosidade introduzida nas superfícies do molde, este fator é o que mais afeta o valor do brilho pois interfere diretamente com a reflexão da luz. Por fim, o fator que influencia indiretamente o brilho está associado à microrrugosidade do molde que pode ser copiada com maior ou menor exatidão dependendo do coeficiente de atrito entre o polímero e o metal, este é o último fator que influencia indiretamente o brilho, dependendo tanto dos parâmetros de injeção como das propriedades reológicas do polímero e das propriedades de transferência de calor do aço utilizado [6, 37-40].

2.6.1. Índice de refração do material

A natureza do material influencia o brilho medido, pois este depende do índice de refração do material. O índice de refração é diferente para cada material e pode ser calculado pela relação de *Lorentz-Lorenz* que relaciona este parâmetro com a densidade, como se pode verificar na equação 6 [41-43]:

$$\frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} \cdot \frac{1}{\rho} = \left(\frac{4}{3}\right) \pi \cdot N \cdot \alpha \cdot M \quad (6)$$

Nesta equação, n é o índice de refração, ρ a densidade, N o número de Avogadro, M a massa molecular e α a polaridade molecular. Esta propriedade é a facilidade com que a distribuição eletrônica da molécula pode ser distorcida por uma ação de um campo elétrico externo; geralmente quanto maior for o número de elétrons e o tamanho da molécula, maior é o seu valor [41-44].

O índice de refração para a maior parte dos polímeros é aproximadamente 1,5; por exemplo o PMMA tem cerca de 1,492; o PP 1,53 e o PS 1,59. Polímeros como o PTFE, que por ser altamente polarizável, tem cerca de 1,37; o PDMS por ter um menor número de átomos de carbono tem 1,40. De acordo com as estruturas moleculares conhecidas, os índices de refração variam entre 1,33 e 1,73 [42, 43].

O grau de cristalinidade dos polímeros também influencia o índice de refração. No caso dos polímeros cristalinos e semi-cristalinos as moléculas são mais compactas que nos polímeros amorfos. Deste modo, um aumento de cristalinidade leva a um aumento do índice de refração [39, 42, 43].

O índice de reflexão R é definido pela razão entre a intensidade da luz refletida, I_r e incidente I_0 . De acordo com a lei de Fresnel este índice depende dos ângulos de incidência α e refração β . A equação 7 apresenta a fórmula de cálculo do índice de reflexão [42].

$$R = \frac{I_r}{I_0} = \left[\frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} + \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)} \right] \quad (7)$$

O índice de reflexão é mais pequeno quanto menor for o ângulo de incidência [42].

Em suma, o brilho está dependente da capacidade do material absorver a luz (índice de refração) e de a refletir (índice de reflexão). A relação direta entre o índice de refração e o brilho é que quanto maior for este índice, maior será o brilho [39, 42].

A figura 19 esclarece que o brilho aumenta com o aumento do índice de refração, assim como do ângulo de incidência, até o valor de refração máximo teórico [42].

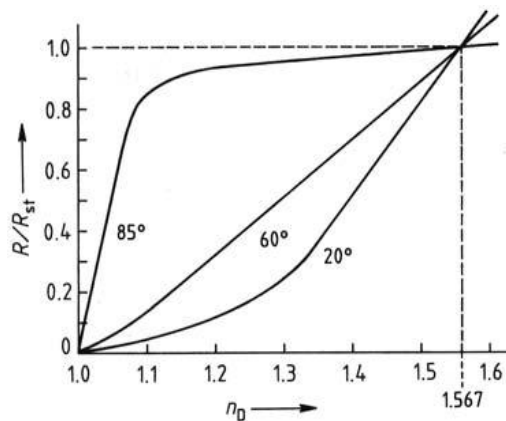


Figura 19. Comparação do índice de refração (n_D) com o brilho teórico (R/R_{st}) e ângulo de incidência até o valor máximo teórico de refração (1,567) [42].

2.6.2. Geometria e microrrugosidade da textura

A geometria e a microrrugosidade da superfície do material plástico obtido tem uma grande influência no brilho calculado. A relação entre a rugosidade e o brilho é inversamente proporcional, quanto maior é a rugosidade menor será o brilho. Durante a medição de brilho a luz emitida é tanto mais dispersa quanto maior for a rugosidade da superfície. A dispersão de luz causada pela topografia por parte de uma superfície rugosa leva a uma menor receção de luz refletida pelo medidor de brilho. Deste modo, o valor de brilho vai ser tanto menor quanto maior for a rugosidade [6].

Estudos recentes indicam que é possível prever o brilho conhecendo a rugosidade associada às peças poliméricas bem como o ângulo de incidência, o comprimento de onda da luz incidente, o índice de refração do material e a geometria do medidor de brilho [37, 45].

2.6.3. Coeficiente de atrito polímero/metal

O tópico aqui analisado não influencia diretamente o brilho, mas afeta a rugosidade da peça obtida durante a moldação por injeção. Durante este processo desenvolvem-se forças de atrito entre a superfície do polímero e do molde. Estas forças resultam da contração do polímero dentro do molde, devido à diferença entre os coeficientes de expansão térmica dos materiais termoplásticos e do aço [38].

A eficiência da injeção depende de diferentes fatores, entre eles os ângulos de desmoldação e o seu acabamento superficial, as propriedades do material plástico à temperatura de ejeção e dos dispositivos de atuação da máquina de injeção como a temperatura de injeção, a temperatura do molde, a velocidade de injeção e a pressão de compactação [38].

O atrito é entendido como a resistência ao movimento relativo oferecido por corpos em contacto. Na moldação por injeção estes corpos são a superfície do molde em aço e o polímero injetado. A equação 8 é utilizada para calcular o coeficiente de atrito [38].

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (8)$$

Nesta equação o μ representa o coeficiente de atrito, F a força de atrito e N a força de contacto. O coeficiente de atrito estático (μ_s) é o que melhor descreve o comportamento durante o processo. A influência da rugosidade R_a sobre este parâmetro é inversamente proporcional, quanto maior for a rugosidade menor será o coeficiente de atrito estático. Por outro lado, o aumento da força de contacto origina um aumento do valor deste coeficiente. Com isto, conclui-se que quanto maior for este coeficiente melhor vai ser a reprodução da superfície do molde. Deste modo, um aumento dos parâmetros de injeção leva a um aumento deste coeficiente de atrito e, conseqüentemente melhoria na replicação da superfície do molde [38, 46].

3. Trabalho experimental

3.1. Introdução

Este trabalho experimental foi realizado em colaboração com a empresa Mold-Tech® Portugal, Tratamento e Revestimento de Metais LDA, que disponibilizou todos os recursos ao seu alcance para desenvolver um estudo sobre o brilho das peças plásticas. Na empresa Mold-Tech® Portugal, foram produzidos os postigos (parte constituinte do molde que se encontra na chapa bucha) dos moldes com as respetivas texturas, bem como realizadas todas as medições de rugosidade e brilho. Na empresa IMFU - Indústria de Moldes, Ferramentas e Utensílios, S.A, foi realizado a injeção das placas plásticas. Na FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto foram obtidas fotomicrografias.

3.1.1. Metodologia do trabalho experimental

Tendo em vista o objetivo apresentado no ponto 1.3, foram definidas diferentes etapas a seguir. Inicialmente foram fabricados dois postigos com duas texturas diferentes e três acabamentos, com jato de partículas, distintos. As texturas escolhidas foram uma com um grão geométrico e outra com um grão *stipple*. De seguida, foram definidas três zonas para aplicar diferentes acabamentos, em que numa foi dado um acabamento com partículas de óxidos de alumínio de tamanho 177 μm , outra com óxidos de alumínio de 125 μm e por fim um acabamento com microesferas de vidro com partículas de tamanho compreendido entre 90 e 150 μm .

Após este estudo, com o objetivo de obter melhores resultados entre a relação de brilhos do aço e dos materiais plásticos, foram fabricados três postigos com três texturas diferentes e seis acabamentos diferentes. As texturas produzidas foram uma com grão a imitar pele, outra geométrica e a última com um grão *stipple*. Os acabamentos aplicados foram uma mistura de grãos de vidro com óxidos de alumínio, com a intenção de provocar uma gradação de brilhos nos diferentes postigos.

Os ensaios realizados permitiram analisar a superfície das texturas e diferenciá-las, tanto pelo seu brilho, como pela sua rugosidade. Também foram observadas as texturas com um microscópio estereoscópico. Neste trabalho, os ensaios foram efetuados pela seguinte sequência:

- Medição de diferentes parâmetros de rugosidade nos postigos e placas plásticas, a partir de um rugosímetro portátil.

- Medição do brilho nos postigos e placas poliméricas, a com um medidor de brilho.
- Visualização dos postigos e placas no microscópio estereoscópico.

Na figura 20 são apresentadas, de forma esquemática, as etapas deste trabalho.

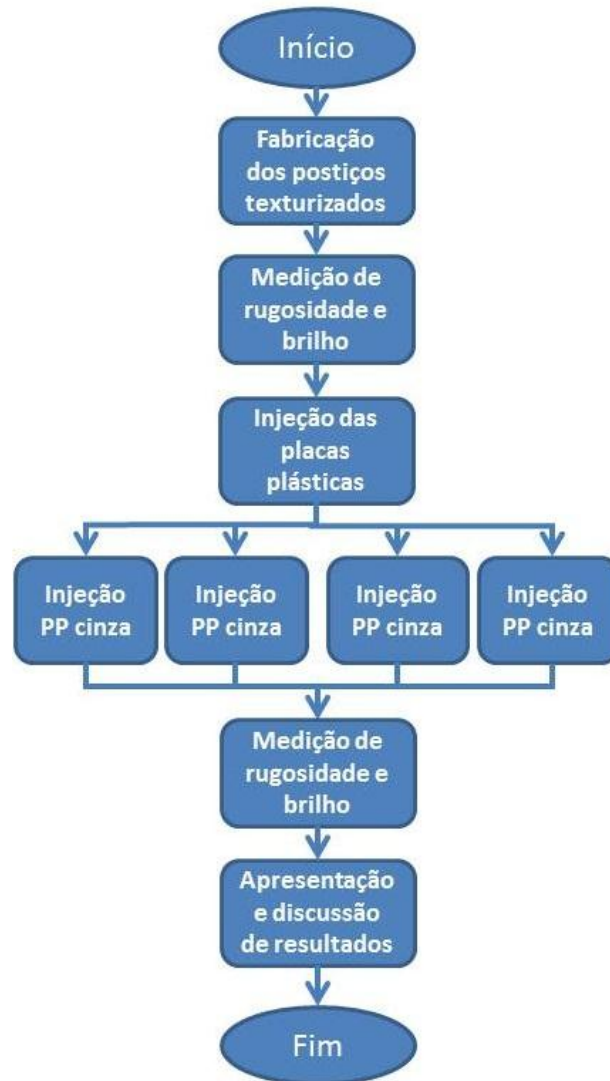


Figura 20. Fluxograma relativo ao trabalho experimental.

3.2. Equipamentos utilizados

3.2.1. Rugosímetro

Para análise da rugosidade dos postigos do molde e das placas plásticas foi utilizado um rugosímetro “Hommel-Etamic W10”, este é considerado um rugosímetro de contacto que efetua medições em 2D. Os parâmetros utilizados durante as medições foram o Ra, Rz, RΔq e Pt. Na figura 21 é possível visualizar uma fotografia do equipamento utilizado durante uma medição, bem como os resultados obtidos.



a)

b)

Figura 21. Rugosímetro utilizado na empresa Mold-Tech®.

3.2.2. Medidor de Brilho

Para realizar a medição do brilho dos postigos do molde e das placas plásticas injetadas foi utilizado um medidor de brilho “BYK micro-gloss”. As unidades deste equipamento vêm em unidades de brilho (UB) e correspondem a uma medição efetuada com um ângulo de 60°.



Figura 22. Medidor de brilho utilizado na empresa Mold-Tech®.

3.2.3. Máquina de injeção

Na realização deste estudo, foi utilizada uma máquina de injeção de plásticos “ARBURG Allrounder 320M 750-210” para obter as placas plásticas, existente na empresa IMFU S.A.. Na figura 23 é possível observar o equipamento durante o seu funcionamento.



Figura 23. Máquina de injeção ARBURG Allrounder utilizada na injeção das placas plásticas.

As principais características relativas a esta máquina de injeção estão indicadas na tabela 2.

Tabela 2. Características da máquina injetora ARBURG Allrounder 320M 750-210.

Unidade de fixação		Unidade de injeção	
Força de fecho	750 kN	Diâmetro do fuso	40 mm
Força máxima de abertura do molde	192 kN	Pressão de injeção	180 bar
Dimensão dos pratos	490 x 490 mm	Pressão máxima de injeção	1150 bar
Distância entre colunas	320 x 320 mm	Taxa de injeção	200 cm ³ /s
Altura mínima do molde	250 mm	Capacidade da tremonha	50 L
Altura máxima do molde	625 mm	Velocidade circunferencial do fuso	65 m/min
Diâmetro máximo do molde	477 mm	Cilindro e bico de aquecimento	5,1 kW
Curso do ejetor hidráulico	150 mm	Avanço máximo do fuso	150 mm
Força de extração (avanço/recuo)	38 kN	Peso total da máquina	3500 Kg

3.2.4. Termómetro infravermelho

Para registar a temperatura do molde em tempo real foi utilizado um termómetro digital infravermelho, “MT-350 MINIPA”. A figura 24 ilustra o equipamento aludido.



Figura 24. Termómetro digital infravermelho, MT-350 MINIPA.

3.3.Meios experimentais utilizados

3.3.1. Aço utilizado para produzir os postigos

O material utilizado para a fabricação dos postigos é um aço “AISI P20 + Ni”, designado também por “1.2738” e “DIN 40 CrMnNiMo 8-6-4”. Este é designado como aço ferramenta e é temperado e revenido tendo uma dureza de cerca de 325 HB e resistência à tração de aproximadamente 1100 N/mm². É muito utilizado no fabrico de moldes para injeção de polímeros e ferramentas para extrusão. É um aço apropriado quando se desejam superfícies polidas. Na tabela 3 é apresentada a sua composição química [47].

Tabela 3. Composição química do aço utilizado nos postigos [47].

Elementos	%
C	0,35 - 0,45
Si	0,20 - 0,40
Mn	1,30 - 1,60
P	0,00 - 0,03
S	0,00 - 0,03
Cr	1,80 - 2,10
Mo	0,15 - 0,25
Ni	0,90 - 1,20

3.3.2. Acabamentos dos postigos estudados

Os acabamentos aplicados nos postigos foram efetuados com um jato de partículas, entre elas óxidos de alumínio e microesferas de vidro, de diversas dimensões.

3.3.2.1. Óxidos de alumínio

Os óxidos de alumínio aplicados no acabamento das texturas tinham a dimensão de 177, 125 e 65 µm. A sua dureza é de aproximadamente 9 Mohs e a forma dos grãos é angular. Na tabela 4 é apresentada a composição química aproximada destas partículas.

Tabela 4. Composição química dos óxidos de alumínio [48].

Elementos	%
Al ₂ O ₃	95,7
TiO ₂	2,5
SiO ₂	0,86
Fe ₂ O ₃	0,14
CaO	0,39
MgO	0,24
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,15

3.3.2.2. Esferas de vidro

As esferas de vidro utilizadas para o acabamento dos postigos texturizados tinham um tamanho médio compreendido entre 90 e 150 µm. A sua dureza é de aproximadamente 6 Mohs e a forma dos grãos é esférica. Na tabela 5 é apresentada uma composição química aproximada destas partículas.

Tabela 5. Composição química das esferas de vidro [16].

Elementos	%
SiO ₂	70,0 - 75,0
Na ₂ O	12,0 - 15,0
CaO	7,0 - 12,0
MgO	max. 5,0
Al ₂ O ₃	max. 2,5
K ₂ O	max. 1,5
Fe ₂ O ₃	max. 0,5

3.3.3. Postigos texturizados

Para a realização deste trabalho experimental foram fabricados cinco postigos. Dois foram texturizados um com um grão geométrico e outro com *stipple* e em ambos apenas se aplicaram três acabamentos com jato de partículas. Aos restantes três postigos produzidos foram aplicadas texturas, a imitar pele, geométrica e *stipple* e em cada um foram aplicados seis acabamentos por jato de partículas.

3.3.3.1. Postigos: grão geométrico e *stipple* com 3 acabamentos

Para a realização deste estudo foram fabricados dois postigos, um com grão geométrico “MT 11620”, ilustrado na figura 25 a) e um com grão *stipple* “MT 1055”, ilustrado na figura 25 b). Na figura 25 é possível observar a respetiva textura bem como três zonas com diferentes acabamentos. Na zona 1 o acabamento aplicado foi executado com grãos de óxido de alumínio de 80 MESH, na zona 2 com grãos de óxido

de alumínio de 120 MESH e na zona 3 com microesferas de vidro com um tamanho compreendido entre 90 e 150 μm . Na tabela 6 e 7 estão apresentados os valores de brilho e as rugosidades medidas dos postiços com grão geométrico e *stipple* respectivamente. Para facilitar a designação dos postiços ao longo deste trabalho estes serão referenciados como PG3 (postiço de grão geométrico com três acabamentos) e PS3 (postiço de grão *stipple* com três acabamentos).

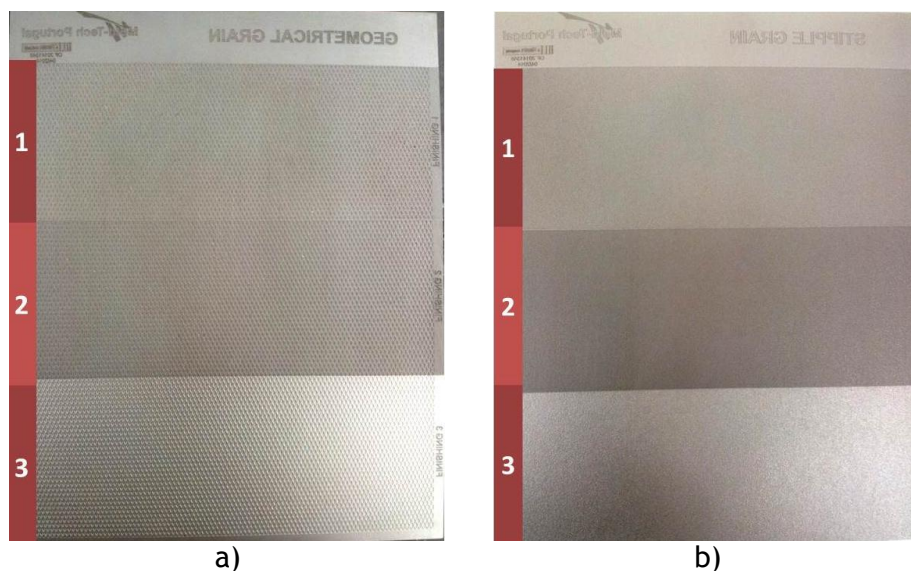


Figura 25. Postiços PG3 a) e PS3 b) com área de 21 x 17 cm.

Tabela 6. Valores de brilho e rugosidade das diferentes zonas do postiço PG3.

Zona	Brilho, UB	Ra, μm	Rz, μm	Pt, μm	R Δ q
1	2,7 \pm 0,1	29,4 \pm 0,6	83,0 \pm 0,8	102,7 \pm 2,8	0,44 \pm 0,02
2	2,8 \pm 0,0	29,7 \pm 0,5	80,5 \pm 1,4	98,7 \pm 2,0	0,41 \pm 0,02
3	22,2 \pm 0,6	29,9 \pm 0,6	79,5 \pm 1,8	97,9 \pm 2,9	0,34 \pm 0,02

Tabela 7. Valores de brilho e rugosidade das diferentes zonas do postiço PS3

Zona	Brilho, UB	Ra, μm	Rz, μm	Pt, μm	R Δ q
1	2,7 \pm 0,1	8,8 \pm 0,3	49,8 \pm 2,5	69,9 \pm 4,7	0,38 \pm 0,01
2	2,1 \pm 0,0	8,5 \pm 0,5	48,0 \pm 2,6	69,6 \pm 6,0	0,37 \pm 0,01
3	10,3 \pm 0,5	7,8 \pm 0,7	44,8 \pm 4,4	67,9 \pm 8,4	0,24 \pm 0,02

3.3.3.2. Postiços: grão pele, geométrico e *stipple* com 6 acabamentos

Os postiços estudados foram produzidos na Mold-Tech® e têm um grão pele figura 26 a), um grão geométrico figura 26 b) e um grão *stipple* figura 26 c). Na respectiva figura é possível observar a textura, bem como seis zonas com diferentes acabamentos. Nestas zonas foram aplicadas diferentes misturas de partículas de óxidos de alumínio e esferas de vidro com o objetivo de obter diferentes brilhos, em que na utilização de maiores quantidades de óxidos de alumínio foram obtidos brilhos

mais baixos e para maiores quantidades de esferas de vidro foram alcançados brilhos mais altos. Na tabela 8, 9 e 10 estão apresentados os valores de brilho pertencentes aos postiços com grão pele, geométrico e *stipple* respetivamente. Para facilitar a designação dos postiços ao longo deste trabalho estes serão referenciados como PP6 (postiço de grão pele com seis acabamentos), PG6 (postiço de grão geométrico com seis acabamentos) e PS6 (postiço de grão *stipple* com seis acabamentos).

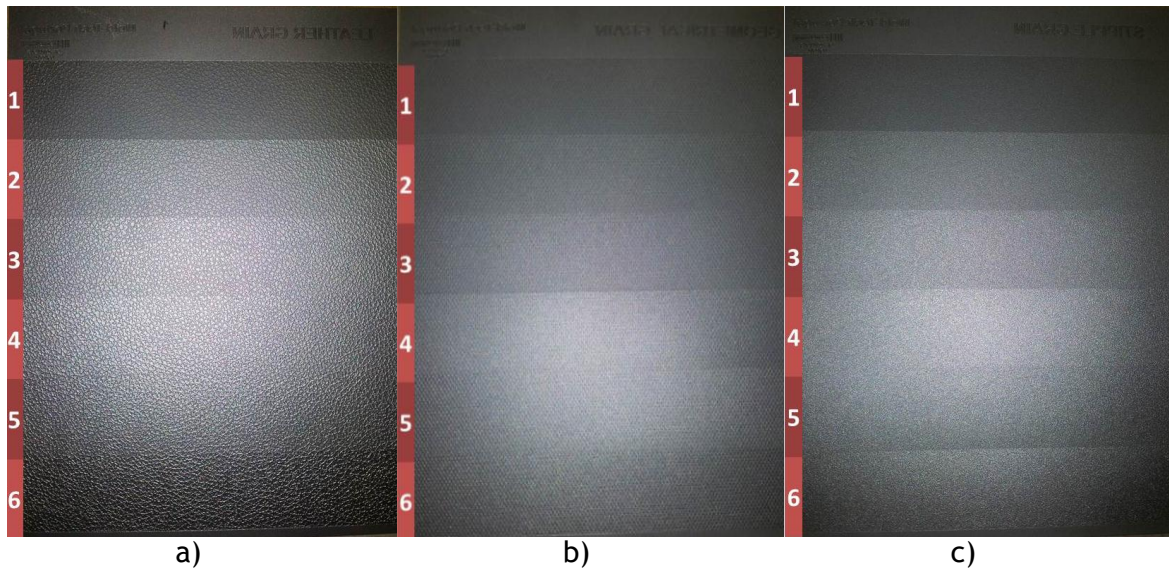


Figura 26. Postiço PP6 a), PG6 b) e PS6 c) com área de 21 x 17 cm.

Tabela 8. Brilhos das diferentes zonas do postiço PP6.

Zona	Brilho, UB
1	1,6 ± 0,1
2	2,8 ± 0,1
3	3,7 ± 0,1
4	5,1 ± 0,2
5	6,2 ± 0,2
6	10,0 ± 0,4

Tabela 9. Brilhos das diferentes zonas do postigo PG6.

Zona	Brilho, UB
1	1,5 ± 0,1
2	2,5 ± 0,1
3	3,3 ± 0,1
4	5,4 ± 0,3
5	6,1 ± 0,1
6	6,3 ± 0,4

Tabela 10. Brilhos das diferentes zonas do postigo PS6.

Zona	Brilho, UB
1	2,0 ± 0,1
2	3,4 ± 0,3
3	4,7 ± 0,1
4	7,0 ± 0,3
5	8,0 ± 0,1
6	10,8 ± 0,2

3.3.4. Materiais plásticos injetados

Os polímeros selecionados para serem injetados foram o ABS e o PP, com colorações cinza e preto para ambos.

O ABS cinza utilizado tem como designação “Elix P2H-AT” e as suas principais propriedades estão apresentadas na tabela 11.

Tabela 11. Principais propriedades do ABS cinza “Elix P2H-AT0” [49].

ABS cinza “Elix P2H-AT0”	
Densidade	1,05 g/cm ³
Índice de fluidez (220 °C; 10 Kg)	37 cm ³ /10 min
Contração após moldação	0,4 - 0,6 %
Tensão de cedência (50mm/min)	44 MPa

O ABS preto injetado tem como designação “BASF Terlurand GP 22” e as suas principais propriedades estão apresentadas na tabela 12.

Tabela 12. Principais propriedades do ABS preto “BASF Terlurand GP 22” [50].

ABS preto “BASF Terlurand GP 22”	
Densidade	1,04 g/cm ³
Índice de fluidez (220 °C; 10 Kg)	19 cm ³ /10 min
Contração após moldação	0,4 - 0,7 %
Tensão de cedência (50mm/min)	45 MPa

O PP cinza utilizado para injeção tem como designação “Hostacom EYC 136N” e as suas principais propriedades estão apresentadas na tabela 13.

Tabela 13. Principais propriedades do PP cinza “Hostacom EYC 136N” [51].

PP cinza “Hostacom EYC 136N”	
Densidade	1,00 g/cm ³
Índice de fluidez (230 °C; 2,16 Kg)	22 cm ³ /10 min
Tensão de cedência (50mm/min)	22,5 MPa

O PP preto utilizado para a produção das placas tem como designação “SABIC® PP PHC31” e contém 3 % de corante preto “Cromitap PR 90011”. As suas principais propriedades estão apresentadas na tabela 14.

Tabela 14. Principais propriedades do PP preto “SABIC® PP PHC31” [52].

PP preto “PP-TD 20”	
Densidade	0,95 g/cm ³
Índice de fluidez (230 °C; 2,16 Kg)	15 cm ³ /10 min
Tensão de cedência (50mm/min)	26 MPa

3.4. Ensaio realizado

Para a injeção das placas plásticas foram utilizados os materiais indicados no ponto 3.4.4 com os parâmetros de injeção indicados na tabela 15 e 16. Foram executadas, no caso dos postigos PG3 e PS3, diferentes temperaturas do molde e pressões de compactação. O objetivo destas alterações durante o processo de injeção serviu para observar as influências que estes parâmetros têm no brilho e rugosidade das placas.

No caso dos postigos PL6, PG6 e PS6 os materiais utilizados para a injeção foram os mesmos e os parâmetros utilizados estão expostos nas tabelas 17 e 18.

Tabela 15. Parâmetros de injeção utilizados para o ABS cinza e preto nos postigos PG3 e PS3.

Parâmetros de injeção ABS (PG3 e PS3)	
Temperatura de injeção	260 °C
Velocidade de injeção	150 cm ³ /s
Pressão de injeção	150 bar
Tempo de arrefecimento	30 s
Ciclo térmico	55 s
Tempo de 2ª pressão	5 s
Temperatura do molde	30 °C e 50 °C
Pressão de compactação	30 bar e 70 bar

Tabela 16. Parâmetros de injeção utilizados para o PP cinza e preto nos postigos PG3 e PS3.

Parâmetros de injeção PP (PG3 e PS3)	
Temperatura de injeção	240 °C
Velocidade de injeção	30 cm ³ /s
Pressão de injeção	70 bar
Tempo de arrefecimento	35 s
Ciclo térmico	60 s
Tempo de 2ª pressão	10 s
Temperatura do molde	30 °C e 50 °C
Pressão de compactação	15 bar e 35 bar

Tabela 17. Parâmetros de injeção utilizados para o ABS cinza e preto nos postigos PP6, PG6 e PS6.

Parâmetros de injeção ABS (PP6, PG6 e PS6)	
Temperatura de injeção	250 °C
Velocidade de injeção	120 cm ³ /s
Pressão de injeção	150 bar
Tempo de arrefecimento	30 s
Ciclo térmico	65 s
Tempo de 2ª pressão	5 s
Temperatura do molde	70 °C
Pressão de compactação	70 bar

Tabela 18. Parâmetros de injeção utilizados para o PP cinza e preto nos posições PP6, PG6 e PS6.

Parâmetros de injeção PP (PP6, PG6 e PS6)	
Temperatura de injeção	240 °C
Velocidade de injeção	35 cm ³ /s
Pressão de injeção	90 bar
Tempo de arrefecimento	35 s
Ciclo térmico	60 s
Tempo de 2ª pressão	5 s
Temperatura do molde	Ambiente
Pressão de compactação	70 bar

3.5. Apresentação e discussão de resultados

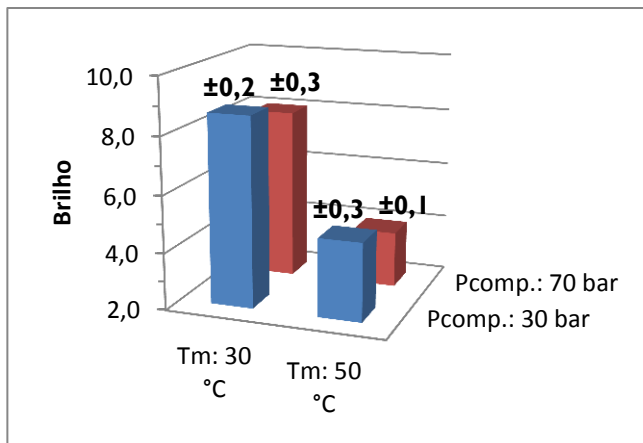
3.5.1. Brilho das placas vs. Parâmetros de injeção

O estudo realizado entre o valor de brilho das placas obtidas na moldação por injeção e a variação de dois parâmetros de injeção, temperatura do molde e pressão de compactação, tem como finalidade analisar a influência destes parâmetros no brilho obtido nas placas. Os parâmetros de injeção aplicados são os descritos na tabela 15 e 16. Neste estudo foi alternada a temperatura do molde em 30 e 50 °C para todas as placas em ABS e PP, e a pressão de compactação entre 30 e 70 bar para o ABS e 30 e 50 bar para o PP.

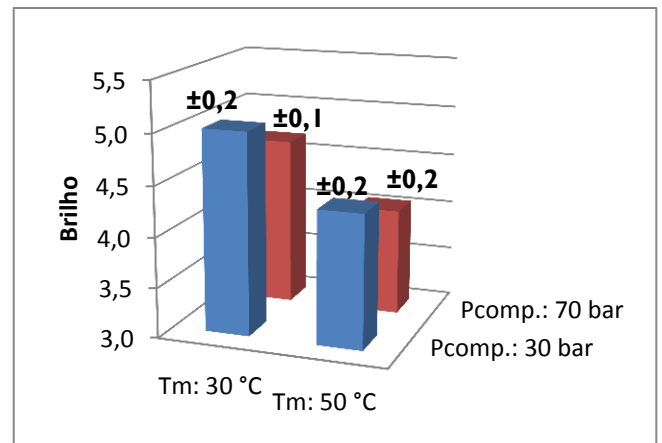
Os posições utilizados para a obtenção das placas foram o PG3 e PS3. As placas estudadas são em ABS e PP em cinza e preto. Para simplificar a discussão dos resultados, a placa referenciada tem a denominação do posição “PG3” ou “PS3” e de seguida a indicação do material utilizado “ABS_c” para o ABS cinza, “ABS_p” para o ABS preto, “PP_c” para o PP cinza e por último “PP_p” para o PP preto.

Os brilhos das respectivas zonas das diferentes placas estão expostos no ANEXO B.

No estudo das placas PG3ABS_c, PG3ABS_p, PS3ABS_c e PS3ABS_p foi possível observar de forma notória que o aumento da temperatura do molde levou a uma diminuição do brilho. É possível observar este comportamento na figura 27 a e b, tal como no ANEXO C referente a estas placas. Na figura 27 a) é possível observar que para a zona 1 da placa PG3ABS_c o brilho desce cerca de três unidades de brilho, tanto para uma pressão de compactação de 30 como 70 bare. Na figura 27 b) é possível observar a mesma tendência apesar de a diferença não alcançar uma unidade de brilho.



a)



b)

Figura 27. Estudo da influência dos parâmetros de injeção nas placas a) PG3ABSc, zona 2 e b) PS3ABSp, zona 3.

Com o aumento da pressão de compactação é possível observar nas placas PG3ABSc, PG3ABSp, PS3ABSc e PS3ABSp que também ocorre um decréscimo no valor do brilho. Na figura 27 a e b, e no ANEXO C é verifica-se este fenómeno. No entanto é evidente ao longo dos resultados obtidos que este parâmetro não afeta o brilho da mesma forma que a temperatura do molde, provocando apenas desvios na ordem das décimas.

Em confronto com a bibliografia, os resultados obtidos vão de encontro ao esperado. Com uma breve observação dos resultados podemos presumir que uma melhor replicação da superfície do postigo terá como origem uma diminuição do brilho, pois tanto o aumento da temperatura do molde como da pressão de compactação vão forçar a que o ABS reproduza melhor a superfície.

Como foi analisado na figura 27 a temperatura do molde é a que mais influencia o brilho. Este fenómeno deve-se a este parâmetro afetar diretamente a taxa de arrefecimento e, conseqüentemente a contração do material polimérico. Assim, favorece-se uma plastificação um pouco afastada da superfície caso o molde esteja a menores temperaturas e na situação oposta, promove-se uma menor contração do material e, conseqüentemente uma melhor reprodução da superfície do molde. O aumento da temperatura do molde, por tornar a taxa de arrefecimento mais lenta leva a melhores replicações da superfície e a menores valores de brilho, no caso de superfícies rugosas, como as analisadas [53].

A má replicação da superfície para parâmetros de injeção inferiores, molde a 30 °C e pressão de compactação a 30 bares, deve-se principalmente à elevada viscosidade do material, à temperatura de processamento e contra este fator a

pressão de compactação não tem uma influência tão significativa como a temperatura do molde [53].

É de citar que nem todo o tipo de superfícies têm este comportamento e que para superfícies lisas, como está referido na bibliografia, o brilho aumenta com o aumento da temperatura do molde e com o aumento da pressão de compactação, contrariamente aos resultados apresentados. Do mesmo modo que sucede com a superfície rugosa, a superfície lisa também é melhor reproduzida, levando esta a um aumento do brilho [53].

No caso das placas PG3PPc, PG3PPp, PS3PPc e PS3PPp foi possível observar que tanto a pressão de compactação como a temperatura do molde afetam o valor do brilho. No entanto, a influência destes parâmetros nem sempre é linear como se pode observar na figura 28 a e b e no ANEXO C correspondente ao material PP. Na zona 1 da placa PG3PPc é notório que o aumento da pressão de compactação leva a uma diminuição de aproximadamente meio valor de brilho e que a temperatura do molde afeta mais o brilho quando é aplicada uma pressão de compactação de 35 bares. Por sua vez, na zona 3 da mesma placa o comportamento não é semelhante e o aumento da pressão de compactação promove um aumento do valor do brilho, verificando-se uma maior variação quando a temperatura do molde se encontra a 30 °C. Já o aumento da temperatura do molde durante a utilização de uma pressão de compactação de 35 bares levou a uma diminuição do brilho.

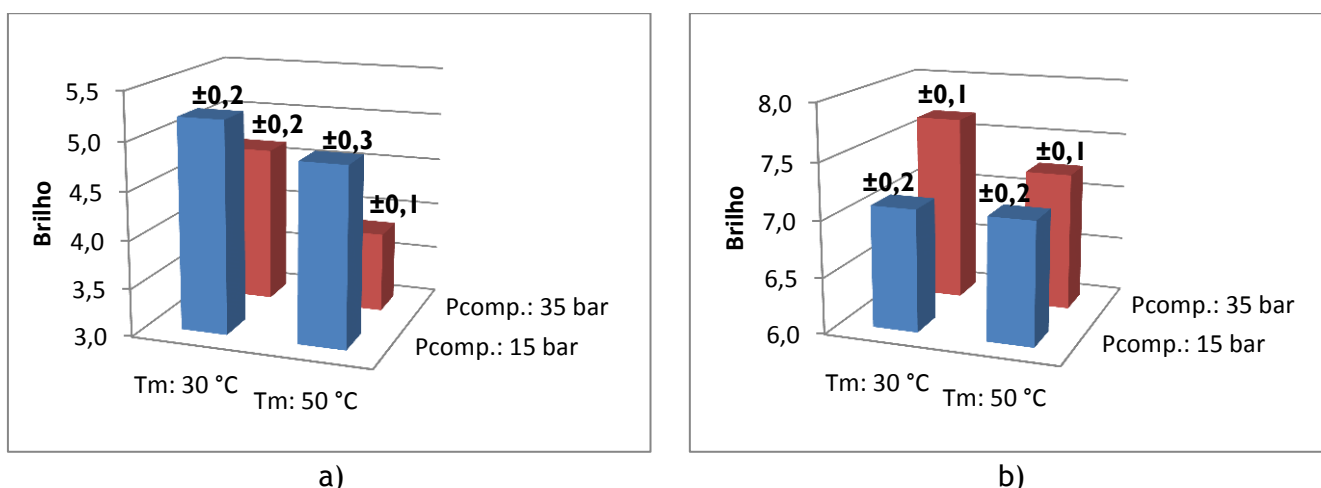


Figura 28. Estudo da influência dos parâmetros de injeção na placa PG3PPc a) zona 1 e b) zona 3.

Os resultados bibliográficos indicam que um aumento da temperatura do molde e da pressão de compactação, para superfícies lisas, promovem um aumento do valor do brilho. Os resultados retratados na figura 27 b referem-se a uma superfície, que apesar de não ser lisa, por ser da zona 3 e ter tido um acabamento com microesferas

de vidro apresenta uma superfície mais espelhada que as restantes, daí ter brilhos significativamente mais altos. Considerando a superfície, da zona 3 da placa PG3PPc, referida anteriormente semelhante às dos resultados apresentados na bibliografia verifica-se que o aumento do valor do brilho ocorre quando a pressão de compactação passa dos 15 para os 35 bares. Por outro lado, a temperatura do molde comporta-se de maneira diferente quer para pressões de compactação de 15 e 35 bares, o que não permite chegar a uma conclusão [54].

Para superfícies rugosas os resultados bibliográficos indicam que temperaturas do molde superiores e pressões de compactação mais elevadas levam a que o nível de brilho desça. Na figura 28 a este fenómeno ocorre do mesmo modo que foi observado na bibliografia. É possível concluir que, de ambos os parâmetros, o que apresenta uma maior influência na alteração do valor do brilho é a pressão de compactação, tanto com o molde a 30 com a 50 °C [54].

Analisando os resultados alcançados com as placas em PP e comparando-os com os obtidos pelas placas em ABS é possível verificar que o comportamento entre o ABS e o PP é distinto. Além das propriedades mecânicas o que mais difere entre estes polímeros é a viscosidade, que se traduz pelo índice de fluidez. Analisando as propriedades das tabelas 11, 12, 13 e 14 pode-se afirmar que o ABS é mais viscoso que o PP, pois necessita de cargas superiores para que o material flua.

As propriedades reológicas demonstraram ter um grande impacto nos valores de brilho das placas. Isto deve-se, a menores viscosidades levarem a uma replicação melhor da superfície do molde, como é o caso do PP e maiores dificuldades de reprodução no caso do ABS.

Ao observar que a temperatura do molde afeta mais o ABS e que a pressão de compactação o PP, conclui-se que a temperatura do molde ajuda a melhorar a reprodução das superfícies para materiais mais viscosos e que a pressão de compactação é essencial para que os polímeros mais fluidos possam copiar com exatidão as superfícies do molde.

3.5.2. Rugosidade das placas vs. Brilho das placas

O estudo efetuado tem como objetivo analisar a relação entre alguns parâmetros de rugosidade, como o Ra, Rz e RΔq e o respetivo brilho das placas. No ANEXO A estão expostos todos os valores de rugosidade medidos.

Na relação de rugosidade e brilho das placas PG3ABSc, PG3ABSp, PG3PPc, PG3PPP não se verificou nenhuma relação entre estes dois parâmetros, pois todos os

coeficientes de determinação e correlação obtidos foram considerados insuficientes para verificar uma dependência entre a rugosidade e o brilho. Os resultados deste estudo estão apresentados no ANEXO D.

A baixa correlação verificada para as placas obtidas pelo molde com o postigo PG3, deve-se ao facto de a medição da rugosidade ter em conta a geometria da peça e não a sua microrrugosidade. Deste modo, para poder obter melhores resultados a medição não podia ser efetuada com o rugosímetro utilizado, mas sim com um microscópio de força atómica. Apesar da geometria ser um fator que também influencia o brilho, tem de ser tida em conta a microrrugosidade inserida e tentar eliminar a ondulação característica da textura.

Nas placas PS3ABSc, PS3ABSp, PS3PPc e PS3PPp a relação entre a rugosidade e brilho é evidente em alguns casos, como se pode verificar na figura 29 que corresponde à placa PS3PPp. Nesta placa apesar de os desvios padrões apresentarem uma grande variação o erro associado a estes é baixo. Com os resultados obtidos é possível verificar que um aumento do valor de rugosidade quer seja Rz, Ra ou RΔq leva a um decréscimo do valor do brilho, o que é expectável. De todos os parâmetros analisados o que apresenta um melhor coeficiente de determinação é o RΔq.

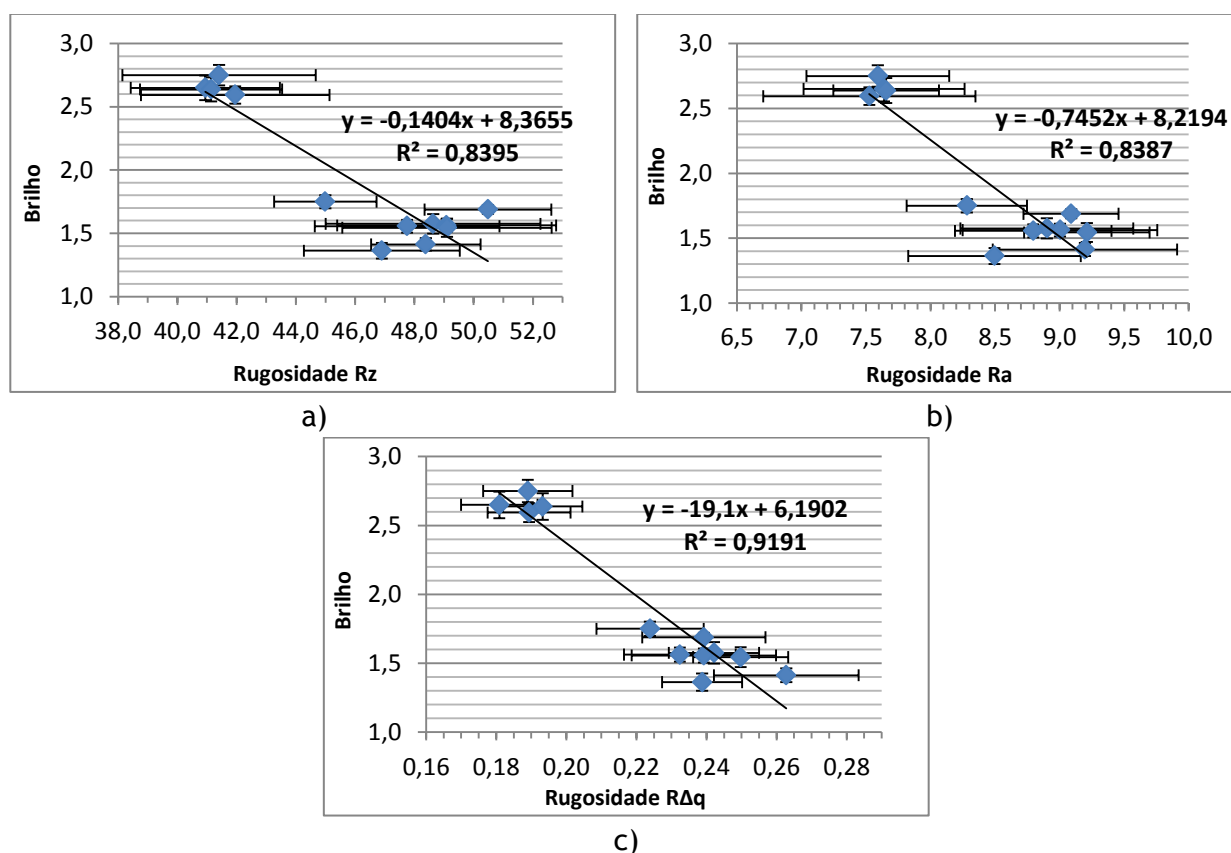


Figura 29. Relação entre o brilho e o a) Rz, b) Ra e c) RΔq da placa PS3PPp.

Segundo a bibliografia, a rugosidade é o parâmetro que mais influencia o brilho. Apesar de ter grande influência, os valores de rugosidade não podem ser lidos universalmente, ou seja, cada textura apresenta uma geometria e uma rugosidade associada característica. Deste modo, o conhecimento deste parâmetro pode ser muito útil na previsão do brilho final da peça plástica [39].

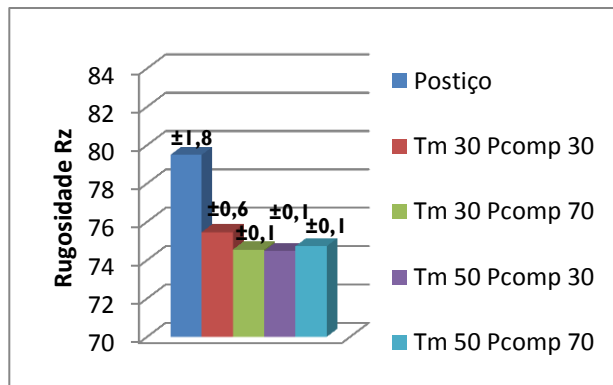
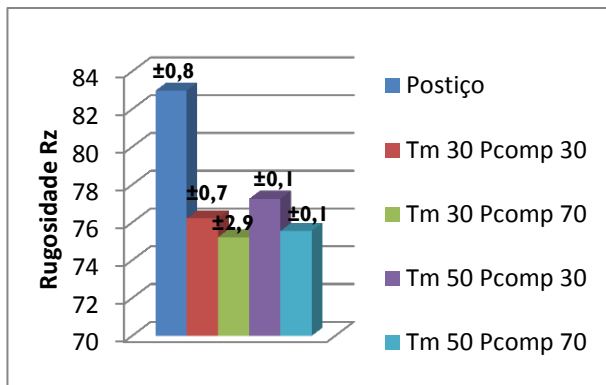
No estudo realizado é facilmente observado que existe uma clara diferença nos coeficientes de correlação entre as placas com grão *stipple* e geométrico. Esta baixa correlação de resultados por parte das placas com grão geométrico deve-se à geometria destas e à consequente rugosidade que lhe é associada. Isto é, as placas com grão *stipple* por lhe ser associada uma geometria mais plana e com uma altura significativamente inferior às placas com grão geométrico foi notória uma melhor relação entre a rugosidade e o brilho. Como era expectável, o aumento da rugosidade levou a uma diminuição do brilho, pois a luz emitida é mais dispersa quanto maior for a rugosidade. Deste modo, deve-se ter em conta principalmente a microrrugosidade associada à textura no que diz respeito à influência no brilho.

3.5.3. Rugosidade dos postigos vs. Rugosidade das placas

O estudo efetuado entre a rugosidade dos postigos e das placas tem como finalidade observar o nível de reprodução da superfície do molde dos diferentes polímeros de acordo com as condições de injeção aplicadas. Com este estudo pretende-se encontrar que tipo de textura é mais facilmente reproduzida e em que condições. Os resultados do seguinte estudo estão apresentados no ANEXO E.

Neste estudo foram observadas todas as placas em ABS e PP e foram comparados os seus valores de rugosidade Ra e Rz com as dos postigos PG3 e PS3.

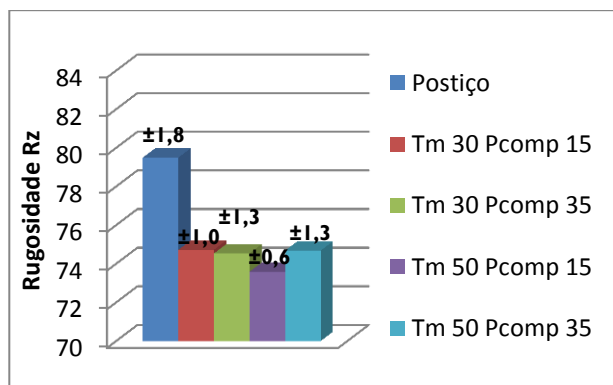
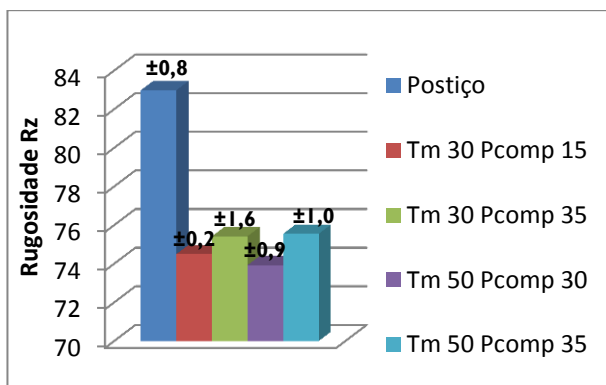
Ao comparar as placas PG3ABSc, PG3ABSp, PG3PPc, PG3PPp com o postigo PG3 é observada uma diferença significativa entre a rugosidade Ra e Rz dos postigos comparativamente à das placas. Os valores correspondentes às placas são todos inferiores aos postigos tendo uma diferença de cerca de 7 % para a rugosidade Rz e 4 % para a Ra. Segundo a bibliografia a maior fluidez do PP levaria a uma melhor reprodução da superfície, deste modo, seria expectável que o PP tivesse uma melhor reprodução da superfície do postigo que o ABS, no entanto isto não é evidente. A diferença de rugosidades deve-se às texturas estudadas apresentarem uma diferença de altura considerável o que dificultou a replicação da geometria. Na figura 30 e 31, correspondente às placas PG3ABSc e PG3PPc, são evidentes os resultados descritos em cima.



a)

b)

Figura 30. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PG3 e zona 1 e b) postiço PG3 e zona 3, ambos da placa PG3ABSc com diferentes parâmetros de injeção.



a)

b)

Figura 31. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PG3 e zona 1 e b) postiço PG3 e zona 3, ambos da placa PG3PPc com diferentes parâmetros de injeção.

No mesmo estudo foi feita a comparação entre as placas PS3ABSc, PS3ABSp, PS3PPc e PS3PPp e o postiço PS3. Nesta análise foi possível observar que não existe uma grande diferença entre as rugosidades do postiço e das placas, cerca de 4 % para Rz e quase nula para Ra. Na figura 32 e 33 e no ANEXO E é possível observar que existe apenas uma pequena diferença entre as rugosidades das placas e dos postiços. Esta diferença de rugosidades deve-se à altura deste tipo de grão, que comparativamente ao postiço PG3 é inferior em cerca de 30 µm, como é possível comprovar na tabela 6 e 7.

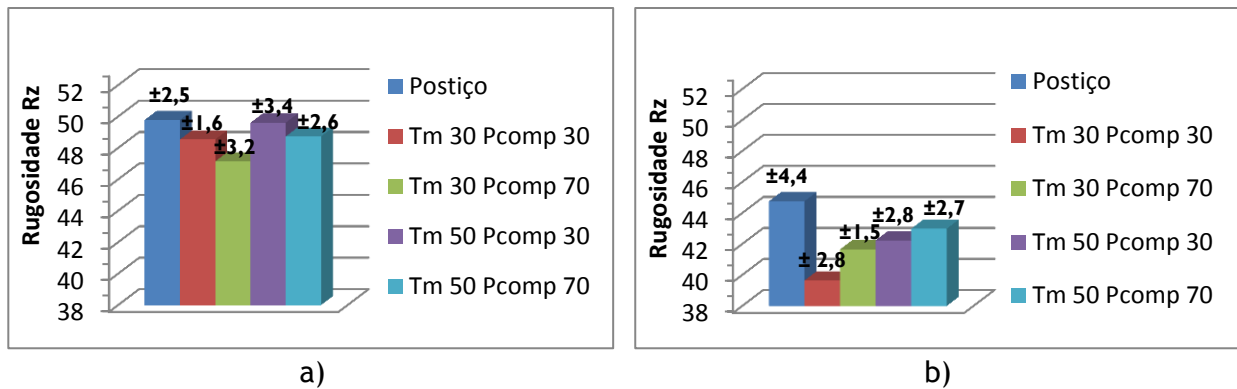


Figura 32. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PS3 e zona 1 e b) postiço PS3 e zona 3, ambos da placa PS3ABSc com diferentes parâmetros de injeção.

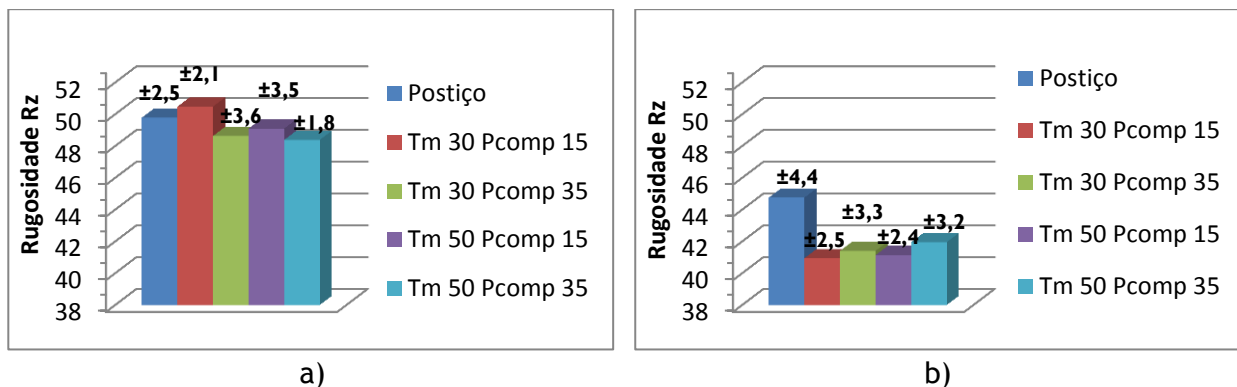


Figura 33. Comparação entre a rugosidade Rz a) entre o postiço PS3 e zona 1 e b) postiço PS3 e zona 3, ambos da placa PS3PPp com diferentes parâmetros de injeção.

Em confronto com os resultados obtidos, segundo o índice de fluidez dos materiais era previsível que o PP tivesse uma melhor replicação das texturas o que não é possível concluir com este estudo. Os parâmetros de injeção utilizados também não demonstraram ter grande influência nas rugosidades obtidas porque não é evidente uma alteração sistemática.

Com este estudo, conclui-se que a altura da textura do molde pode influenciar a rugosidade que é inserida no material plástico, ou seja, quanto menor for essa altura melhor vai ser a cópia da textura do molde, como se evidencia nas texturas estudadas.

3.5.4. Brilho dos postiços vs. Brilho das placas

O estudo realizado para comparação dos brilhos entre os postiços e as placas tem como objetivo ajudar o processamento das texturas para os moldes. Com isto, pretende-se extrapolar estes resultados de modo a permitir que ao ser produzida uma textura no molde se preveja qual seja o brilho resultante no material plástico. Durante este estudo foi observada a relação existente entre o brilho dos postiços PL6, PG6 e PS6 e as placas em ABS e PP em cinza e preto efetuando um cruzamento de dados e construindo linhas de tendência para analisar o comportamento do brilho.

Para simplificar a designação das placas estudadas será introduzido inicialmente o nome do postição correspondente à textura “PP6”, “PG6” ou “PS6” e de seguida o polímero correspondente “ABSc” para o ABS cinza, “ABS_p” para o ABS preto, “PPc” para o PP cinza e por fim “PP_p” para o PP preto.

Os gráficos obtidos estão apresentados no ANEXO F e é possível observar que todas as linhas de tendência obtidas têm um forte coeficiente de determinação e, consequentemente de correlação. O que indica, que existe uma forte dependência entre os resultados dos brilhos dos postições e das placas plásticas.

Os resultados das placas PP6ABSc, PG6ABSc e PS6ABSc mostram uma forte correlação entre o brilho dos postições e das placas na utilização de linhas de tendência lineares. Com os resultados obtidos pretende-se saber se é possível prever o brilho deste polímero tendo o conhecimento do brilho do aço. Para uma análise geral juntaram-se todos os brilhos obtidos em todos os acabamentos e analisaram-se os resultados de todas as placas com texturas em grão pele (azul), geométrico (vermelho) e *stipple* (verde). Na figura 34 é possível observar o resultado obtido.

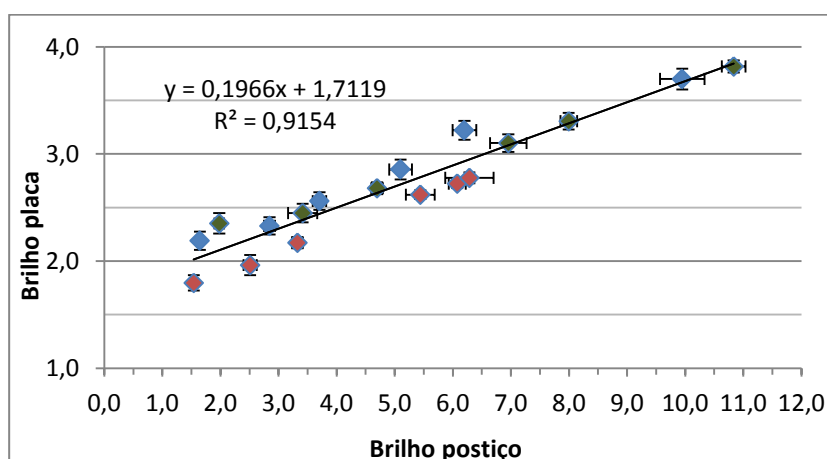


Figura 34. Linha de tendência entre os brilhos dos postições e das placas em ABS cinza.

Com o resultado obtido na figura 34 foi criada uma linha de tendência linear e descoberta a equação que mais se ajustava para prever o brilho das peças plásticas em ABS cinza. A equação associada tem uma correlação positiva muito forte de cerca de 95,68 % e um coeficiente de determinação de aproximadamente 91,54 % que corresponde à percentagem de dependência entre a variável brilho da placa e a variável brilho do postição. A equação referida está presente na tabela 19 na coluna que indica equação geral, em que o x representa o valor do brilho do aço e y o brilho do ABS cinza. As restantes equações calculadas para cada tipo de textura estão apresentadas na restante linha.

De seguida foram analisados os brilhos das placas PP6ABSp, PG6ABSp e PS6ABSp que igualmente mostraram ter uma forte correlação com os brilhos dos respetivos postiços. Neste estudo pretende-se descobrir a relação de brilho entre o aço e o ABS preto. Para isso foram comparados todos os valores de brilho obtidos correspondentes às placas e aos postiços. O resultado desta combinação está representado na figura 35 onde as texturas em pele estão apresentadas a azul, a geométrica a vermelho e a *stipple* a verde.

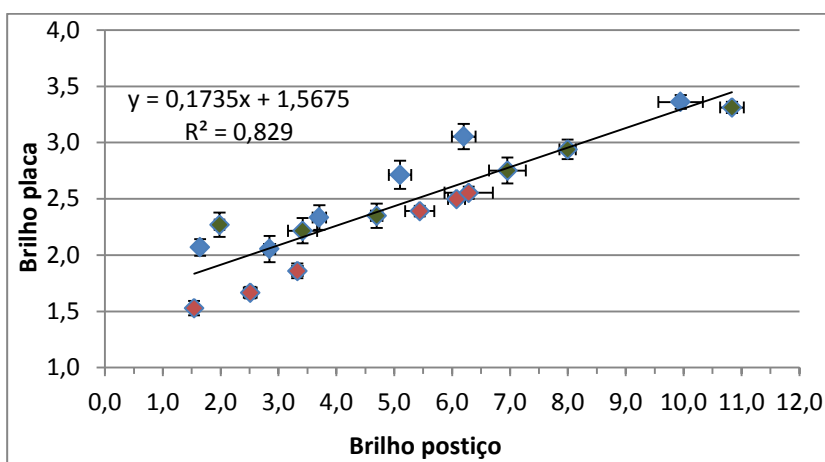


Figura 35. Linha de tendência entre os brilhos dos postiços e das placas em ABS preto.

Com o resultado obtido na figura 35 foi criada uma linha de tendência linear e descoberta a equação que mais se ajustava aos pontos medidos. A equação associada apresentou uma correlação positiva muito forte cerca de 91,05 % e um coeficiente de determinação de 82,9 % que indica que os resultados da variável brilho dependem do brilho do postiço. A equação referida está presente na tabela 19 na coluna que indica equação geral do ABSp, em que o x representa o valor do brilho do aço e y o brilho do ABS preto. As equações referentes aos diferentes tipos de grão estão apresentadas na linha alusiva ao ABS preto.

Os resultados obtidos referentes às placas PP6PPc, PG6PPc e PS6PPc revelam uma boa correlação entre os valores de brilho dos postiços e das placas. Neste estudo pretende-se descobrir qual a relação entre o brilho do aço e do PP cinza. Na figura 36 estão confrontados os brilhos de todos os acabamentos dos postiços com os brilhos das respetivas placas, onde as texturas em pele estão apresentadas a azul, a geométrica a vermelho e a *stipple* a verde.

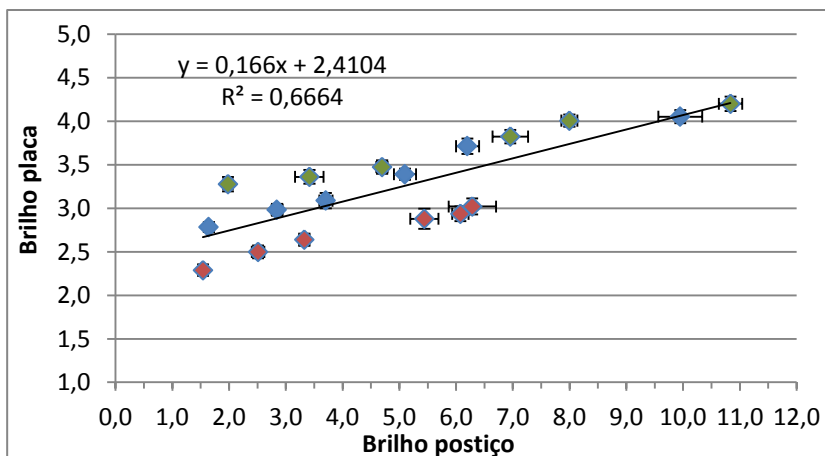


Figura 36. Linha de tendência entre os brilhos dos postícios e das placas em PP cinza.

Com o resultado obtido na figura 36 é possível verificar que a linha de tendência obtida tem um coeficiente de correlação de 81,63 % o que significa que há uma forte correlação e que o coeficiente de determinação é de 66,64 % que indica a dependência entre os valores de brilho do PP cinza e do brilho do aço. Este valor por ser inferior, deve-se a uma maior diferença entre os valores de brilho das diferentes texturas das placas, onde é evidente que a textura aplicada altera significativamente o valor do brilho. Deste modo, é útil observar as equações referentes a cada tipo de textura para prever o brilho deste material. A equação obtida está apresentada na tabela 19, bem como as equações das diferentes texturas estudadas onde o y corresponde ao brilho do PP cinza e x ao brilho do aço.

Por fim, foi analisada a relação de brilho entre as placas PP6PPp, PG6PPp e PS6PPp e os respectivos postícios, onde se denota uma forte correlação dos valores obtidos. Com este estudo pretende-se prever a relação de brilho entre o aço e o PP preto. O gráfico apresentado na figura 37 apresenta a comparação dos brilhos de todos os acabamentos dos postícios com os brilhos das respectivas zonas das placas.

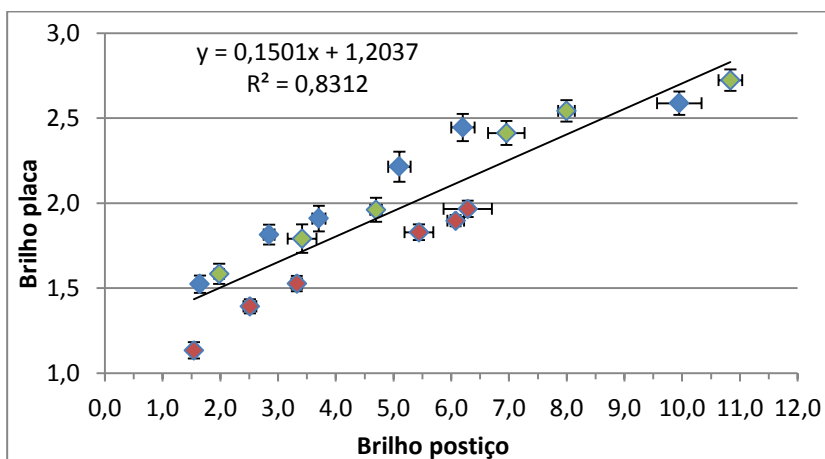


Figura 37. Linha de tendência entre os brilhos dos postícios e das placas em PP preto.

O resultado obtido na figura 37 indica que a linha de tendência alcançada tem um coeficiente de correlação de 91,17 % que é indicativo de uma forte correlação. O valor do coeficiente de determinação é de 83,12 % que corresponde à percentagem que indica a dependência do valor de brilho das placas em PP preto sobre o brilho dos postigos. A equação obtida está apresentada na tabela 19 bem como as equações das diferentes texturas estudadas, onde o y corresponde ao brilho do PP preto e x ao brilho do aço.

Tabela 19. Equações que relacionam o brilho do aço (x) com o brilho das placas (y).

	Textura Pele	Textura Geométrica	Textura <i>Stipple</i>	Equação Geral
ABSc	$y = 0,192x + 1,8672$	$y = 0,2093x + 1,4633$	$y = 0,1722x + 1,9209$	$y = 0,1966x + 1,7119$
ABSp	$y = 0,1754x + 1,7362$	$y = 0,248x + 1,1397$	$y = 0,131x + 1,8566$	$y = 0,1735x + 1,5675$
PPc	$y = 0,1595x + 2,5519$	$y = 0,1404x + 2,1208$	$y = 0,1139x + 3,0086$	$y = 0,166x + 2,4104$
PPp	$y = 0,1294x + 1,4471$	$y = 0,1621x + 0,9441$	$y = 0,1374x + 1,3472$	$y = 0,1501x + 1,2037$

4. Considerações finais e propostas para trabalhos futuros

Segundo a bibliografia analisada conclui-se que existem dois fatores que definem o brilho de uma peça polimérica, a rugosidade que lhe é associada e o seu índice de refração. No entanto, a rugosidade do material polimérico não é exatamente igual à da superfície do molde que lhe esta associada pois existem vários fatores que impedem uma cópia perfeita da superfície, como a contração do polímero e a expansão térmica do molde. No entanto, verificou-se que existe um parâmetro que pode quantificar a adesão entre as duas superfícies, o coeficiente de atrito estático. Com este é possível prever qual a alteração da rugosidade pois quanto maior a replicação da superfície maior demonstra ser o seu valor. Com esta análise, um futuro estudo que relacionasse estes três parâmetros, índice de refração, rugosidade e coeficiente de atrito estático seria aliciante para prever o valor heurístico do brilho de uma peça polimérica, partindo do valor de rugosidade do molde e não do polímero como é apresentado na bibliografia.

O estudo realizado para as placas PP6, PG6 e PS6 pode ser aprofundado para outros materiais. Os postigos utilizados neste estudo podem ser reutilizados para concluir a relação entre brilhos de qualquer material polimérico e o aço AISI P20 + Ni. Propõe-se que sempre que seja necessário o estudo do brilho de algum polímero se utilizem os postigos e se comparem os seus valores de brilho com os do aço. De seguida, deve ser calculada uma linha de tendência linear e ver se existe uma boa correlação para que se possa utilizar essa equação na previsão de brilho dos moldes.

Por último, é de referir que se analise a microrrugosidade utilizando, por exemplo, um microscópio de força atômica. Desta forma é possível eliminar a geometria que está associada à textura examinando a exata influência da rugosidade no brilho.

5. Conclusão

Após a realização do trabalho exposto ao longo desta dissertação foi possível retirar conclusões que permitem compreender melhor o comportamento dos materiais poliméricos durante a injeção e quais os fatores que os levam a ter um determinado brilho.

No estudo da influência dos parâmetros de injeção no brilho, a investigação incidiu na temperatura do molde e pressão de compactação. Com isto foi possível verificar de que modo os parâmetros analisados afetam o brilho das peças de ABS e PP.

Verificou-se que para o ABS, por ser um material viscoso, a temperatura do molde é o parâmetro que mais afeta o brilho, pois com o aumento deste parâmetro o polímero ganha uma maior apetência para copiar a superfície do molde, levando desta forma a um decréscimo do brilho, pois o estudo trata de superfícies rugosas. A pressão de compactação também demonstrou afetar o brilho do mesmo modo, mas com menor intensidade.

No caso do PP, o parâmetro que apresentou uma maior influência no brilho foi a pressão de compactação. Verificou-se que este parâmetro levou a uma diminuição do brilho para o material plástico que advém de uma zona com um acabamento mais grosseiro, grão de óxido de alumínio. No entanto, para o brilho do PP que foi calculado na zona do postigo com acabamento de esferas de vidro o comportamento foi o oposto, apresentou um aumento do valor do brilho. No que diz respeito à temperatura do molde, os resultados foram inconclusivos, apesar de se verificar uma pequena tendência da diminuição do brilho para o aumento da temperatura do molde.

O PP comparativamente ao ABS é um polímero com maior fluidez, e mostra ter um comportamento diferente perante as variações aplicadas nos parâmetros de injeção. Em suma, pode-se supor que para materiais com maior índice de fluidez o parâmetro que mais os afeta é a pressão de compactação. Por sua vez, materiais viscosos pode-se supor que sejam mais afetados pela temperatura do molde.

A análise sobre a relação entre a rugosidade e o brilho não foi totalmente conclusiva. Era esperado que o aumento da rugosidade levasse a uma diminuição do brilho. Nas placas *stipple* foi possível verificar este fenómeno tendo os resultados obtidos bons índices de correlação. No entanto, os resultados das placas geométricas são inconclusivos devido à grande variação da geometria da placa ao longo do

percurso analisado pelo rugosímetro. Deste modo, é de salientar que para comparar a rugosidade com o brilho tem de se eliminar a ondulação associada à textura e apurar a microrrugosidade que lhe é associada.

Durante este estudo também foi comparada a rugosidade dos postigos e das placas e conclui-se que as texturas com grão *stipple* mostraram ter uma melhor replicação das superfícies que as texturas com grão geométrico. Isto deve-se ao facto de ter uma menor altura do relevo. Sendo estas mais facilmente reproduzidas pelo material polimérico.

No estudo final, verificou-se uma grande dependência entre o brilho do aço dos postigos e o brilho da respetiva zona na placa em ABS e PP. Este estudo permitirá à empresa Mold-Tech® utilizar as fórmulas calculadas para prever o brilho das peças poliméricas dos moldes que texturizam. Com estes resultados é possível obter uma redução de custos evitando futuros ajustes de brilho. Os elevados coeficientes de correlação indicam que o brilho do aço e dos materiais poliméricos estudados apresentam uma grande dependência.

Por fim, é de salientar que o comportamento dos materiais durante a injeção e replicação da superfície do molde deve-se principalmente às suas propriedades reológicas. Desta forma, pode-se prever uma aproximação entre materiais com maior índice de fluidez das equações obtidas para o PP e uma aproximação dos materiais mais viscosos das equações obtidas para o ABS.

6. Bibliografia

1. Cybulski, E., *Injection Molding*, in *Plastic Conversion Processes*. 2009, CRC Press. p. 1-21.
2. Evans, C.J. and J.B. Bryan, "Structured", "Textured" or "Engineered" Surfaces. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 1999. **48**(2): p. 541-556.
3. Mold-Tech, *Texturing In Depth: Everything You Need to Know About Texturing Your Mold*, Mold-Tech, Editor. 2009.
4. Kamada, H., *Polimento: Informações Gerais*, A.B.-U.d.B. Ltda, Editor. 2003. p. 1-8.
5. Ledvon, G., *Laser Ablation for Surface Texturing*. MoldMaking Technology, 2011.
6. Ignell, S., et al., *Three-dimensional scanning electron microscopy characterization of the topography of textured polymeric surfaces*. *Polymer Engineering & Science*, 2010. **50**(8): p. 1527-1534.
7. Rosato, D.V. and M.G. Rosato, *Plastics design handbook*. 2001: Kluwer Academic Publishers.
8. Menges, G., W. Michaeli, and P. Mohren, *How to Make Injection Molds*. 2001: Hanser.
9. Boothroyd, G., P. Dewhurst, and W.A. Knight, *Design for Injection Molding*, in *Product Design for Manufacture and Assembly, Second Edition, Revised and Expanded*. 2001, CRC Press.
10. Crawford, R.J., *Plastics Engineering*. 1998: Elsevier Science.
11. Gastrow, H. and P. Unger, *Gastrow Injection Molds: 130 Proven Designs*. 2006: Hanser.
12. Zhang, J. and Y. Meng, *A study of surface texturing of carbon steel by photochemical machining*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2012. **212**(10): p. 2133-2140.
13. Inc., B.M.S. *Surface Preparation*. 2013 [Acedido em Maio 2014]; Disponível em: <http://www.balesmold.com/surface.htm#top>.
14. Jawn, S., *Cleaning with Micro Sandblasters*, in *Handbook for Critical Cleaning*. 2011, CRC Press. p. 381-395.

15. Kuhmichel. *Brown Fused Alumina - NK*. 2014 [Acedido em Maio de 2014]; Disponível em: <http://www.kuhmichel.com/46-1-Brown-Fused-Alumina.html>.
16. Kuhmichel. *Glass Beads - GP*. 2014 [Acedido em Maio de 2014]; Disponível em: http://www.kuhmichel.com/index.php?article_id=116&clang=1.
17. Harper, C.A., *Modern Plastics Handbook*. 2000: Mcgraw-hill.
18. Industry, S.o.t.P., *Plastics Engineering Handbook Of The Society Of The Plastics Industry*. 1991: Springer.
19. Mark, J.E., *Physical Properties of Polymers Handbook*. 2007: Springer.
20. Chanda, M. and S.K. Roy, *Plastics Technology Handbook, Fourth Edition*. 2012: Taylor & Francis.
21. Maier, C. and T. Calafut, *Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook*. 2008: Elsevier Science.
22. Osswald, T.A., L.S. Turng, and P.J. Gramann, *Injection Molding Handbook*. 2008: Carl Hanser Publishers.
23. Wypych, G., *PP polypropylene*, in *Handbook of Polymers*, G. Wypych, Editor. 2012, Elsevier: Oxford. p. 479-486.
24. Brydson, J.A., *Plastics Materials*. 1999: Butterworth-Heinemann.
25. Rutkowski, J.V. and B.C. Levin, *Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity—a review of the literature*. *Fire and Materials*, 1986. **10**(3-4): p. 93-105.
26. Wypych, G., *ABS poly(acrylonitrile-co-butadiene-co-styrene)*, in *Handbook of Polymers*, G. Wypych, Editor. 2012, Elsevier: Oxford. p. 3-10.
27. Whitehouse, D.J., *Surfaces and their Measurement*. 2002, Jordan Hill, GBR: Butterworth-Heinemann.
28. Qualidade, I.P.d., *NP EN ISO 4287 Especificações geométricas de produtos (GPS). Textura de superfície: Método do perfil. Termos, definições e parâmetros de textura de superfície*. 2011. p. 27.
29. Bhushan, B., *Modern Tribology Handbook, Two Volume Set*. 2010: Taylor & Francis.
30. Christopher, A.B., *Roughness*, in *Handbook of Lubrication and Tribology, Volume II*. 2012, CRC Press. p. 1-14.

31. Gadelmawla, E.S., et al., *Roughness parameters*. Journal of Materials Processing Technology, 2002. **123**(1): p. 133-145.
32. Kigle-Boeckler, G., *Measurement of gloss and reflection properties of surfaces*. Metal Finishing, 1995. **93**(5): p. 28-31.
33. Modrak, V. and J. Mandulak, *Exploration of Impact of Technological Parameters on Surface Gloss of Plastic Parts*. Procedia CIRP, 2013. **12**(0): p. 504-509.
34. *Introduction: Gloss Measurement*. 2009, BYK-Gardner GmbH.
35. Ignell, S. and M. Rigdahl, *Angle-resolved light scattering from textured injection-molded plastics*. Journal of Applied Polymer Science, 2012. **124**(2): p. 1624-1633.
36. International, A., *ASTM D2457-03 Standard Test Method for Specular Gloss of Plastic Films and Solid Plastics*. 2003, ASTM International. p. 5.
37. Simonsen, I., et al., *Estimation of gloss from rough surface parameters*. physica status solidi (b), 2005. **242**(15): p. 2995-3000.
38. Pouzada, A.S., E.C. Ferreira, and A.J. Pontes, *Friction properties of moulding thermoplastics*. Polymer Testing, 2006. **25**(8): p. 1017-1023.
39. Ariño, I., et al., *On the relation between surface texture and gloss of injection-molded pigmented plastics*. Polymer Engineering & Science, 2005. **45**(10): p. 1343-1356.
40. Alexander-Katz, R. and R.G. Barrera, *Surface correlation effects on gloss*. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 1998. **36**(8): p. 1321-1334.
41. Krishnaswamy, R.K. and J. Janzen, *Exploiting refractometry to estimate the density of polyethylene: The Lorentz-Lorenz approach re-visited*. Polymer Testing, 2005. **24**(6): p. 762-765.
42. Elias, H.-G., *Plastics, General Survey*, in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 2000, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
43. Galiatsatos, V., *Refractive Index, Stress-Optical Coefficient, and Optical Configuration Parameter of Polymers*, in *Physical Properties of Polymers Handbook*, J. Mark, Editor. 2007, Springer New York. p. 823-853.
44. Chang, R. and B. Cruickshank, *Chemistry*. 2005: McGraw-Hill.

45. Ignell, S., U. Kleist, and M. Rigdahl, *Visual perception and measurements of texture and gloss of injection-molded plastics*. Polymer Engineering & Science, 2009. **49**(2): p. 344-353.
46. Jiang, H., et al., *Influence of surface roughness and contact load on friction coefficient and scratch behavior of thermoplastic olefins*. Applied Surface Science, 2008. **254**(15): p. 4494-4499.
47. Steel, A.P., *PREMIUM 1.2738 ABRAMS ABRAMS STELL GUIDE*.
48. Kramer Industries, I., *Aluminum Oxide (Brown) Abrasive Media*.
49. Polymers, E., *ELIX ABS P2H-AT Data Sheet*. 2012.
50. Company, B.-T.C., *Terluran® GP-22 ABS*. 2007.
51. Datasheets, M.D.C., *Datasheet of Hostacom EYC 136N - PP-MX15 - LyondellBasell Industries*. Material Data Center Datasheets.
52. SABIC, *SABIC® PP PHC31 - PP block copolymer for Injection moulding*.
53. Oliveira, M.J., et al., *Gloss and surface topography of ABS: A study on the influence of the injection molding parameters*. Polymer Engineering & Science, 2006. **46**(10): p. 1394-1401.
54. Piscioti, F., et al., *Effects of injection-molding conditions on the gloss and color of pigmented polypropylene*. Polymer engineering and science, 2005. **45**(12): p. 1557.

ANEXO A: Rugosidades das placas injetadas em ABS e PP em cinza e preto

Para os postigos PG3 e PS3 foram injetados quatro materiais, ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto e para cada parâmetro utilizado foram produzidas quatro placas de cada material. Para cada placa injetada foram efetuadas duas medições de rugosidade, o que indica que para cada zona e parâmetro aplicado foram efetuadas oito medições. Nas tabelas seguintes estão representados os diferentes valores de rugosidade de cada material segundo o postigo utilizado, zona e parâmetro de injeção utilizado.

Para simplificar a designação dos termos temperatura do molde e pressão de compactação será utilizado “Tm” e “Pcomp” respetivamente.

Rugosidade PG3 em ABS cinza

Zona 1		Tm: 30 °C		Tm: 50 °C		
		P comp.:30 bar		P comp.:30 bar		
Zona 1	Tm: 30 °C	Ra	27,5 ± 1,6 μm	Tm: 50 °C	Ra	28,1 ± 0,6 μm
		Rz	76,2 ± 0,7 μm		Rz	77,3 ± 0,1 μm
		Pt	94,4 ± 2,7 μm		Pt	100,9 ± 6,9 μm
		RΔq	0,30 ± 0,05		RΔq	0,33 ± 0,02
		Rpc	6		Rpc	6
	Tm: 30 °C	Ra	27,5 ± 1,8 μm	Tm: 50 °C	Ra	28,3 ± 0,5 μm
		Rz	75,2 ± 2,9 μm		Rz	75,6 ± 0,1 μm
		Pt	93,3 ± 1,8 μm		Pt	96,0 ± 3,2 μm
		RΔq	0,31 ± 0,05		RΔq	0,34 ± 0,03
		Rpc	6		Rpc	6
Zona 2	Tm: 30 °C	Ra	27,6 ± 1,9 μm	Tm: 50 °C	Ra	28,1 ± 0,6 μm
		Rz	74,5 ± 1,2 μm		Rz	74,0 ± 0,1 μm
		Pt	91,4 ± 2,4 μm		Pt	93,3 ± 3,0 μm
		RΔq	0,29 ± 0,04		RΔq	0,30 ± 0,04
		Rpc	6		Rpc	6
	Tm: 30 °C	Ra	28,5 ± 1,3 μm	Tm: 50 °C	Ra	28,8 ± 0,4 μm
		Rz	73,6 ± 0,8 μm		Rz	74,7 μm
		Pt	92,1 ± 2,1 μm		Pt	94,4 ± 3,3 μm
		RΔq	0,31 ± 0,04		RΔq	0,31 ± 0,03
		Rpc	6		Rpc	6
Zona 3	Tm: 30 °C	Ra	28,0 ± 1,0 μm	Tm: 50 °C	Ra	28,4 ± 0,6 μm
		Rz	75,5 ± 0,6 μm		Rz	74,5 ± 0,1 μm
		Pt	91,1 ± 2,3 μm		Pt	93,2 ± 1,9 μm
		RΔq	0,31 ± 0,07		RΔq	0,27 ± 0,05
		Rpc	6		Rpc	6
	Tm: 30 °C	Ra	29,2 ± 0,7 μm	Tm: 50 °C	Ra	29,0 ± 0,6 μm
		Rz	74,6 ± 0,1 μm		Rz	74,7 ± 0,1 μm
		Pt	93,1 ± 2,3 μm		Pt	94,5 ± 1,4 μm
		RΔq	0,31 ± 0,04		RΔq	0,30 ± 0,04
		Rpc	6		Rpc	6

Rugosidade PG3 em ABS preto

Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	28,2 ± 0,7 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	28,1 ± 0,4 μm
	Rz	74,8 ± 2,2 μm		Rz	78,7 ± 0,9 μm
	Pt	95,5 ± 3,8 μm		Pt	99,3 ± 2,5 μm
	RΔq	0,30 ± 0,03		RΔq	0,31 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	28,4 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	28,4 ± 0,4 μm
	Rz	76,9 ± 1,5 μm		Rz	76,7 ± 1,2 μm
	Pt	97,5 ± 4,5 μm		Pt	97,0 ± 2,0 μm
	RΔq	0,30 ± 0,02		RΔq	0,32 ± 0,05
	Rpc			Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	28,5 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	28,4 ± 0,5 μm
	Rz	72,9 ± 1,5 μm		Rz	76,4 ± 0,8 μm
	Pt	91,3 ± 2,9 μm		Pt	94,4 ± 2,7 μm
	RΔq	0,30 ± 0,04		RΔq	0,26 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	28,4 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	28,5 ± 0,3 μm
	Rz	74,2 ± 0,8 μm		Rz	74,6 ± 1,7 μm
	Pt	91,6 ± 1,8 μm		Pt	91,8 ± 2,6 μm
	RΔq	0,29 ± 0,03		RΔq	0,30 ± 0,03
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	29,1 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	28,5 ± 0,5 μm
	Rz	74,1 ± 1,0 μm		Rz	76,9 ± 1,0 μm
	Pt	93,5 ± 2,6 μm		Pt	96,5 ± 1,6 μm
	RΔq	0,31 ± 0,04		RΔq	0,27 ± 0,03
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	27,7 ± 0,3 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	28,7 ± 0,3 μm
	Rz	75,3 ± 0,4 μm		Rz	74,9 ± 0,8 μm
	Pt	94,5 ± 1,6 μm		Pt	93,6 ± 2,3 μm
	RΔq	0,29 ± 0,07		RΔq	0,28 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6

Rugosidade PG3 em PP cinza

Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,2 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	28,2 ± 0,4 μm
	Rz	74,5 ± 1,2 μm		Rz	73,9 ± 0,9 μm
	Pt	91,8 ± 1,8 μm		Pt	91,3 ± 2,4 μm
	RΔq	0,30 ± 0,04		RΔq	0,30 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,2 ± 0,2 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,0 ± 0,5 μm
	Rz	75,4 ± 1,6 μm		Rz	75,5 ± 1,0 μm
	Pt	94,0 ± 3,6 μm		Pt	95,1 ± 2,4 μm
	RΔq	0,29 ± 0,04		RΔq	0,32 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,2 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	27,9 ± 0,5 μm
	Rz	73,2 ± 0,9 μm		Rz	72,9 ± 1,6 μm
	Pt	90,3 ± 2,8 μm		Pt	91,6 ± 4,1 μm
	RΔq	0,30 ± 0,03		RΔq	0,31 ± 0,05
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,3 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,3 ± 0,5 μm
	Rz	74,5 ± 2,3 μm		Rz	74,4 ± 1,4 μm
	Pt	91,1 ± 2,0 μm		Pt	93,7 ± 5,1 μm
	RΔq	0,28 ± 0,03		RΔq	0,31 ± 0,03
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,5 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	28,2 ± 0,3 μm
	Rz	74,7 ± 1,0 μm		Rz	73,6 ± 0,6 μm
	Pt	91,5 ± 1,7 μm		Pt	92,3 ± 2,0 μm
	RΔq	0,27 ± 0,03		RΔq	0,29 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,6 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,6 ± 0,3 μm
	Rz	74,5 ± 1,3 μm		Rz	74,7 ± 1,3 μm
	Pt	93,7 ± 1,9 μm		Pt	92,9 ± 2,2 μm
	RΔq	0,28 ± 0,03		RΔq	0,28 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6

Rugosidade PG3 em PP preto

Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,6 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	28,4 ± 0,5 μm
	Rz	75,8 ± 0,9 μm		Rz	76,2 ± 1,0 μm
	Pt	95,9 ± 3,1 μm		Pt	94,5 ± 1,6 μm
	RΔq	0,31 ± 0,03		RΔq	0,34 ± 0,03
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,5 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,4 ± 0,3 μm
	Rz	77,8 ± 1,0 μm		Rz	76,7 ± 1,1 μm
	Pt	96,6 ± 1,7 μm		Pt	95,3 ± 2,5 μm
	RΔq	0,33 ± 0,03		RΔq	0,31 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,9 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	28,3 ± 0,6 μm
	Rz	73,8 ± 0,9 μm		Rz	74,0 ± 1,0 μm
	Pt	90,9 ± 2,0 μm		Pt	91,3 ± 2,6 μm
	RΔq	0,28 ± 0,04		RΔq	0,32 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,4 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,3 ± 0,4 μm
	Rz	75,1 ± 1,6 μm		Rz	74,0 ± 1,0 μm
	Pt	92,3 ± 2,4 μm		Pt	91,5 ± 2,0 μm
	RΔq	0,30 ± 0,04		RΔq	0,31 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	28,9 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	28,8 ± 0,3 μm
	Rz	74,9 ± 1,5 μm		Rz	74,6 ± 0,8 μm
	Pt	93,3 ± 3,3 μm		Pt	92,0 ± 1,6 μm
	RΔq	0,31 ± 0,04		RΔq	0,30 ± 0,01
	Rpc	6		Rpc	6
Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	28,9 ± 0,3 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	28,9 ± 0,5 μm
	Rz	76,6 ± 0,7 μm		Rz	74,9 ± 0,9 μm
	Pt	95,0 ± 2,1 μm		Pt	91,4 ± 1,4 μm
	RΔq	0,27 ± 0,04		RΔq	0,29 ± 0,04
	Rpc	6		Rpc	6

Rugosidade PS3 em ABS cinza

Zona 1	Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	9,0 ± 0,3 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	9,2 ± 0,7 μm
		Rz	48,5 ± 1,6 μm		Rz	49,6 ± 3,4 μm
Pt	69,8 ± 4,4 μm	Pt	73,5 ± 5,2 μm			
RΔq	0,22 ± 0,03	RΔq	0,23 ± 0,01			
Rpc	26,9 ± 2,2	Rpc	27,3 ± 2,6			
Zona 2	Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	8,6 ± 0,7 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	9,0 ± 0,6 μm
		Rz	47,1 ± 3,2 μm		Rz	48,7 ± 2,6 μm
		Pt	66,9 ± 4,3 μm		Pt	69,5 ± 4,5 μm
		RΔq	0,22 ± 0,01		RΔq	0,25 ± 0,02
		Rpc	28,3 ± 2,5		Rpc	28,9 ± 3,1
Zona 3	Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	8,6 ± 0,2 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	8,4 ± 0,5 μm
		Rz	47,3 ± 2,7 μm		Rz	45,5 ± 1,9 μm
		Pt	70,1 ± 7,8 μm		Pt	67,1 ± 4,3 μm
		RΔq	0,21 ± 0,03		RΔq	0,25 ± 0,06
		Rpc	26,8 ± 2,7		Rpc	29,0 ± 2,9
Zona 3	Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	8,3 ± 0,3 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	8,6 ± 0,5 μm
		Rz	45,8 ± 2,5 μm		Rz	47,4 ± 3,1 μm
		Pt	65,5 ± 4,4 μm		Pt	69,5 ± 6,9 μm
		RΔq	0,22 ± 0,02		RΔq	0,23 ± 0,01
		Rpc	27,3 ± 1,3		Rpc	27,6 ± 3,1
Zona 3	Tm: 30 °C P comp.:30 bar	Ra	7,4 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:30 bar	Ra	7,7 ± 0,4 μm
		Rz	39,6 ± 2,8 μm		Rz	42,2 ± 2,8 μm
		Pt	65,3 ± 13,7 μm		Pt	63,0 ± 5,2 μm
		RΔq	0,16 ± 0,02		RΔq	0,18 ± 0,02
		Rpc	25,6 ± 1,5		Rpc	26,8 ± 2,4
Zona 3	Tm: 30 °C P comp.:70 bar	Ra	8,0 ± 0,2 μm	Tm: 50 °C P comp.:70 bar	Ra	6,9 ± 2,5 μm
		Rz	62,1 ± 7,5 μm		Rz	43,0 ± 2,7 μm
		Pt	41,7 ± 1,5 μm		Pt	64,8 ± 5,4 μm
		RΔq	0,19 ± 0,03		RΔq	0,18 ± 0,02
		Rpc	24,0 ± 1,7		Rpc	27,0 ± 2,2

Rugosidade PS3 em ABS preto

Zona 1		Tm: 30 °C		Tm: 50 °C		
		P comp.:30 bar		P comp.:30 bar		
Zona 1	Tm: 30 °C	Ra	8,6 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,7 ± 0,5 μm
		Rz	46,3 ± 3,5 μm		Rz	45,6 ± 2,0 μm
		Pt	66,8 ± 3,1 μm		Pt	72,4 ± 3,5 μm
		RΔq	0,19 ± 0,01		RΔq	0,22 ± 0,03
		Rpc	25,8 ± 2,5		Rpc	27,3 ± 2,5
	Tm: 30 °C	Ra	8,7 ± 0,7 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,8 ± 0,6 μm
		Rz	47,1 ± 3,9 μm		Rz	47,3 ± 2,1 μm
		Pt	68,4 ± 9,7 μm		Pt	70,4 ± 5,0 μm
		RΔq	0,22 ± 0,07		RΔq	0,23 ± 0,02
		Rpc	26,4 ± 4,1		Rpc	28,5 ± 3,4
Zona 2	Tm: 30 °C	Ra	8,4 ± 0,3 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,4 ± 0,5 μm
		Rz	45,8 ± 3,0 μm		Rz	46,4 ± 3,6 μm
		Pt	69,1 ± 4,0 μm		Pt	69,4 ± 7,3 μm
		RΔq	0,19 ± 0,02		RΔq	0,21 ± 0,01
		Rpc	25,8 ± 2,5		Rpc	27,6 ± 2,1
	Tm: 30 °C	Ra	8,3 ± 0,9 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,3 ± 0,5 μm
		Rz	44,9 ± 4,2 μm		Rz	46,9 ± 2,1 μm
		Pt	65,8 ± 5,0 μm		Pt	74,3 ± 5,0 μm
		RΔq	0,20 ± 0,01		RΔq	0,23 ± 0,03
		Rpc	25,9 ± 3,1		Rpc	29,5 ± 3,0
Zona 3	Tm: 30 °C	Ra	7,8 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,0 ± 0,5 μm
		Rz	41,6 ± 2,1 μm		Rz	42,3 ± 2,0 μm
		Pt	64,0 ± 4,2 μm		Pt	63,4 ± 6,7 μm
		RΔq	0,16 ± 0,01		RΔq	0,18 ± 0,02
		Rpc	25,1 ± 1,8		Rpc	25,6 ± 2,4
	Tm: 30 °C	Ra	7,5 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C	Ra	7,4 ± 0,5 μm
		Rz	41,3 ± 3,0 μm		Rz	41,4 ± 1,6 μm
		Pt	62,9 ± 3,5 μm		Pt	62,9 ± 4,4 μm
		RΔq	0,17 ± 0,02		RΔq	0,19 ± 0,03
		Rpc	26,8 ± 2,0		Rpc	27,3 ± 2,3

Rugosidade PS3 em PP cinza						
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	9,0 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	9,7 ± 0,9 μm
		Rz	47,9 ± 2,7 μm		Rz	51,6 ± 3,1 μm
		Pt	72,3 ± 9,4 μm		Pt	76,2 ± 8,3 μm
		RΔq	0,21 ± 0,02		RΔq	0,23 ± 0,02
		Rpc	23,0 ± 2,9		Rpc	24,0 ± 3,3
	Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	9,0 ± 0,9 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	9,3 ± 0,9 μm
		Rz	49,5 ± 3,5 μm		Rz	52,2 ± 3,9 μm
		Pt	70,1 ± 9,1 μm		Pt	75,6 ± 6,6 μm
		RΔq	0,22 ± 0,01		RΔq	0,25 ± 0,03
		Rpc	25,0 ± 2,6		Rpc	26,3 ± 3,3
Zona 2	Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	8,3 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	9,0 ± 0,9 μm
		Rz	44,9 ± 2,4 μm		Rz	47,9 ± 5,1 μm
		Pt	64,4 ± 6,3 μm		Pt	72,3 ± 11,4 μm
		RΔq	0,20 ± 0,02		RΔq	0,21 ± 0,02
		Rpc	25,3 ± 2,5		Rpc	26,4 ± 2,6
	Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	9,2 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	8,5 ± 0,8 μm
		Rz	50,4 ± 2,3 μm		Rz	46,0 ± 3,8 μm
		Pt	77,3 ± 7,8 μm		Pt	69,9 ± 7,9 μm
		RΔq	0,22 ± 0,03		RΔq	0,21 ± 0,01
		Rpc	24,4 ± 2,3		Rpc	27,1 ± 3,4
Zona 3	Tm: 30 °C P comp.:15 bar	Ra	7,9 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C P comp.:15 bar	Ra	7,5 ± 0,7 μm
		Rz	41,5 ± 1,9 μm		Rz	39,0 ± 3,8 μm
		Pt	64,0 ± 3,1 μm		Pt	63,4 ± 8,4 μm
		RΔq	0,19 ± 0,03		RΔq	0,18 ± 0,02
		Rpc	24,0 ± 2,4		Rpc	24,3 ± 2,6
	Tm: 30 °C P comp.:35 bar	Ra	7,6 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C P comp.:35 bar	Ra	8,2 ± 0,4 μm
		Rz	41,6 ± 2,7 μm		Rz	44,0 ± 1,2 μm
		Pt	69,9 ± 12,8 μm		Pt	66,4 ± 4,7 μm
		RΔq	0,18 ± 0,02		RΔq	0,19 ± 0,02
		Rpc	26,3 ± 1,8		Rpc	24,8 ± 2,1

Rugosidade PS3 em PP preto

Zona 1		Tm: 30 °C		Tm: 50 °C		
		P comp.:15 bar		P comp.:15 bar		
Zona 1	Tm: 30 °C	Ra	9,1 ± 0,4 μm	Tm: 50 °C	Ra	9,2 ± 0,5 μm
		Rz	50,5 ± 2,1 μm		Rz	49,1 ± 3,5 μm
		Pt	74,6 ± 9,4 μm		Pt	73,9 ± 9,1 μm
		RΔq	0,24 ± 0,02		RΔq	0,25 ± 0,01
		Rpc	27,3 ± 2,8		Rpc	27,9 ± 2,4
	Tm: 30 °C	Ra	8,9 ± 0,7 μm	Tm: 50 °C	Ra	9,2 ± 0,7 μm
		Rz	48,6 ± 3,6 μm		Rz	48,4 ± 1,8 μm
		Pt	73,2 ± 9,6 μm		Pt	71,0 ± 7,1 μm
		RΔq	0,24 ± 0,01		RΔq	0,26 ± 0,02
		Rpc	28,9 ± 2,4		Rpc	29,1 ± 3,4
Zona 2	Tm: 30 °C	Ra	8,3 ± 0,5 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,8 ± 0,6 μm
		Rz	45,0 ± 1,7 μm		Rz	47,8 ± 3,1 μm
		Pt	70,6 ± 5,3 μm		Pt	72,4 ± 3,2 μm
		RΔq	0,22 ± 0,02		RΔq	0,24 ± 0,02
		Rpc	28,0 ± 1,9		Rpc	28,1 ± 2,9
	Tm: 30 °C	Ra	9,0 ± 0,8 μm	Tm: 50 °C	Ra	8,5 ± 0,7 μm
		Rz	49,1 ± 3,7 μm		Rz	46,9 ± 2,6 μm
		Pt	78,2 ± 7,4 μm		Pt	66,3 ± 6,2 μm
		RΔq	0,23 ± 0,02		RΔq	0,24 ± 0,01
		Rpc	27,4 ± 3,6		Rpc	28,8 ± 2,8
Zona 3	Tm: 30 °C	Ra	7,6 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C	Ra	7,7 ± 0,4 μm
		Rz	40,9 ± 2,5 μm		Rz	41,1 ± 2,4 μm
		Pt	61,1 ± 5,2 μm		Pt	59,3 ± 2,6 μm
		RΔq	0,18 ± 0,01		RΔq	0,19 ± 0,01
		Rpc	26,6 ± 2,5		Rpc	27,1 ± 3,6
	Tm: 30 °C	Ra	7,6 ± 0,6 μm	Tm: 50 °C	Ra	7,5 ± 0,8 μm
		Rz	41,4 ± 3,3 μm		Rz	42,0 ± 3,2 μm
		Pt	60,9 ± 4,4 μm		Pt	60,0 ± 8,0 μm
		RΔq	0,19 ± 0,01		RΔq	0,19 ± 0,01
		Rpc	27,3 ± 1,9		Rpc	28,8 ± 3,0

ANEXO B: Brilho das placas injetadas em ABS e PP em cinza e preto

Para os postigos PG3 e PS3 foram injetados quatro materiais, ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto e para cada parâmetro utilizado foram produzidas quatro placas de cada material. Para cada placa injetada foram efetuadas quatro medições de brilho, o que indica que para cada zona e parâmetro aplicado foram efetuadas dezasseis medições. Nas tabelas seguintes estão representados os valores de brilho respetivos de cada material segundo o postigo utilizado, zona e parâmetro de injeção aplicado.

Brilho PG3 em ABS cinza								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 30 bar	6,8 ± 0,2 UB	Tm: 30 °C P comp.: 70 bar	6,2 ± 0,2 UB	Tm: 50 °C P comp.: 30 bar	4,0 ± 0,2 UB	Tm: 50 °C P comp.: 70 bar	3,4 ± 0,1 UB
Zona 2		8,7 ± 0,3 UB		8,0 ± 0,3 UB		4,8 ± 0,3 UB		4,0 ± 0,1 UB
Zona 3		13,0 ± 0,4 UB		12,5 ± 0,4 UB		11,2 ± 0,7 UB		9,3 ± 0,2 UB

Brilho PG3 em ABS preto								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 30 bar	10,2 ± 0,2 UB	Tm: 30 °C P comp.: 70 bar	9,3 ± 0,5 UB	Tm: 50 °C P comp.: 30 bar	6,2 ± 0,3 UB	Tm: 50 °C P comp.: 70 bar	4,3 ± 0,2 UB
Zona 2		15,7 ± 0,5 UB		14,2 ± 0,5 UB		9,2 ± 0,7 UB		5,8 ± 0,3 UB
Zona 3		20,5 ± 0,4 UB		18,6 ± 0,4 UB		15,1 ± 0,6 UB		10,9 ± 0,4 UB

Brilho PG3 em PP cinza								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 15 bar	5,2 ± 0,2 UB	Tm: 30 °C P comp.: 35 bar	4,7 ± 0,2 UB	Tm: 50 °C P comp.: 15 bar	4,9 ± 0,3 UB	Tm: 50 °C P comp.: 35 bar	3,8 ± 0,1 UB
Zona 2		5,8 ± 0,2 UB		4,9 ± 0,2 UB		5,4 ± 0,4 UB		4,1 ± 0,1 UB
Zona 3		7,1 ± 0,2 UB		7,7 ± 0,1 UB		7,1 ± 0,2 UB		7,2 ± 0,1 UB

Brilho PG3 em PP preto								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 15 bar	2,5 ± 0,1 UB	Tm: 30 °C P comp.: 35 bar	2,3 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 15 bar	2,4 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 35 bar	2,2 ± 0,1 UB
Zona 2		3,0 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,1 UB		2,8 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB
Zona 3		5,0 ± 0,2 UB		5,3 ± 0,2 UB		4,9 ± 0,1 UB		4,9 ± 0,1 UB

Brilho PS3 em ABS cinza								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 30 bar	3,5 ± 0,1 UB	Tm: 30 °C P comp.: 70 bar	3,3 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 30 bar	2,8 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 70 bar	2,6 ± 0,1 UB
Zona 2		3,6 ± 0,1 UB		3,5 ± 0,1 UB		2,9 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,0 UB
Zona 3		4,8 ± 0,2 UB		4,7 ± 0,2 UB		4,3 ± 0,1 UB		4,2 ± 0,1 UB

Brilho PS3 em ABS preto								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 30 bar	3,5 ± 0,2 UB	Tm: 30 °C P comp.: 70 bar	3,2 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 30 bar	2,9 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 70 bar	2,5 ± 0,1 UB
Zona 2		3,7 ± 0,2 UB		3,5 ± 0,1 UB		3,0 ± 0,2 UB		2,6 ± 0,0 UB
Zona 3		5,0 ± 0,2 UB		4,7 ± 0,1 UB		4,3 ± 0,2 UB		4,1 ± 0,2 UB

Brilho PS3 em PP cinza								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 15 bar	3,4 ± 0,1 UB	Tm: 30 °C P comp.: 35 bar	3,2 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 15 bar	3,0 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 35 bar	2,7 ± 0,1 UB
Zona 2		3,4 ± 0,1 UB		3,2 ± 0,1 UB		3,0 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB
Zona 3		4,3 ± 0,1 UB		4,3 ± 0,1 UB		4,1 ± 0,1 UB		4,0 ± 0,1 UB

Brilho PS3 em PP preto								
Zona 1	Tm: 30 °C P comp.: 15 bar	1,7 ± 0,03 UB	Tm: 30 °C P comp.: 35 bar	1,6 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 15 bar	1,5 ± 0,1 UB	Tm: 50 °C P comp.: 35 bar	1,4 ± 0,1 UB
Zona 2		1,8 ± 0,1 UB		1,6 ± 0,1 UB		1,6 ± 0,1 UB		1,4 ± 0,1 UB
Zona 3		2,7 ± 0,1 UB		2,8 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB

Para os postigos PP6, PG6 e PS6 foram injetadas catorze placas para cada um dos quatro materiais, ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto. Para cada placa injetada foram efetuadas quatro medições de brilho, o que indica que para cada zona foram efetuadas cinquenta e seis medições. Nas tabelas seguintes estão representados os valores de brilho respetivos de cada material segundo o postigo utilizado e zona.

Brilho placas PP6 em ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto								
Zona 1	ABS cinza	2,2 ± 0,1 UB	ABS preto	2,1 ± 0,1 UB	PP cinza	2,8 ± 0,1 UB	PP preto	1,5 ± 0,1 UB
Zona 2		2,3 ± 0,1 UB		2,1 ± 0,1 UB		3,0 ± 0,1 UB		1,8 ± 0,1 UB
Zona 3		2,6 ± 0,1 UB		2,3 ± 0,1 UB		3,1 ± 0,1 UB		1,9 ± 0,1 UB
Zona 4		2,9 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,1 UB		3,4 ± 0,1 UB		2,2 ± 0,1 UB
Zona 5		3,2 ± 0,1 UB		3,1 ± 0,1 UB		3,7 ± 0,1 UB		2,4 ± 0,1 UB
Zona 6		3,7 ± 0,1 UB		3,4 ± 0,1 UB		4,1 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB

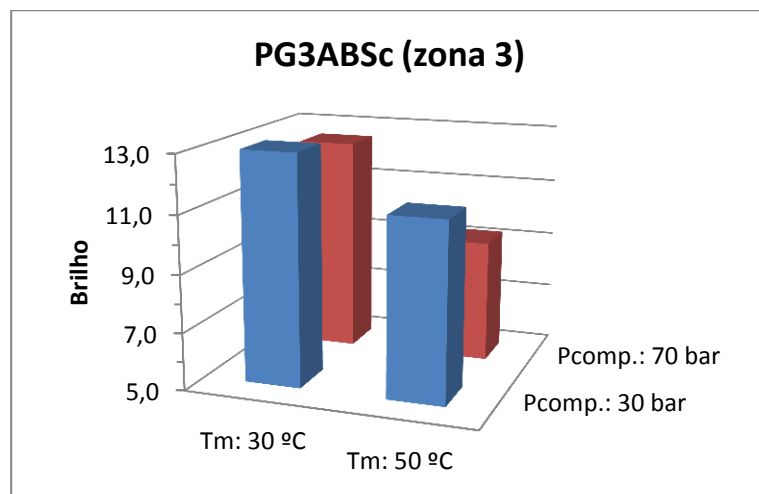
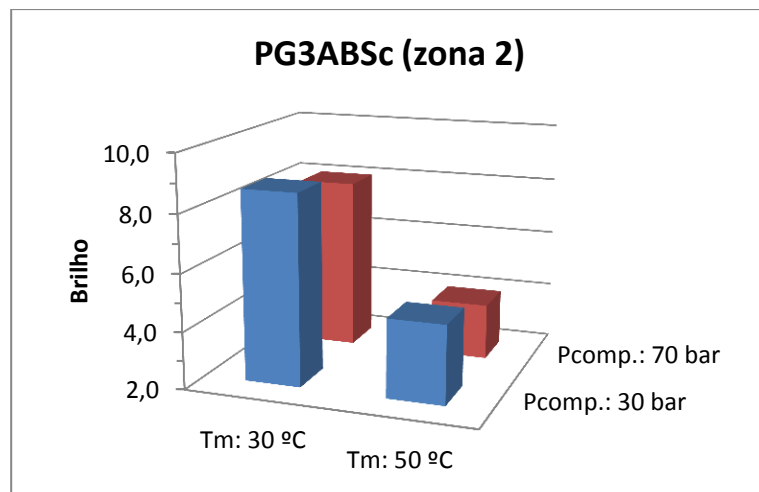
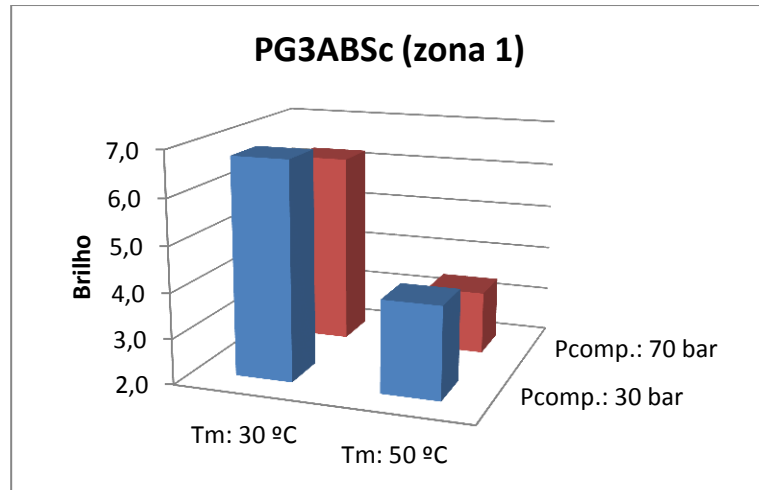
Brilho placas PG6 em ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto								
Zona 1	ABS cinza	1,8 ± 0,1 UB	ABS preto	1,5 ± 0,1 UB	PP cinza	2,3 ± 0,1 UB	PP preto	1,1 ± 0,0 UB
Zona 2		2,0 ± 0,1 UB		1,7 ± 0,1 UB		2,5 ± 0,1 UB		1,4 ± 0,0 UB
Zona 3		2,2 ± 0,1 UB		1,9 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB		1,5 ± 0,0 UB
Zona 4		2,6 ± 0,0 UB		2,4 ± 0,0 UB		2,9 ± 0,1 UB		1,8 ± 0,0 UB
Zona 5		2,7 ± 0,0 UB		2,5 ± 0,0 UB		2,9 ± 0,1 UB		1,9 ± 0,0 UB
Zona 6		2,8 ± 0,1 UB		2,6 ± 0,1 UB		3,0 ± 0,1 UB		2,0 ± 0,0 UB

Brilho placas PS6 em ABS cinza, ABS preto, PP cinza e PP preto

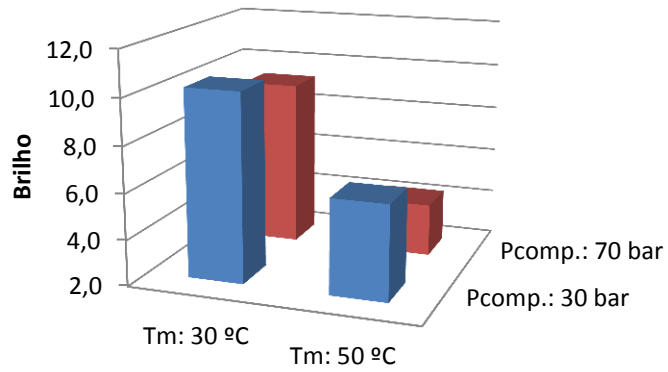
Zona 1	ABS cinza	2,4 ± 0,1 UB	ABS preto	2,4 ± 0,1 UB	PP cinza	2,4 ± 0,1 UB	PP preto	1,6 ± 0,1 UB
Zona 2		2,4 ± 0,1 UB		2,4 ± 0,1 UB		2,4 ± 0,1 UB		1,8 ± 0,1 UB
Zona 3		2,7 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,1 UB		2,0 ± 0,1 UB
Zona 4		3,1 ± 0,1 UB		3,1 ± 0,1 UB		3,1 ± 0,1 UB		2,4 ± 0,1 UB
Zona 5		3,3 ± 0,1 UB		3,3 ± 0,1 UB		3,3 ± 0,1 UB		2,5 ± 0,1 UB
Zona 6		3,8 ± 0,1 UB		3,8 ± 0,1 UB		3,8 ± 0,1 UB		2,7 ± 0,1 UB

ANEXO C: Estudo do brilho vs. parâmetros de injeção

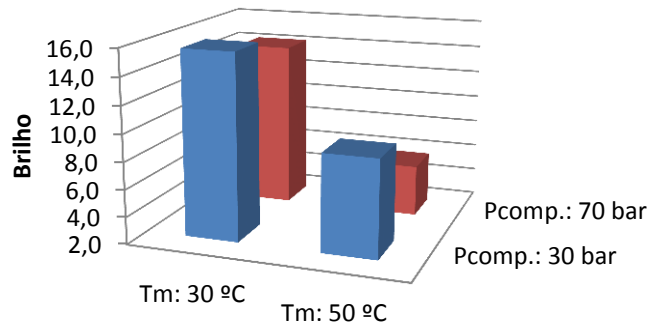
Neste estudo foi confrontado o valor de brilho de cada zona das placas PG3ABSc, PG3ABSp, PG3PPc, PG3PPp, PS3ABSc, PS3ABSp, PS3PPc e PS3PPp com a temperatura do molde e pressão de compactação.



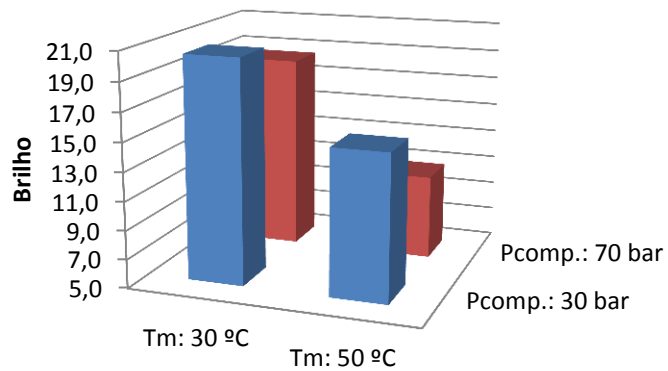
PG3ABSp (zona 1)

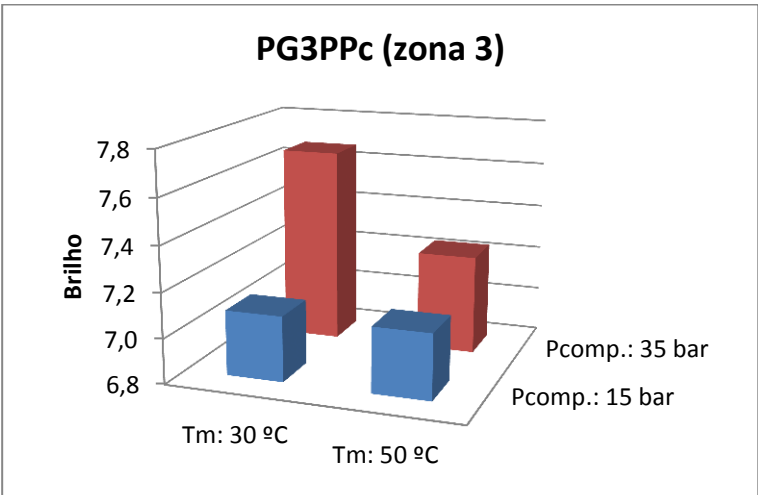
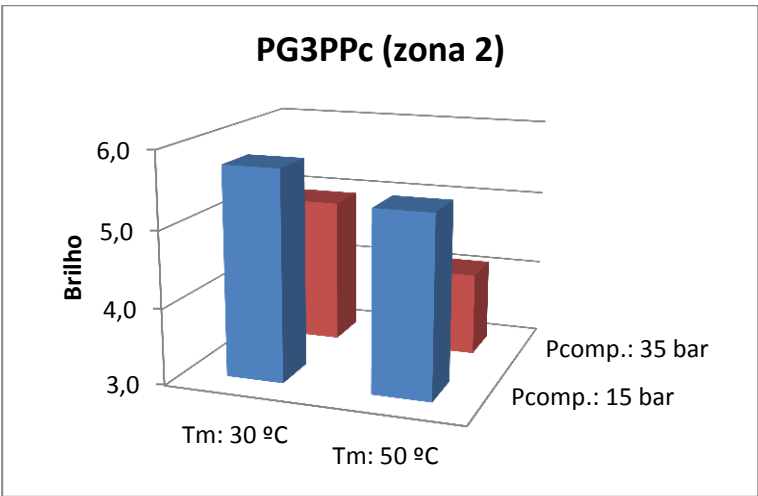
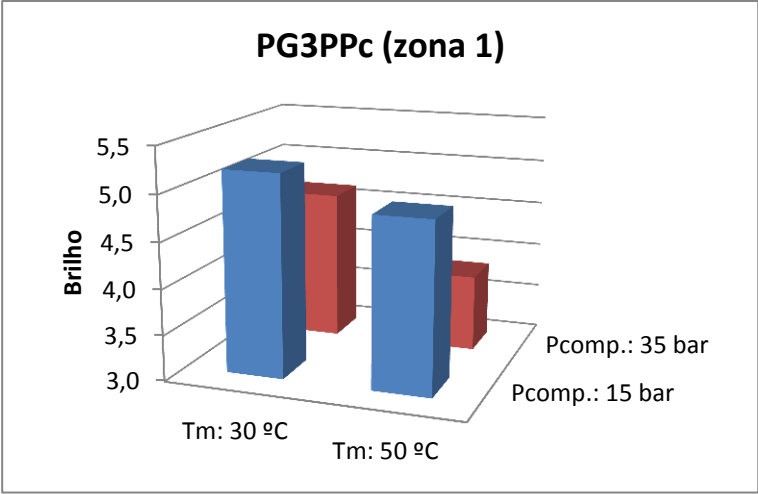


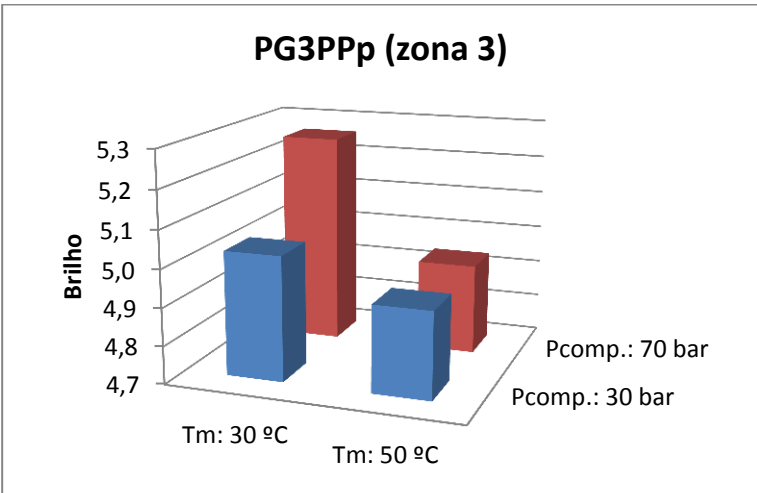
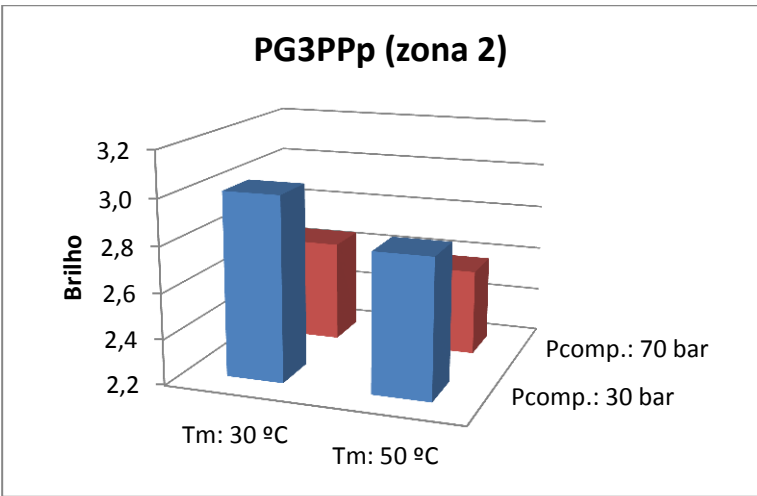
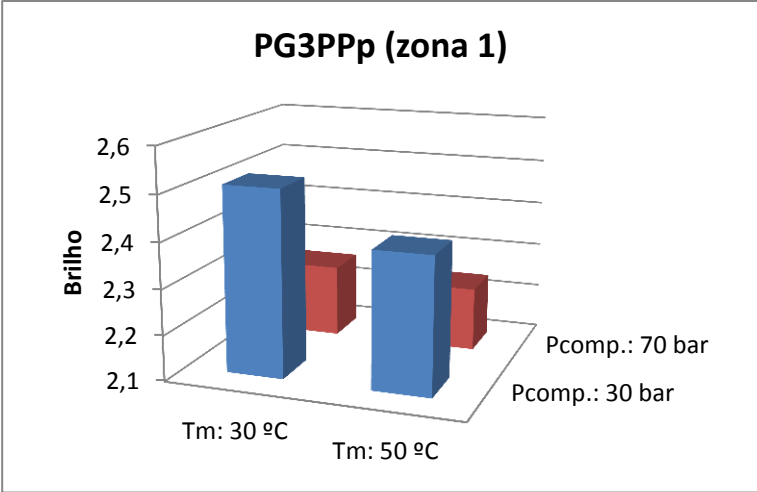
PG3ABSp (zona 2)

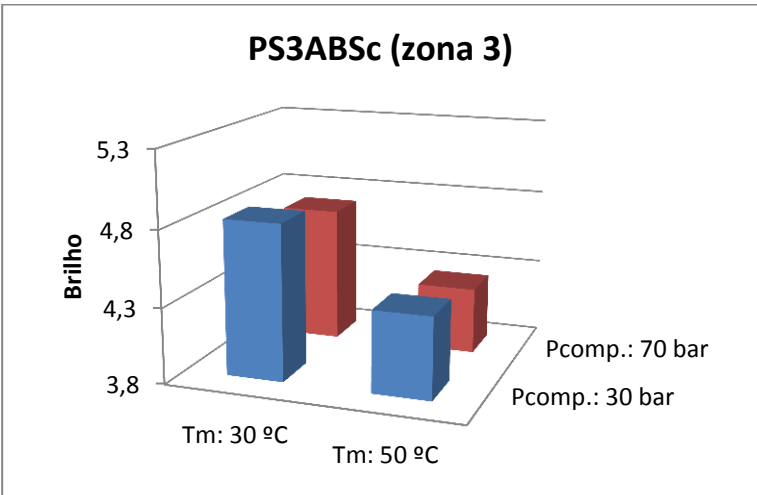
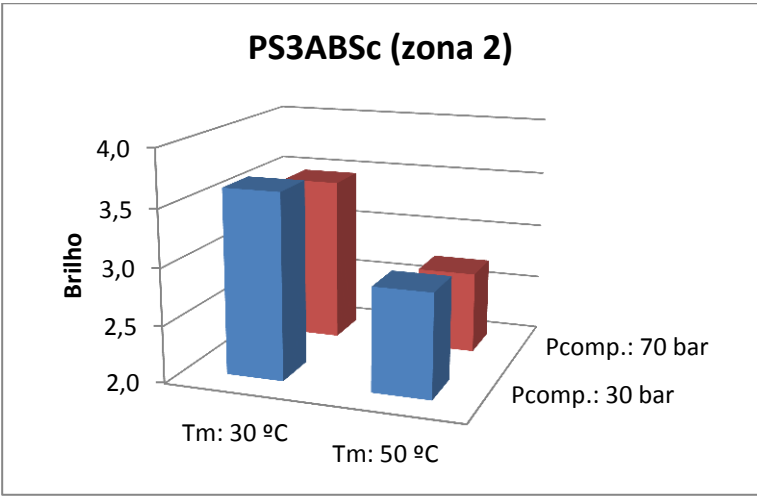
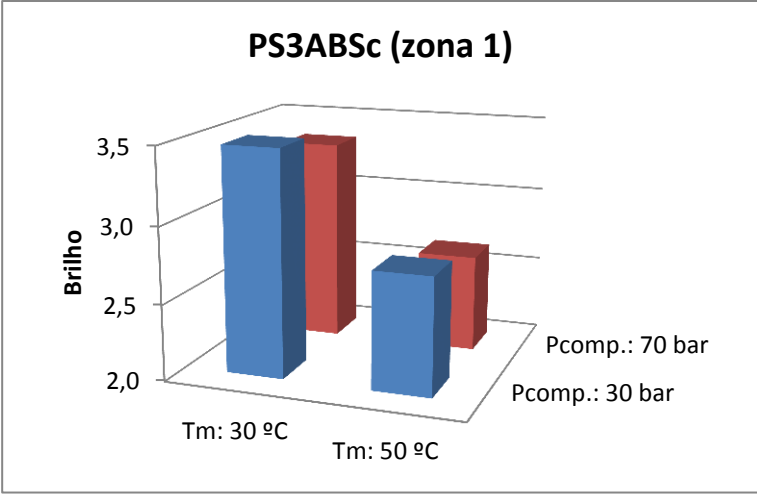


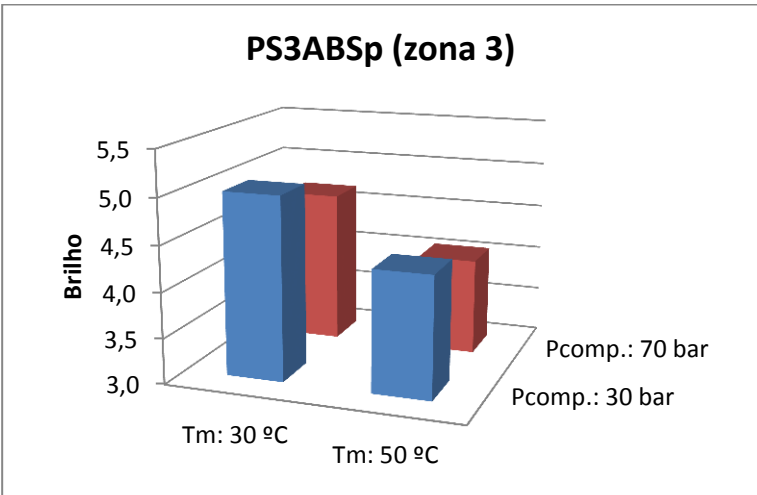
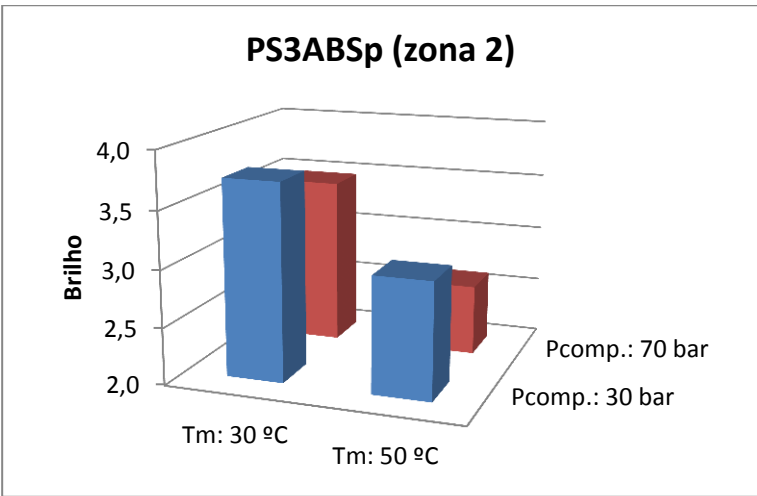
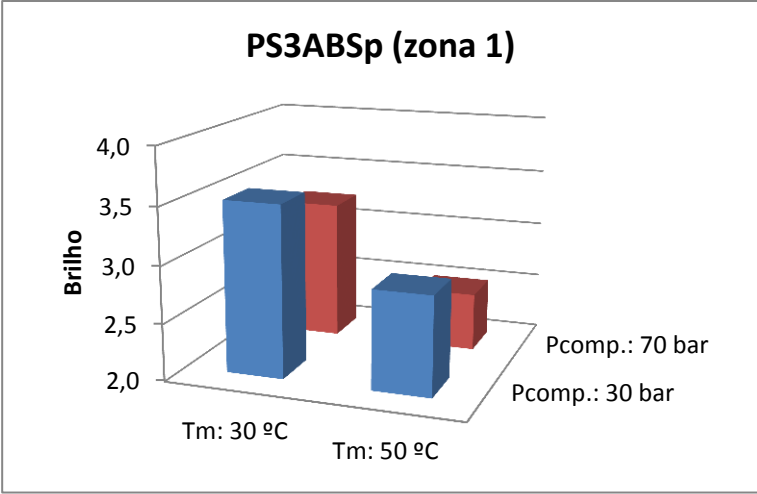
PG3ABSp (zona 3)

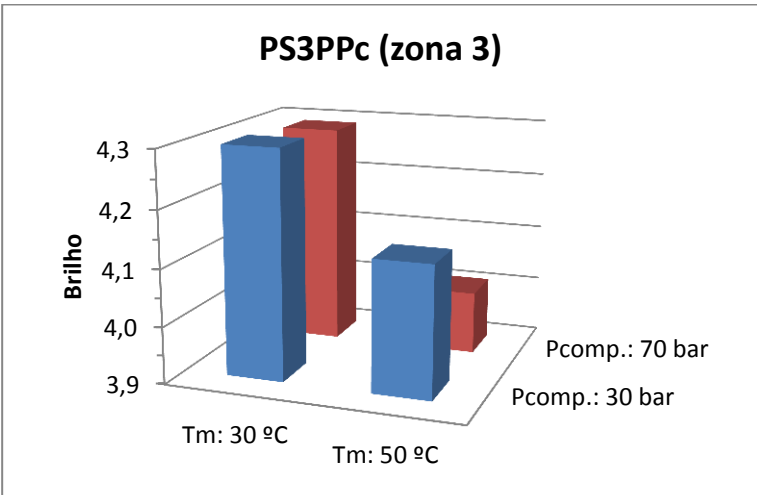
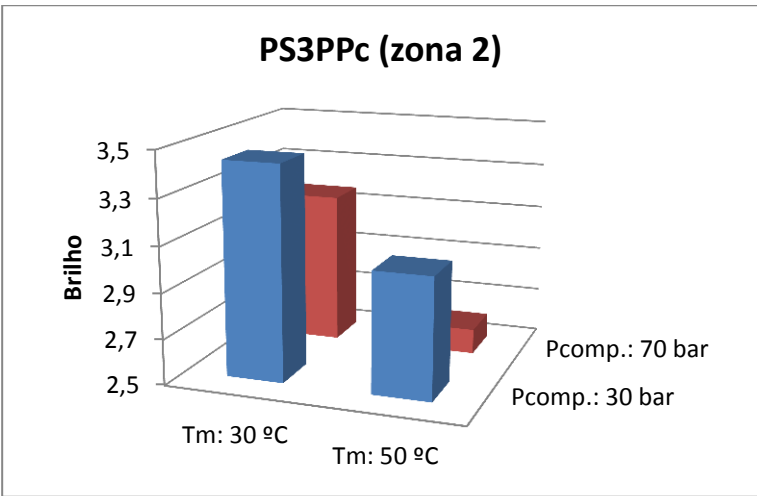
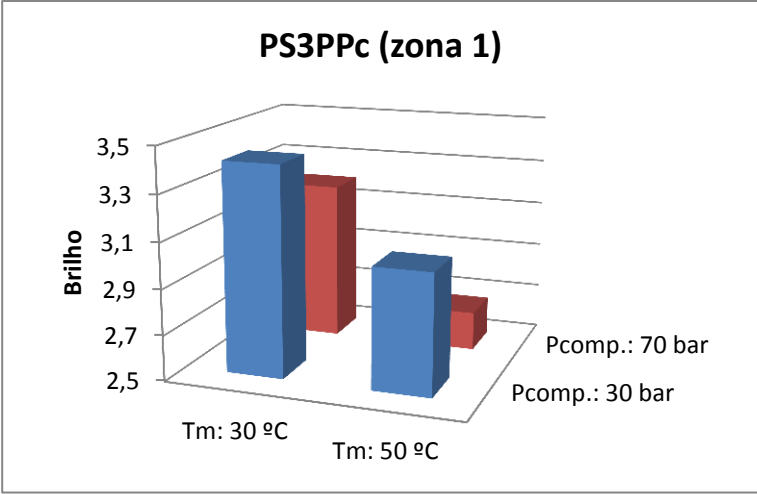


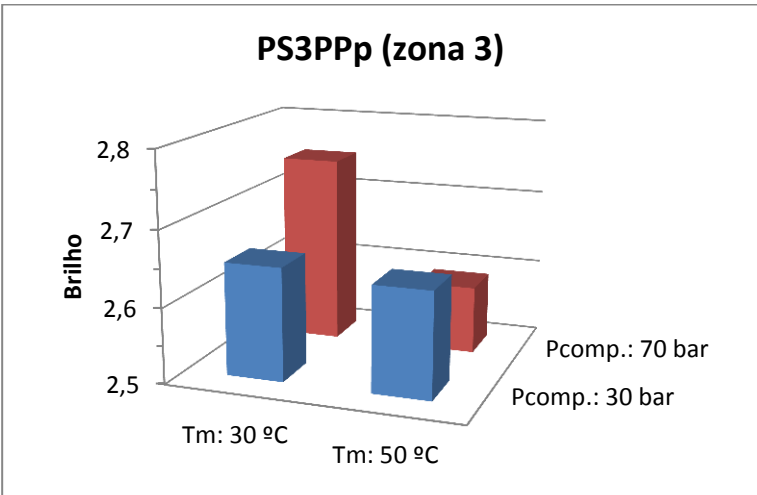
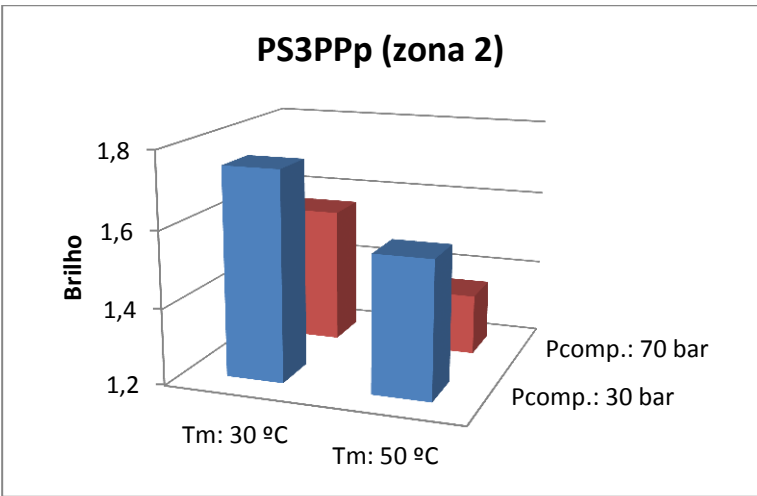
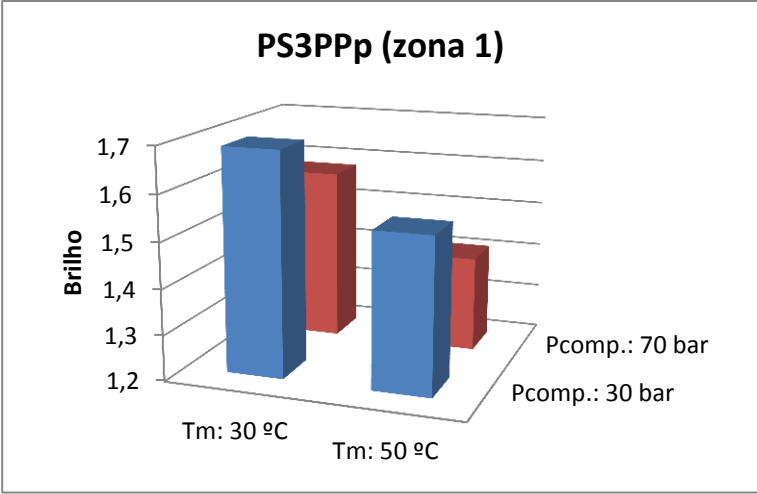






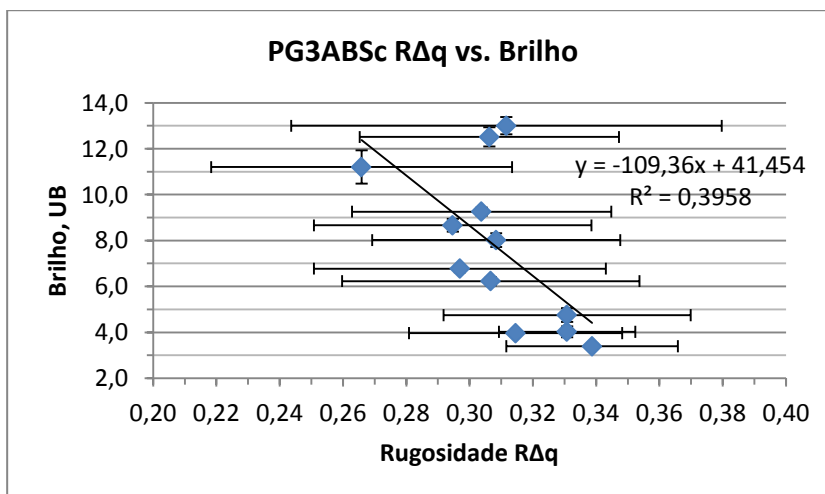
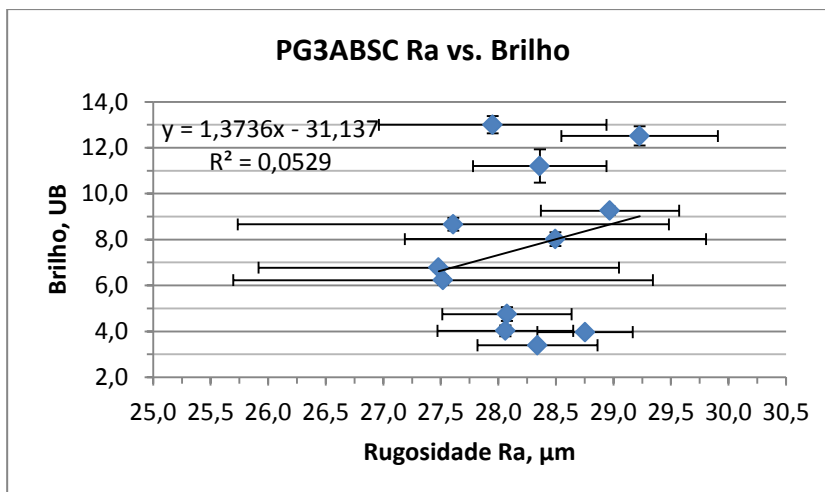
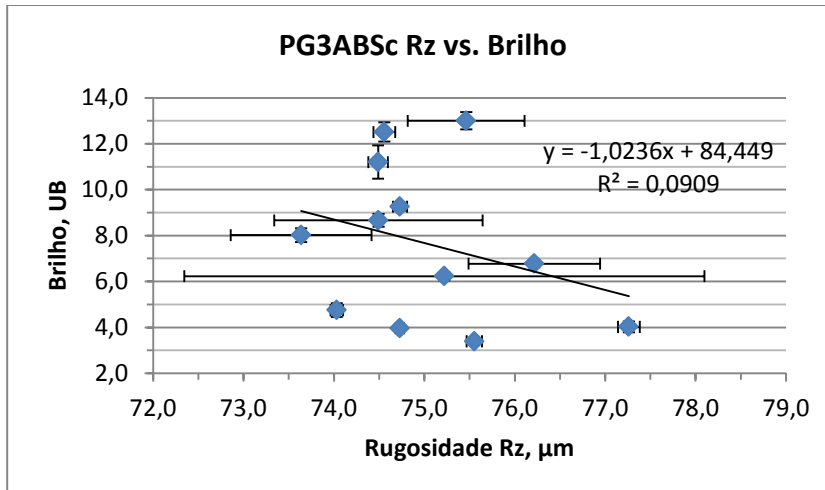


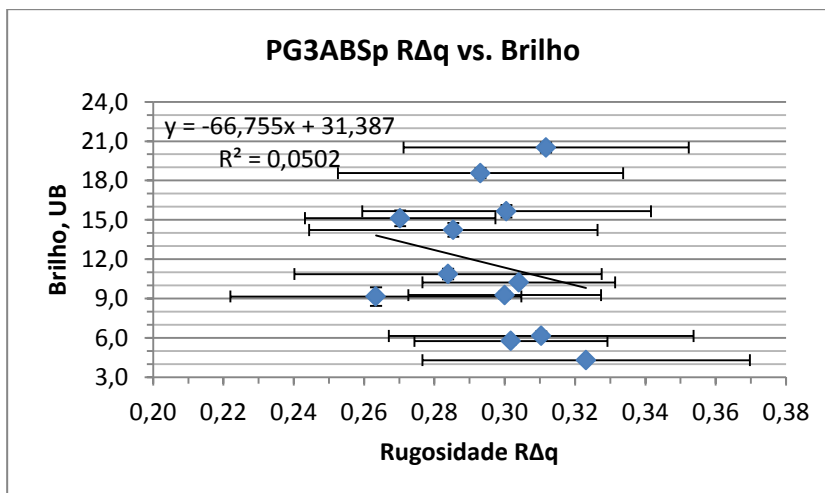
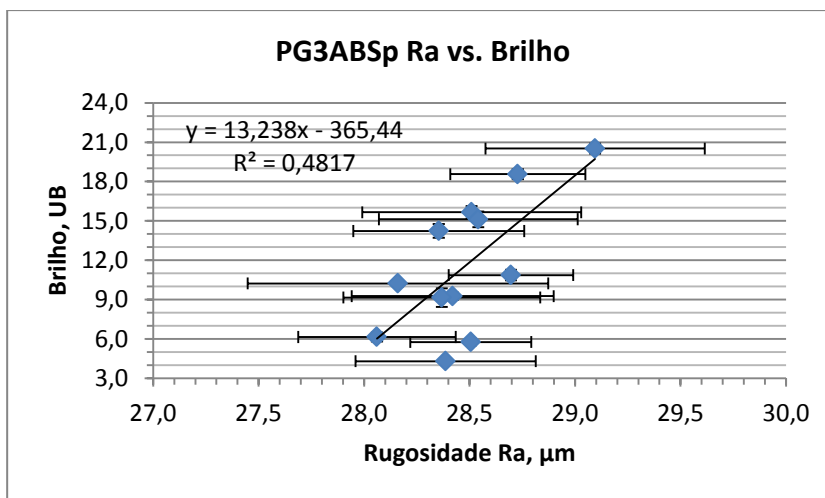
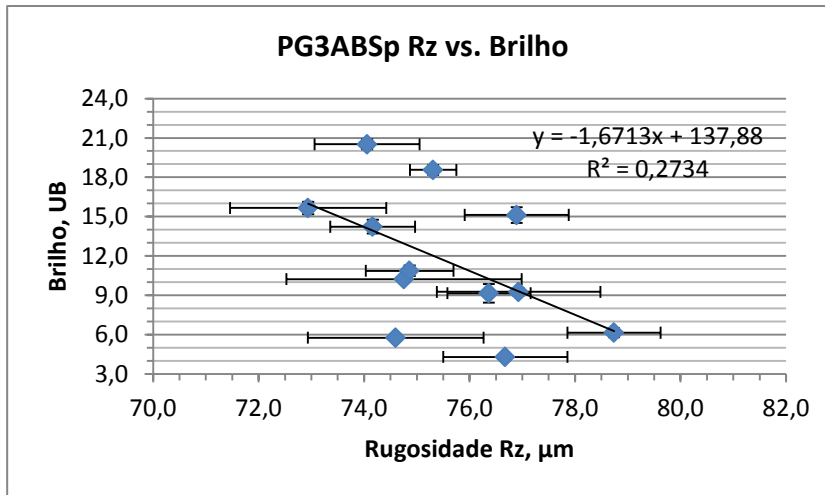


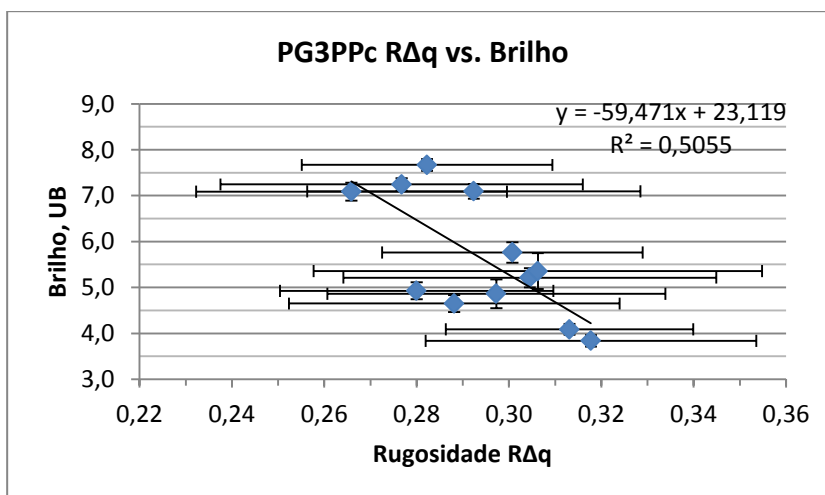
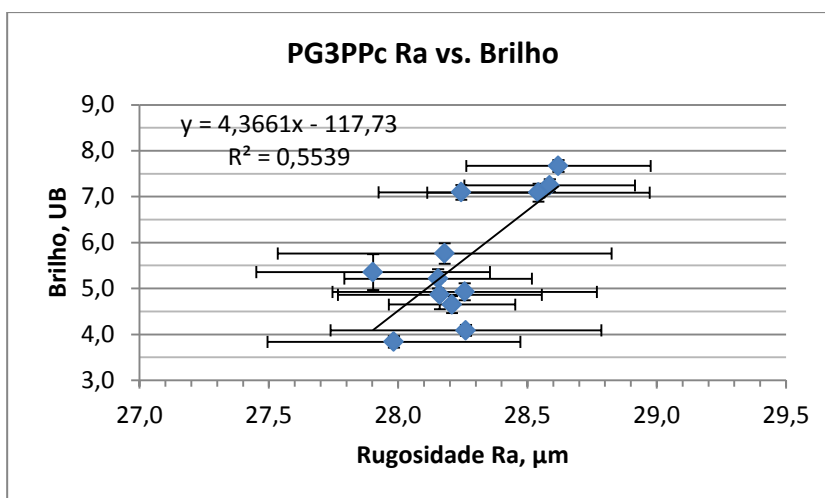
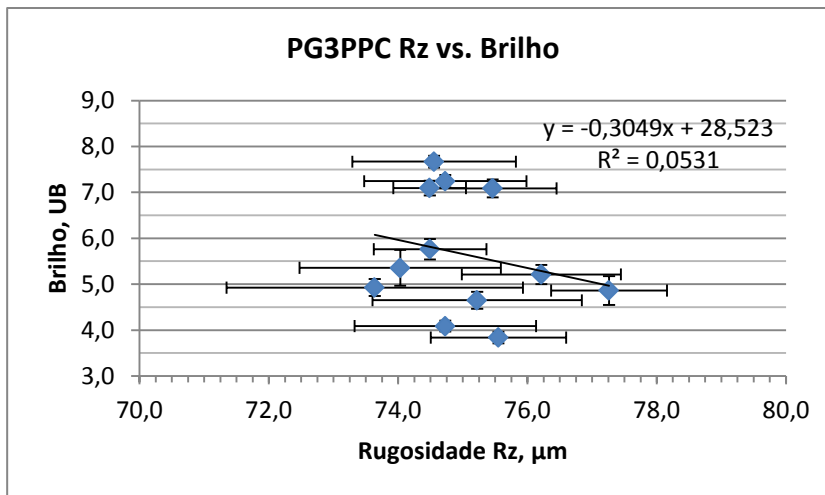


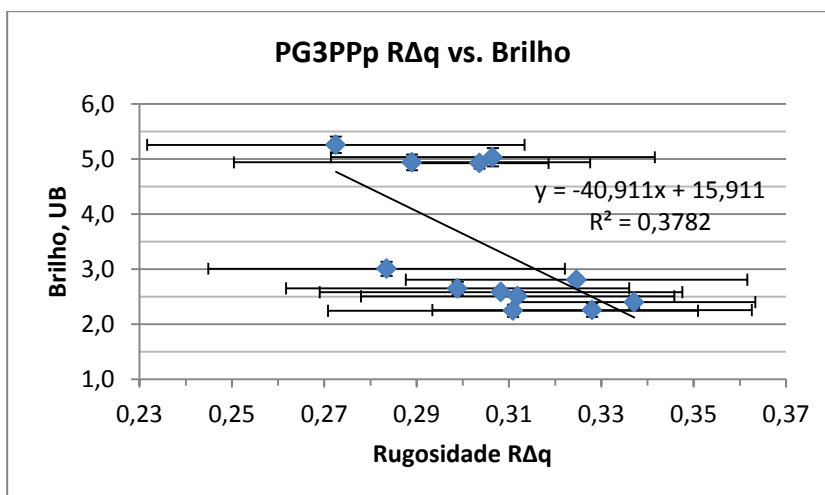
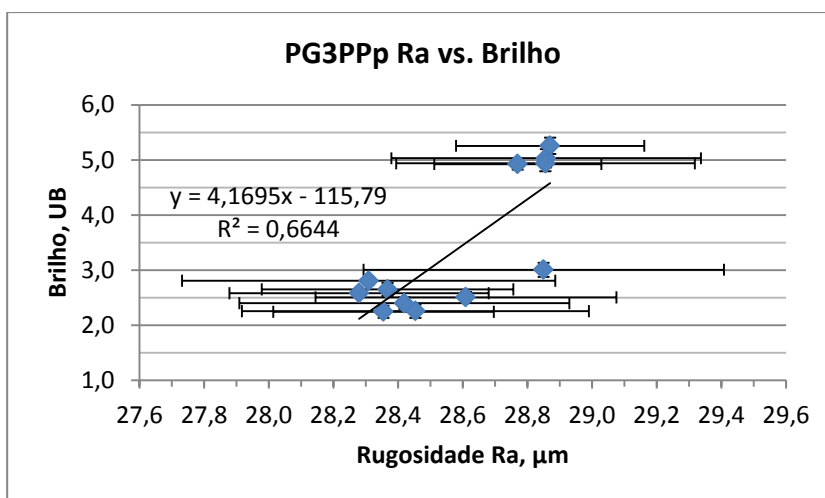
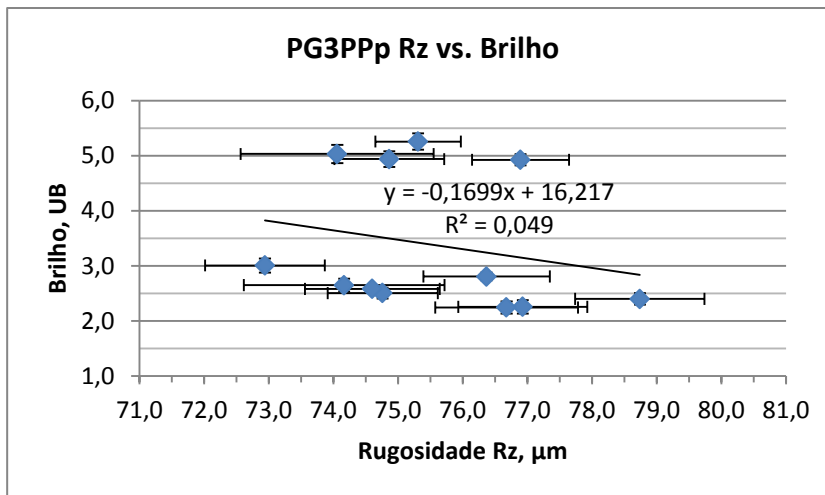
ANEXO D: Estudo da rugosidade das placas vs. brilho das placas

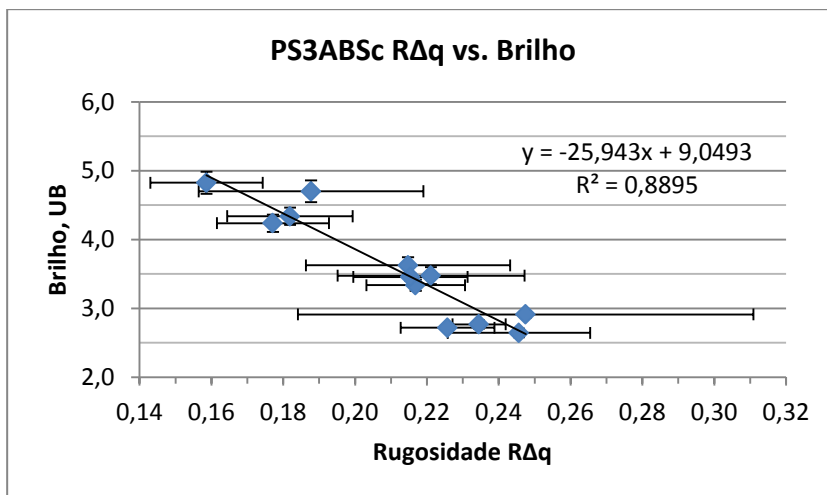
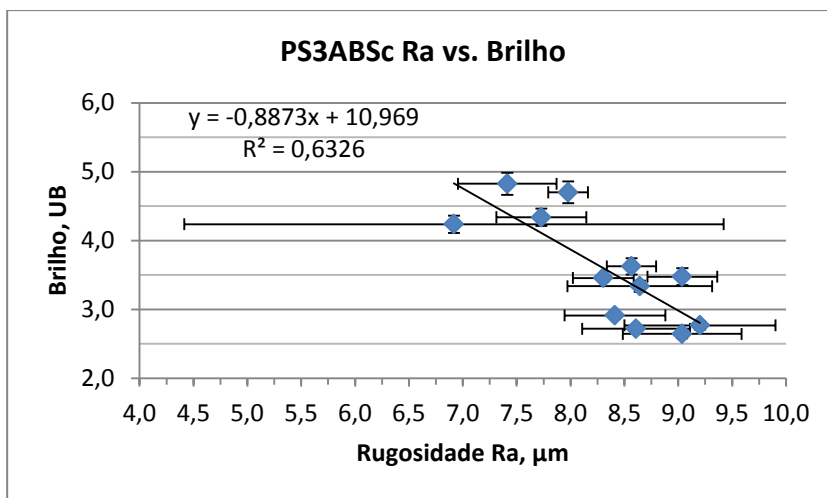
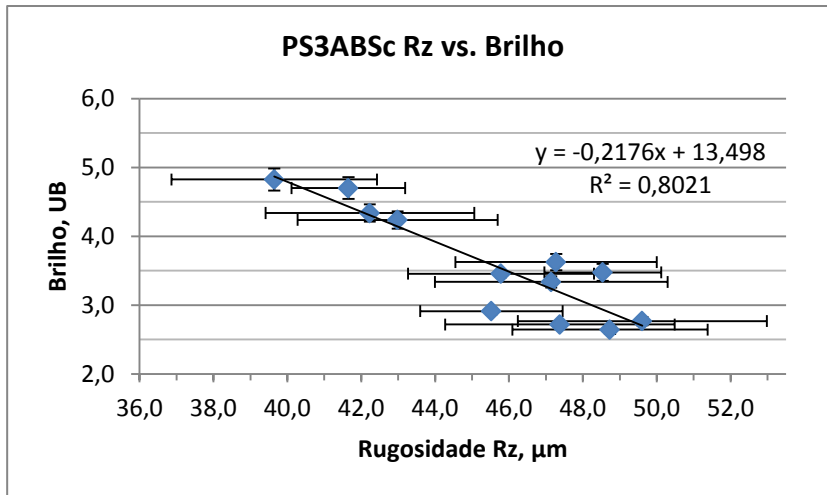
Neste estudo foram confrontados três parâmetros de rugosidade (Rz, Ra e RΔq) das placas PG3ABSc, PG3ABSp, PG3PPc, PG3PPp, PS3ABSc, PS3ABSp, PS3PPc e PS3PPp com o brilho da respectiva zona da placa.

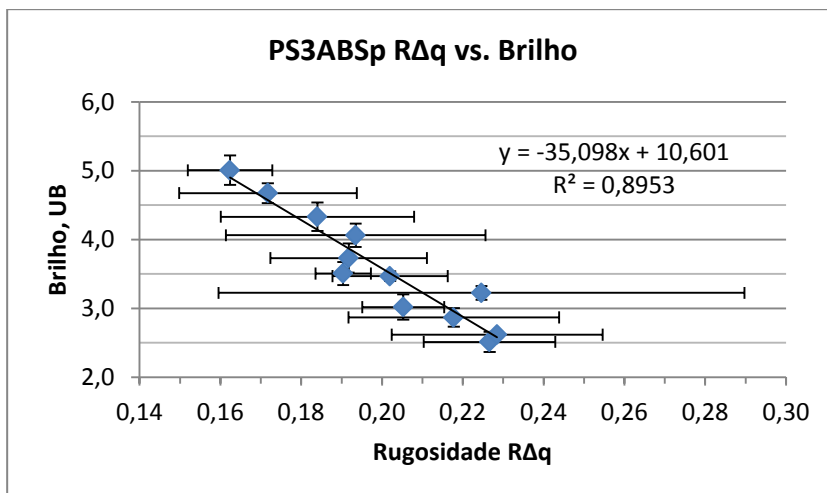
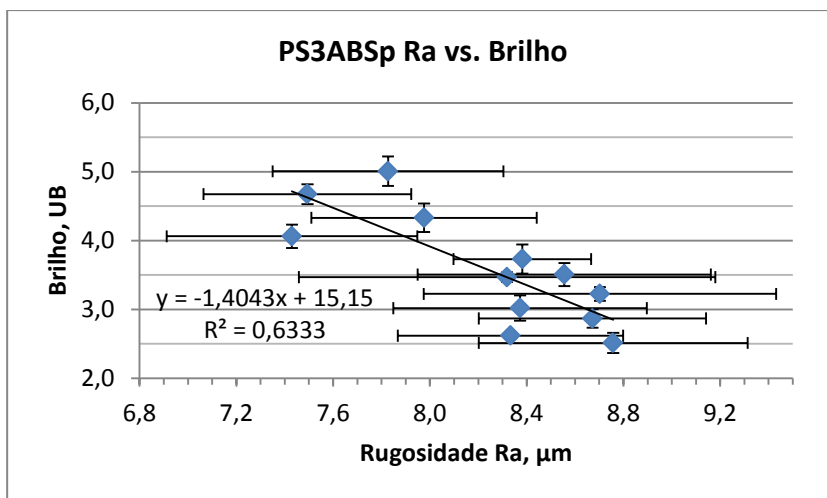
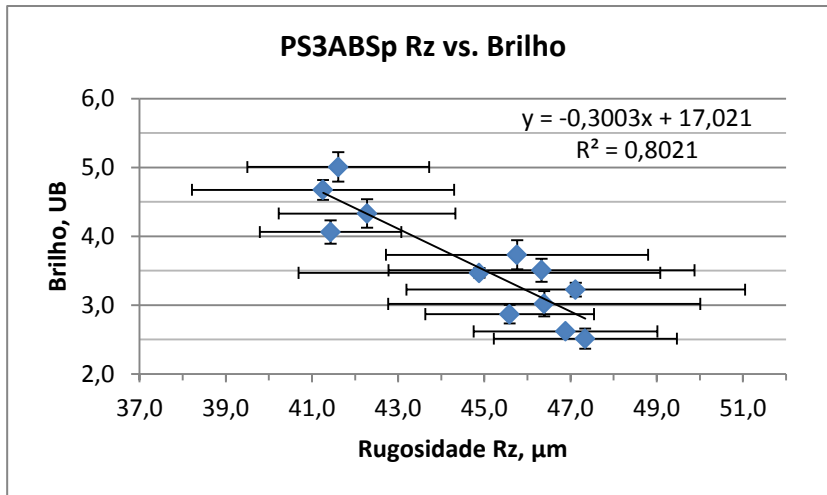


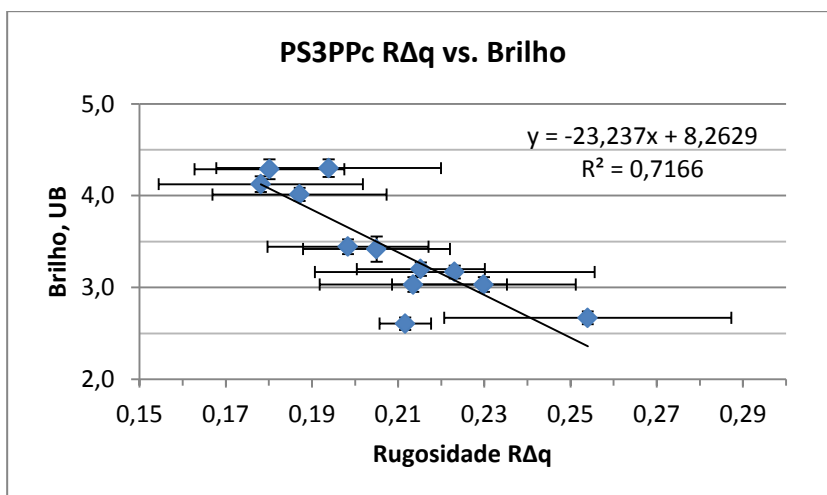
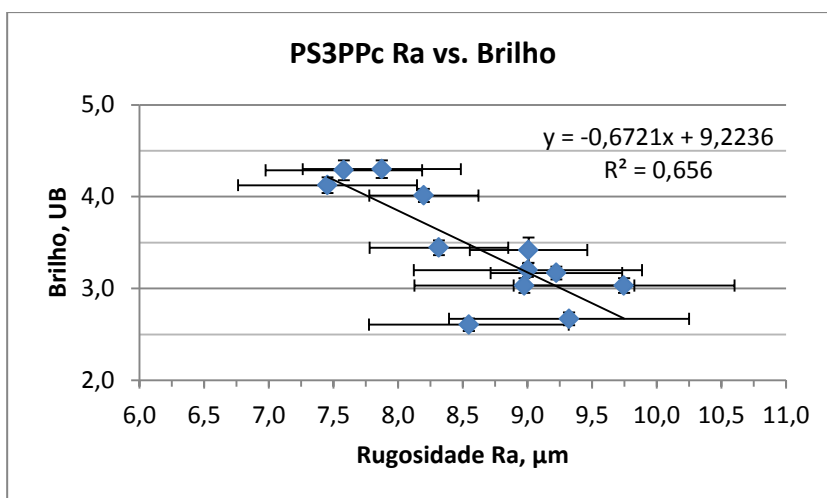
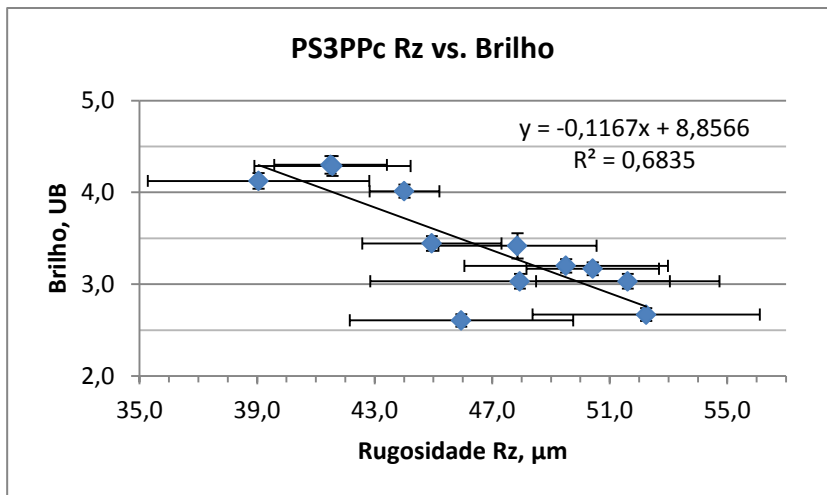


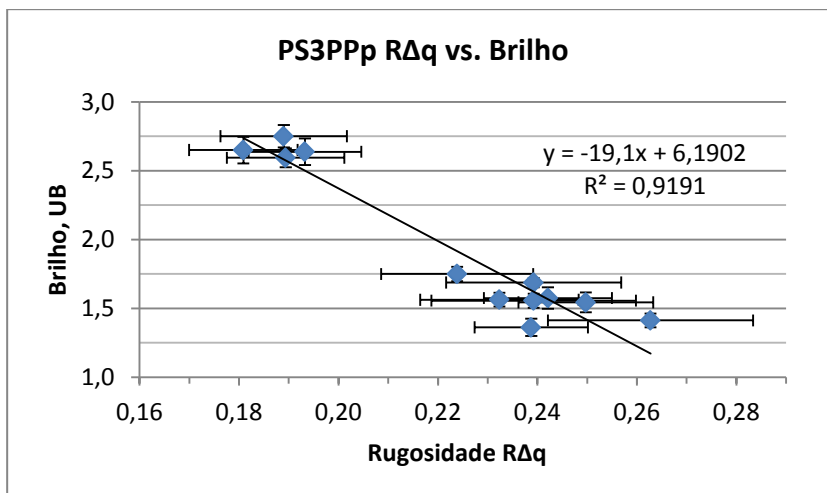
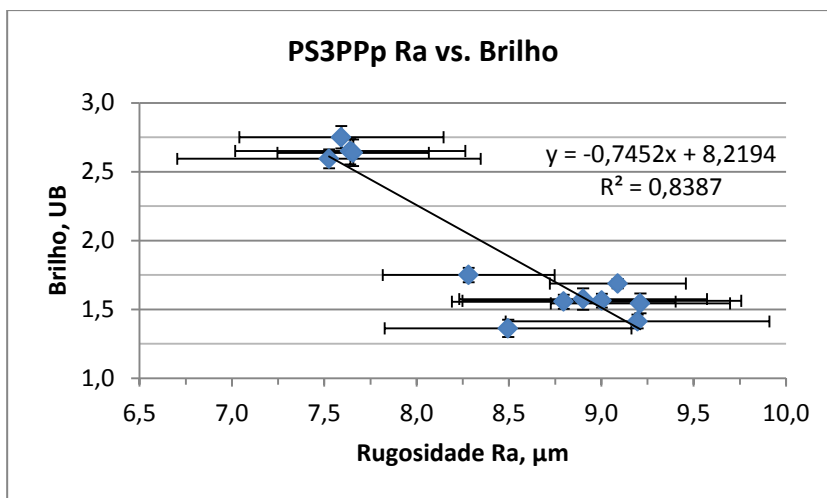
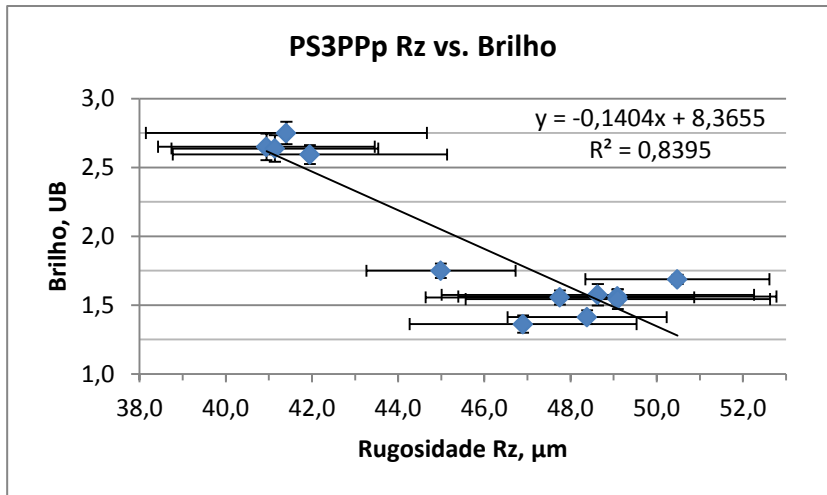






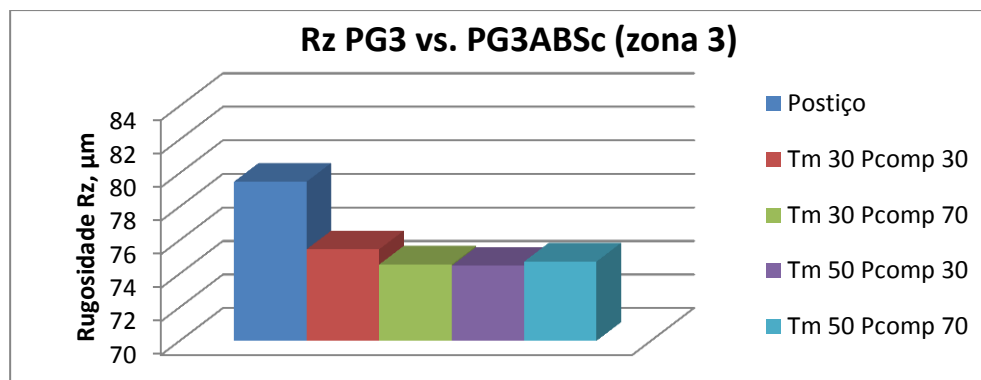
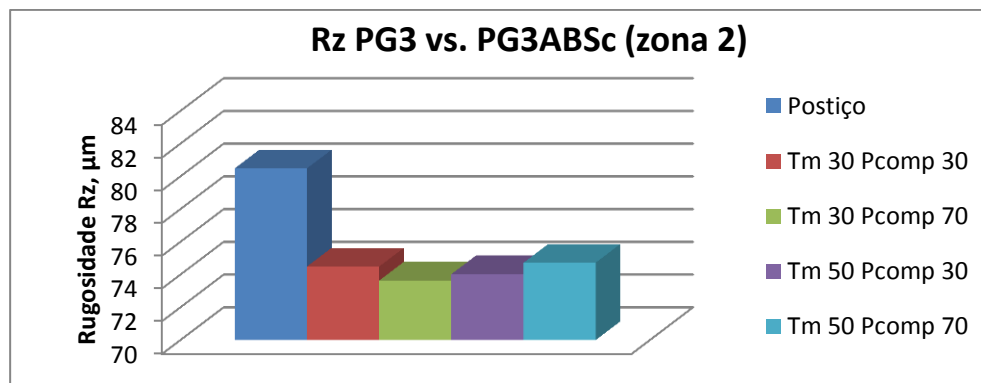
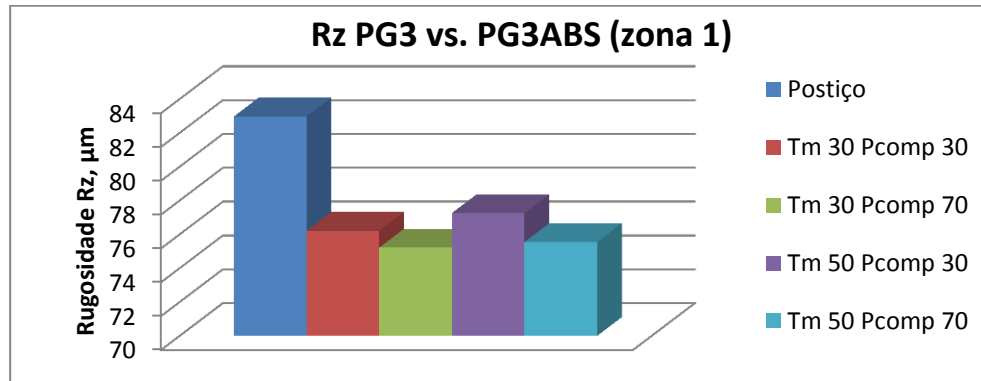


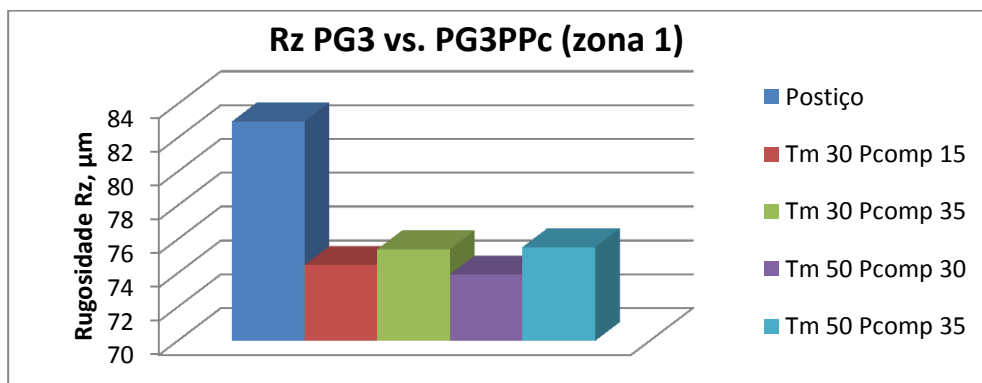
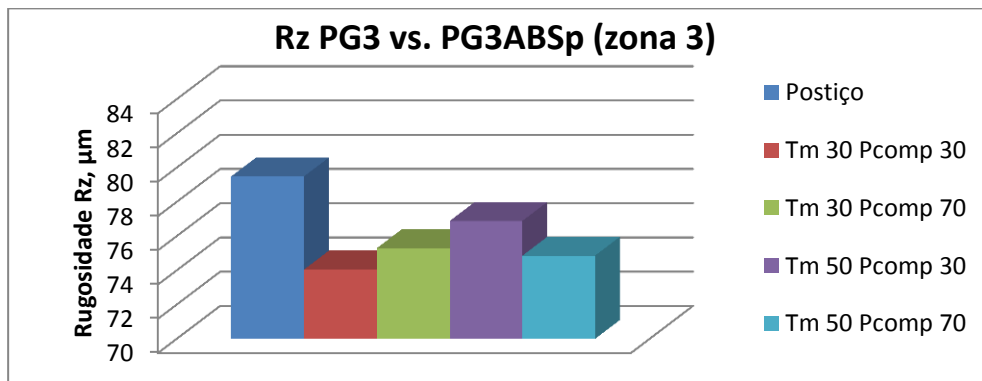
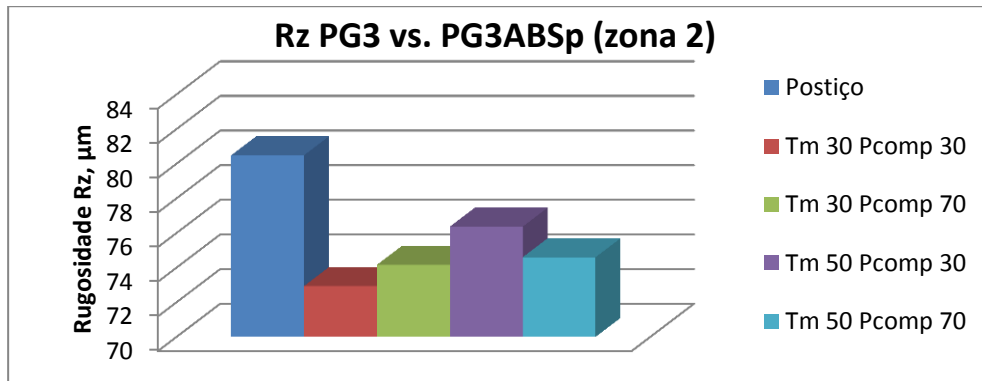
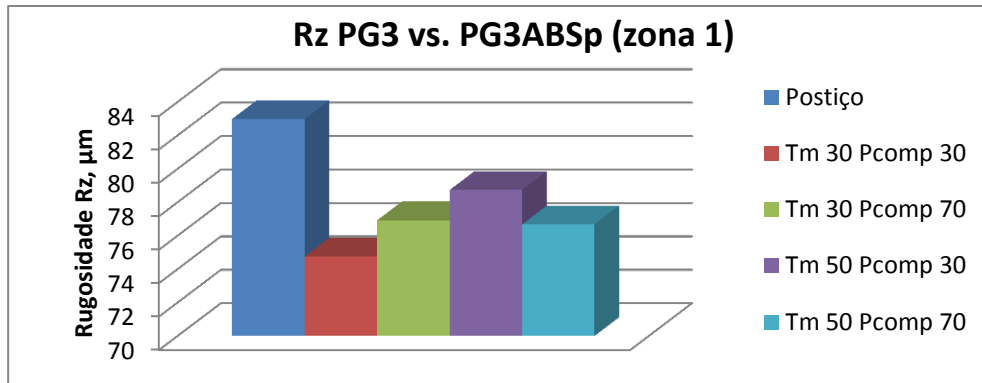


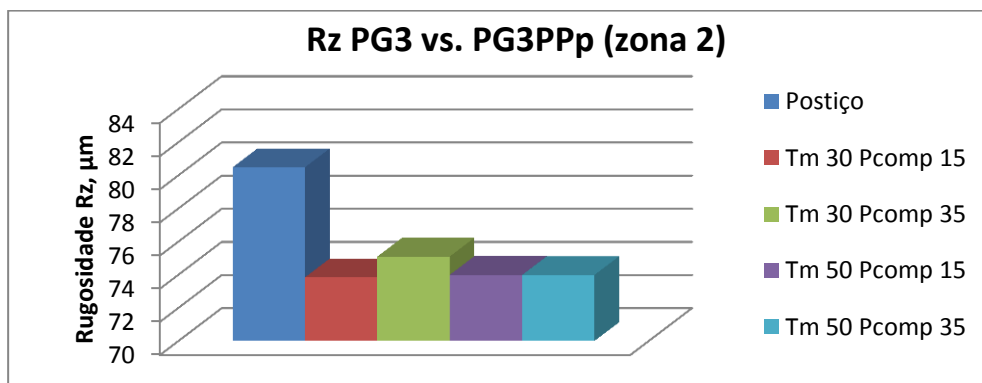
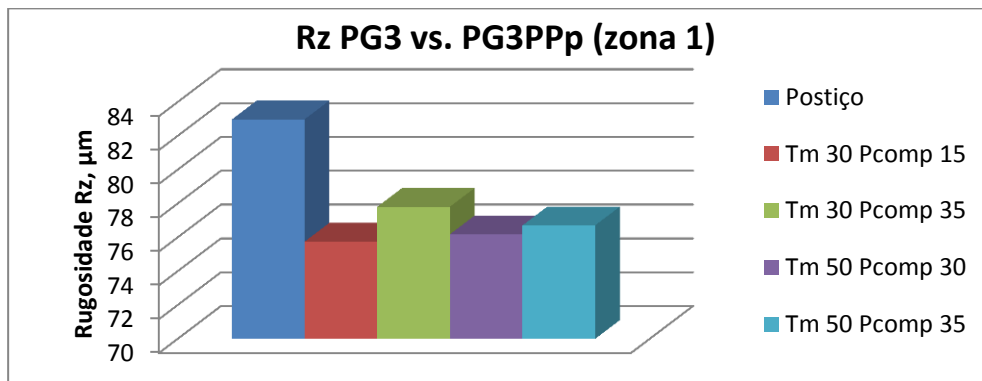
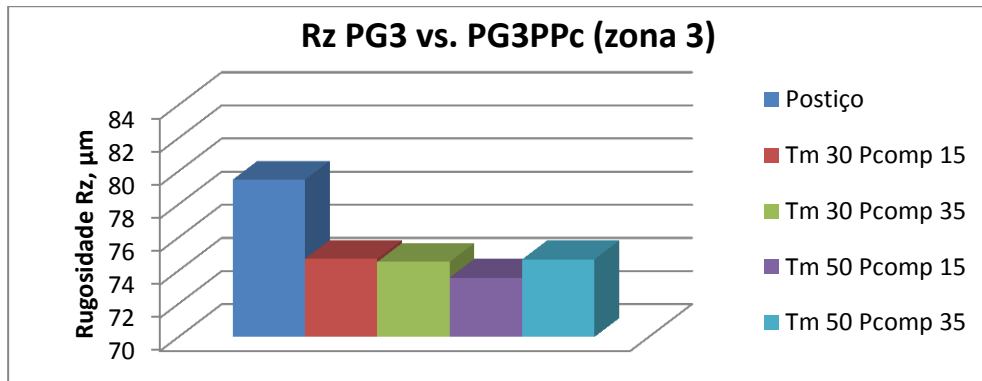
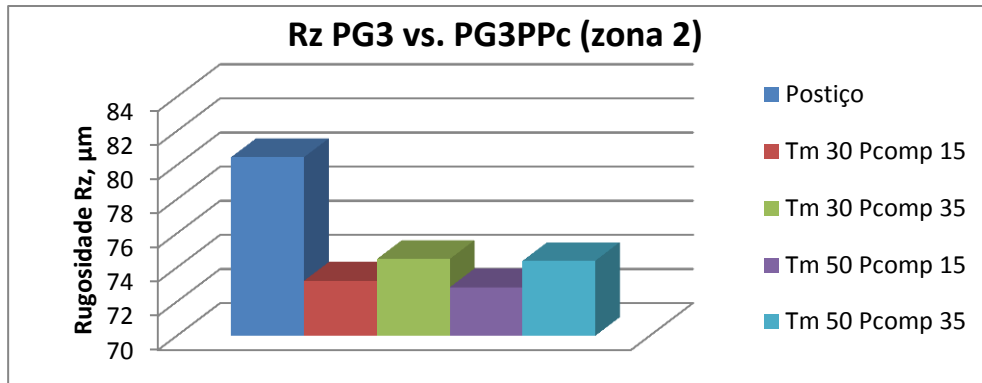


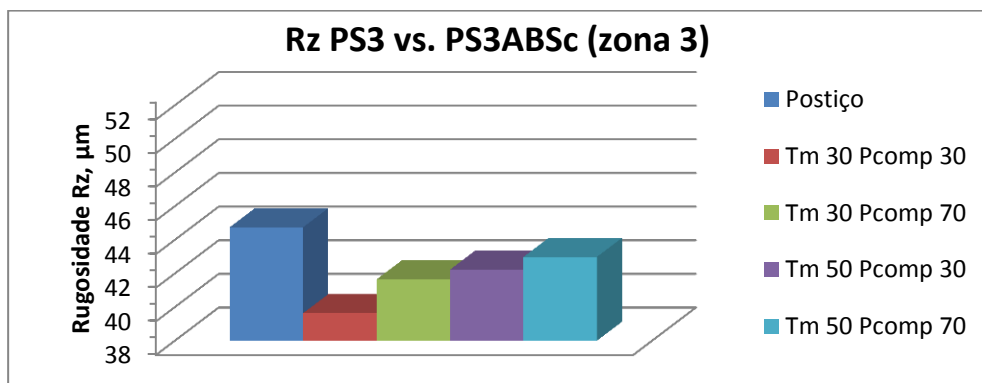
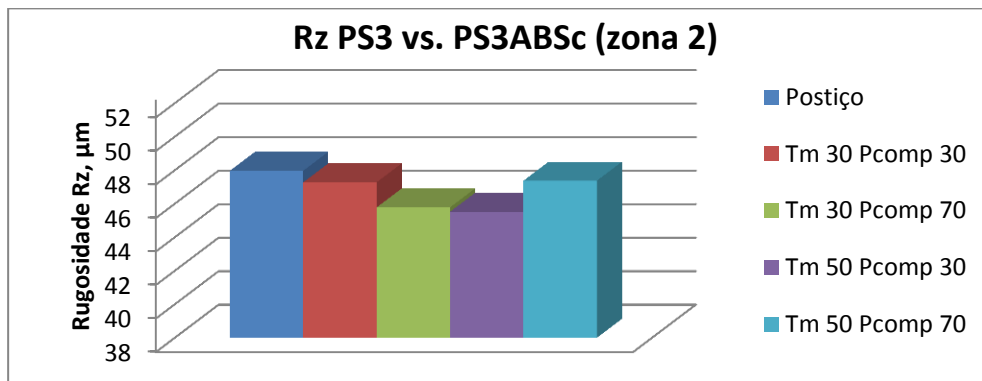
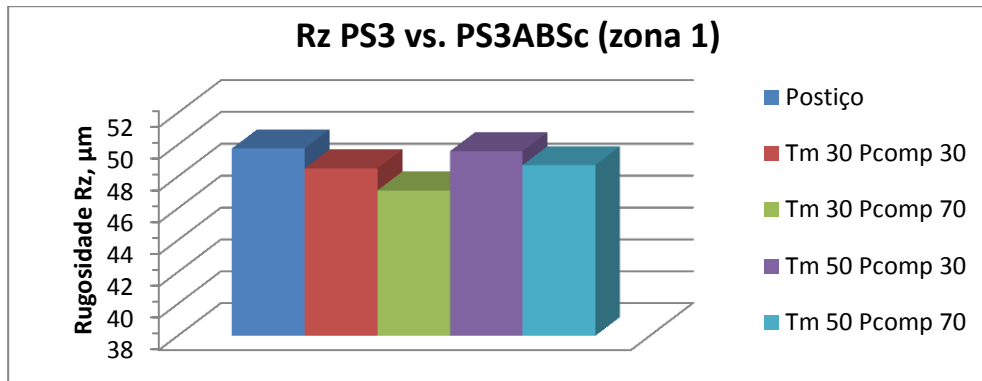
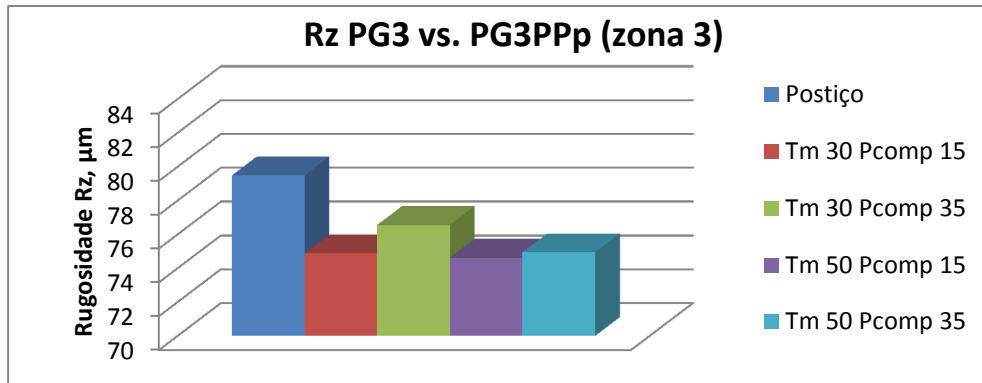
ANEXO E: Estudo da rugosidade dos postiços vs. rugosidade das placas

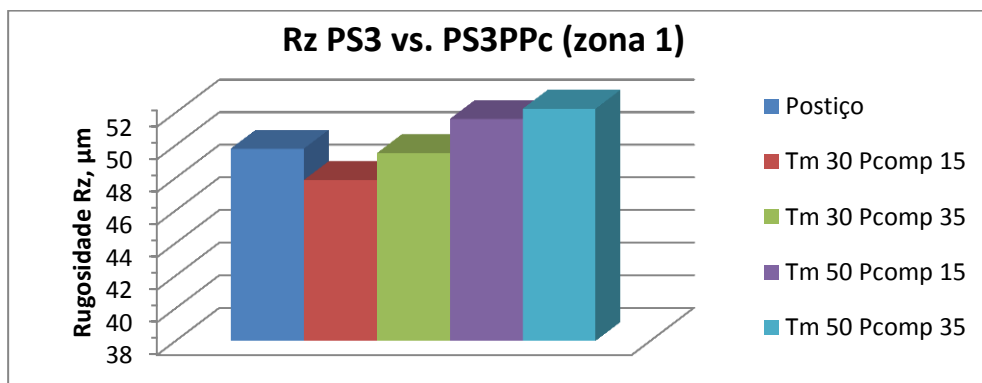
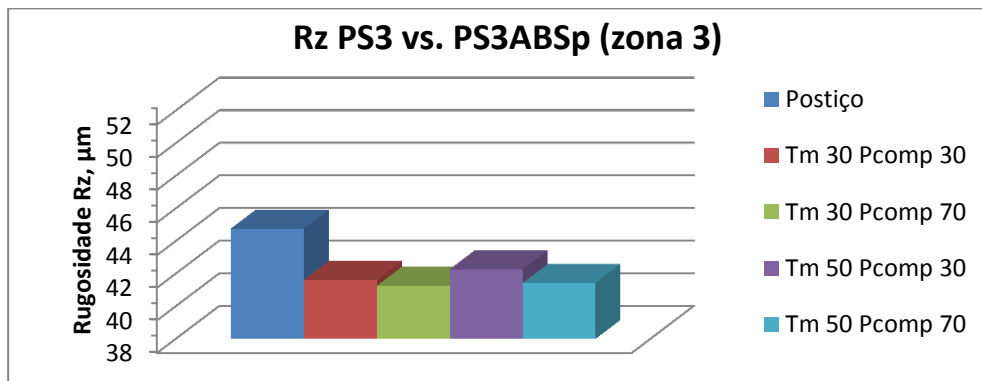
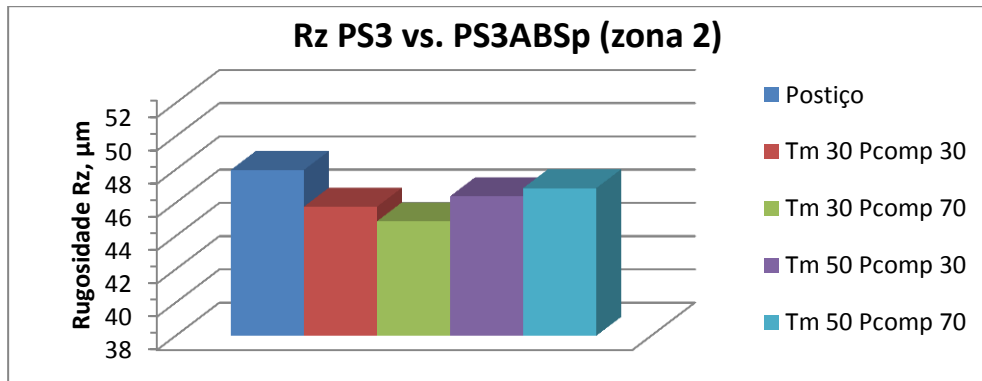
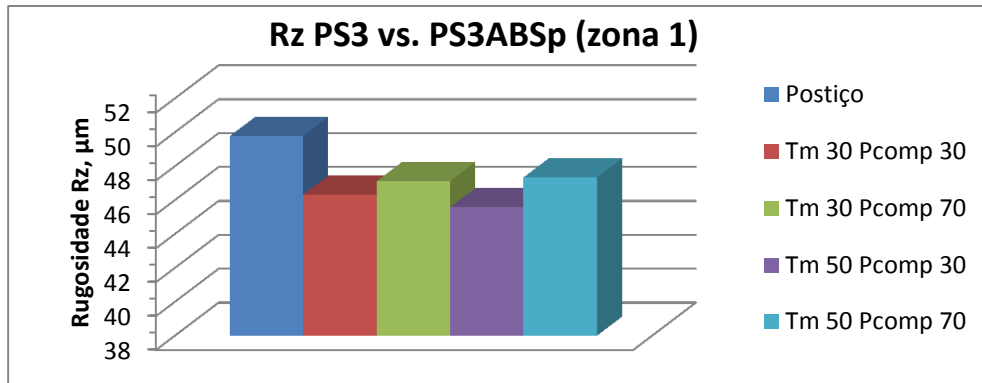
Neste estudo foram confrontados dois parâmetros de rugosidade (Rz e Ra) das placas (PG3ABSc, PG3ABSp, PG3PPc, PG3PPp, PS3ABSc, PS3ABSp, PS3PPc e PS3PPp) com as respectivas rugosidades dos postiços (PG3 e PS3).

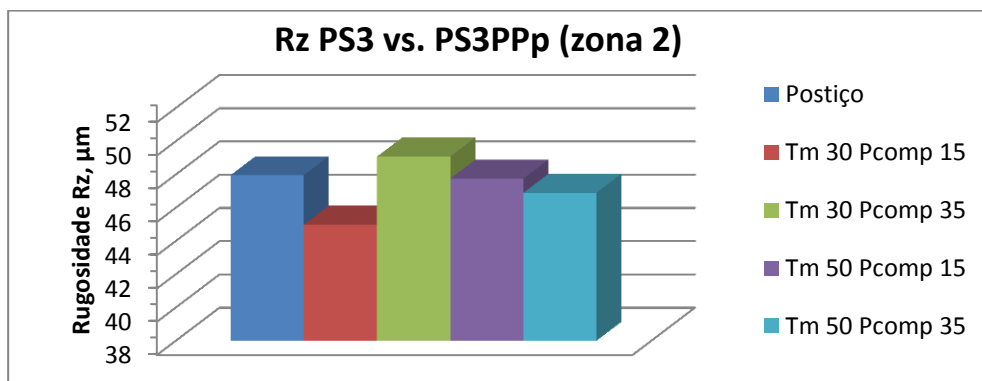
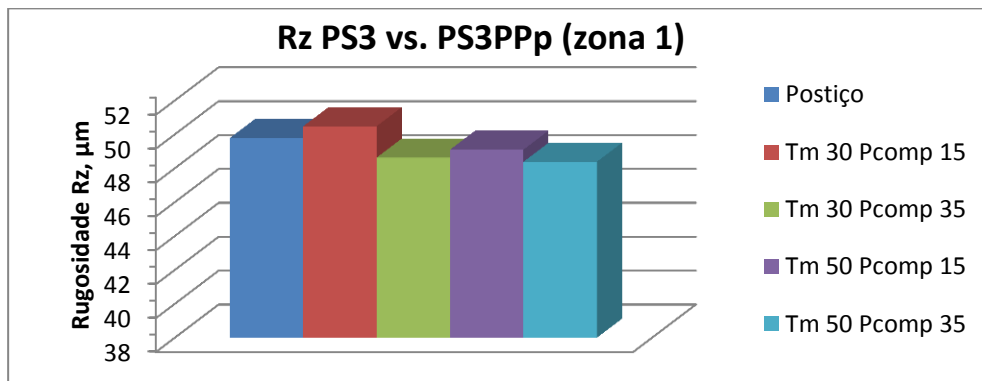
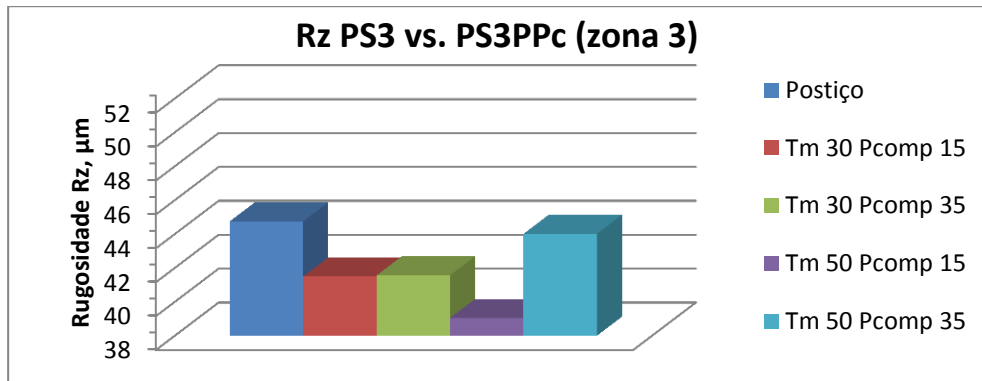
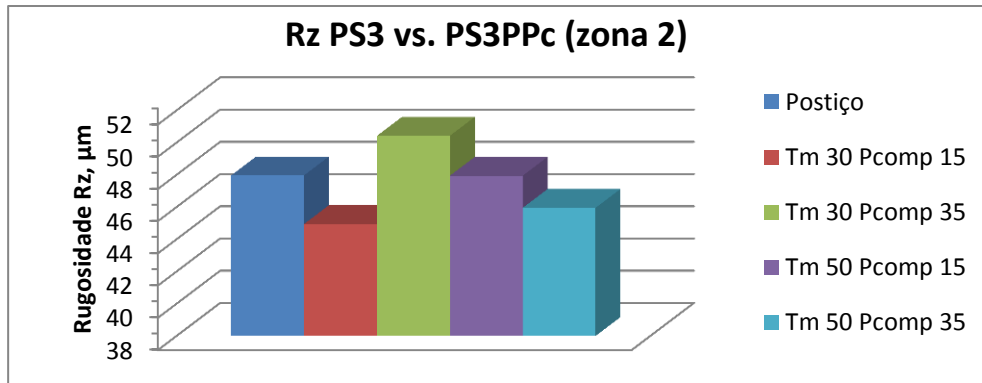


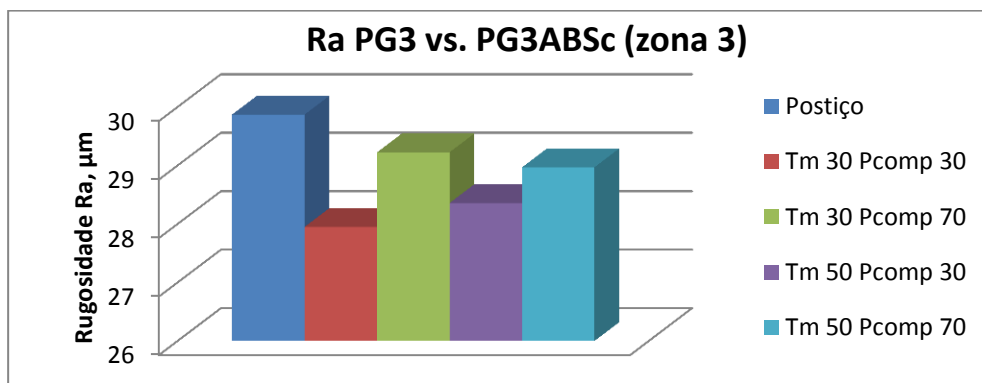
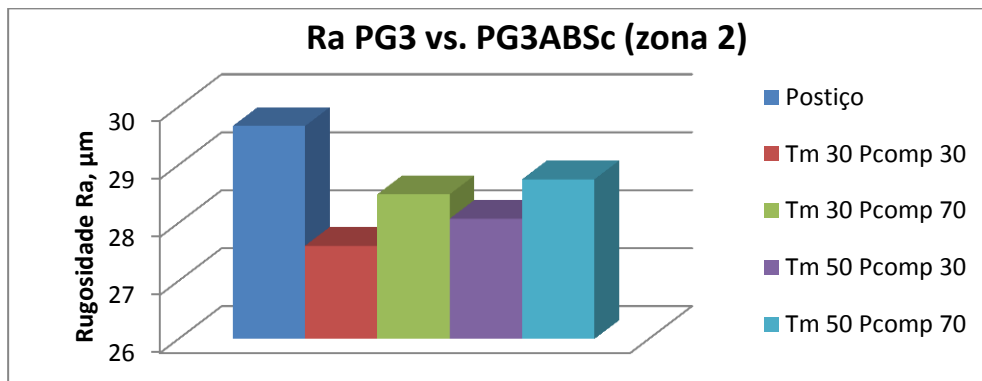
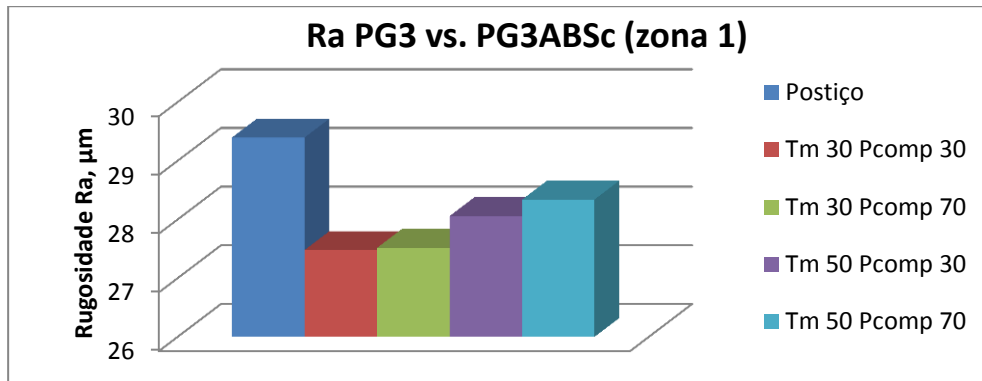
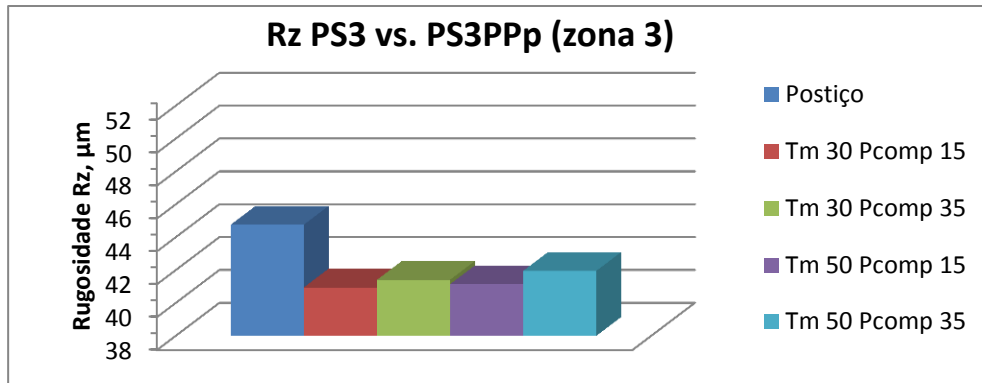


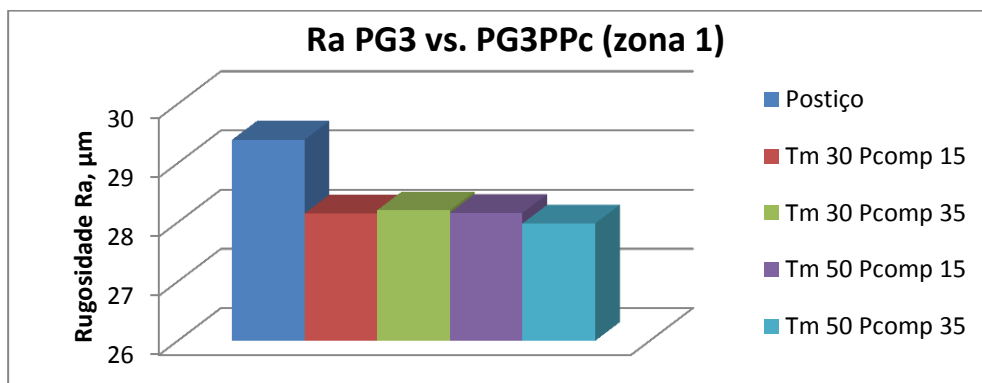
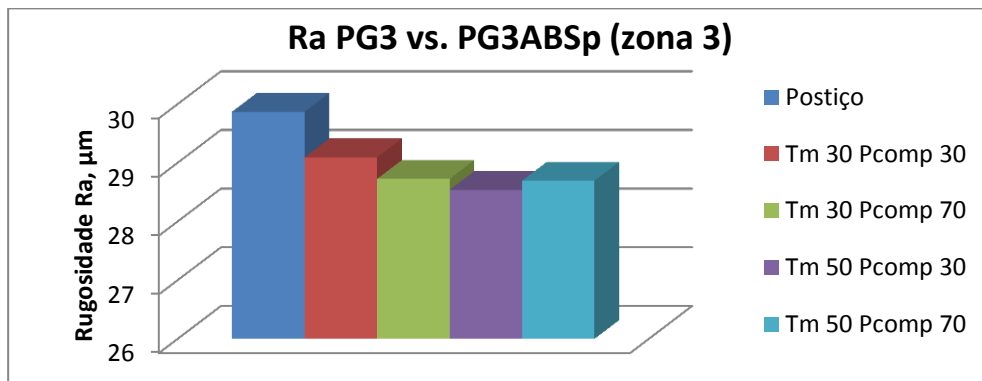
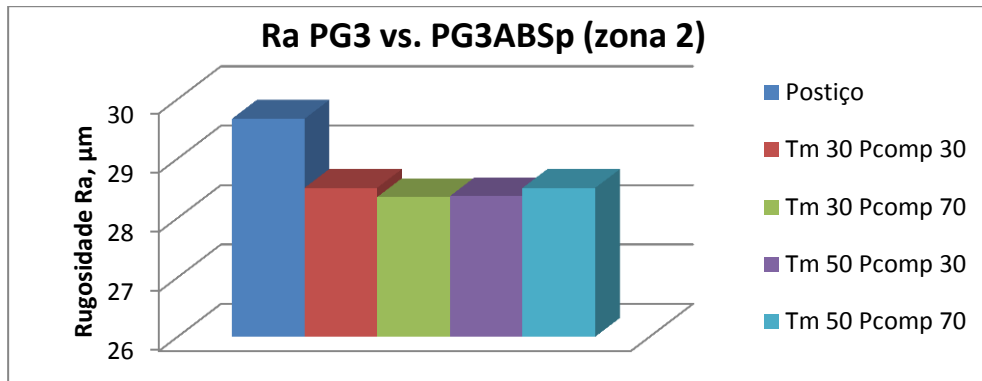
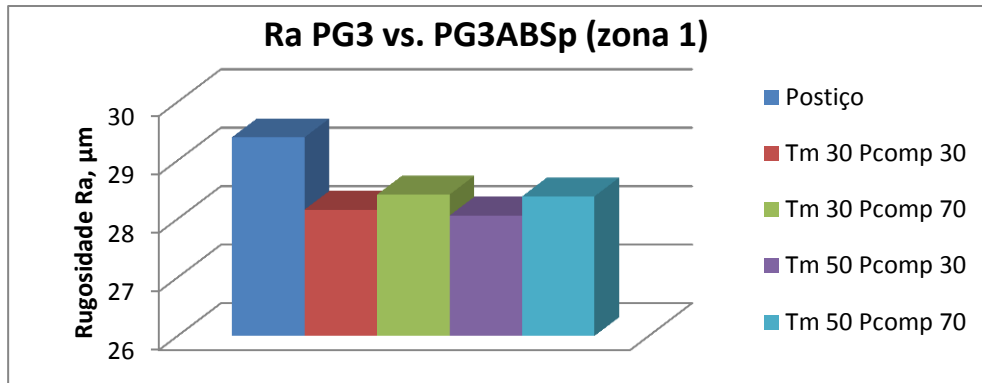


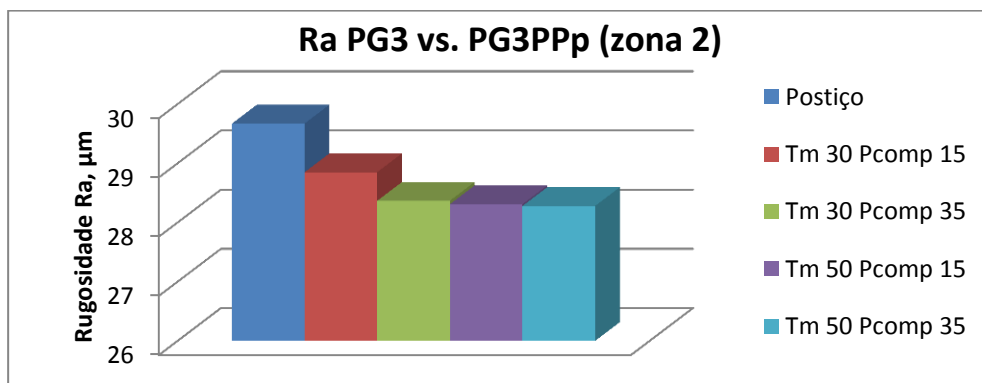
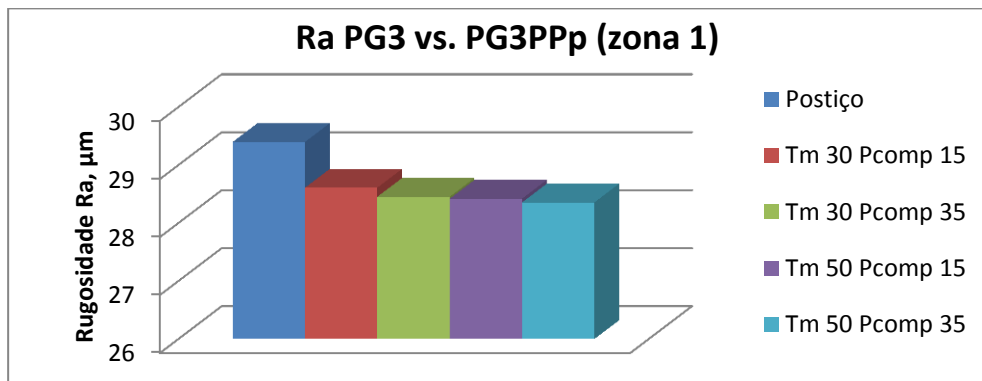
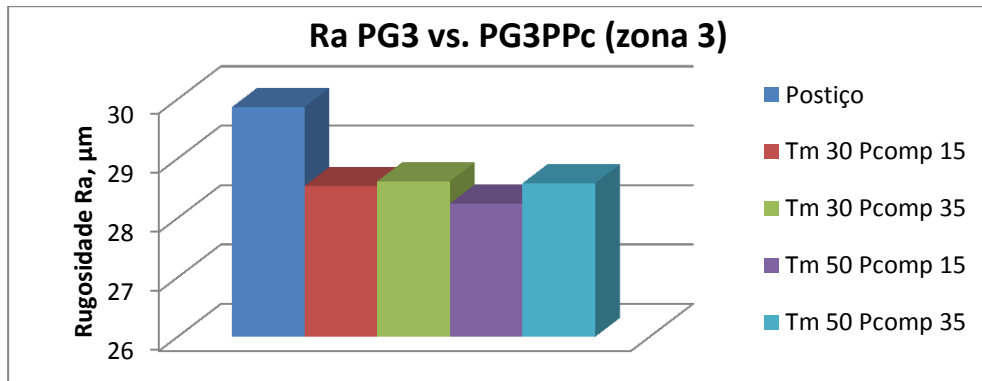
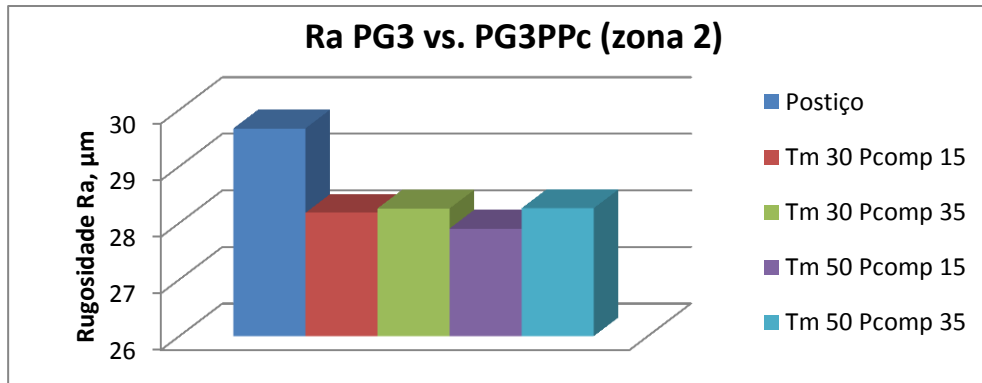


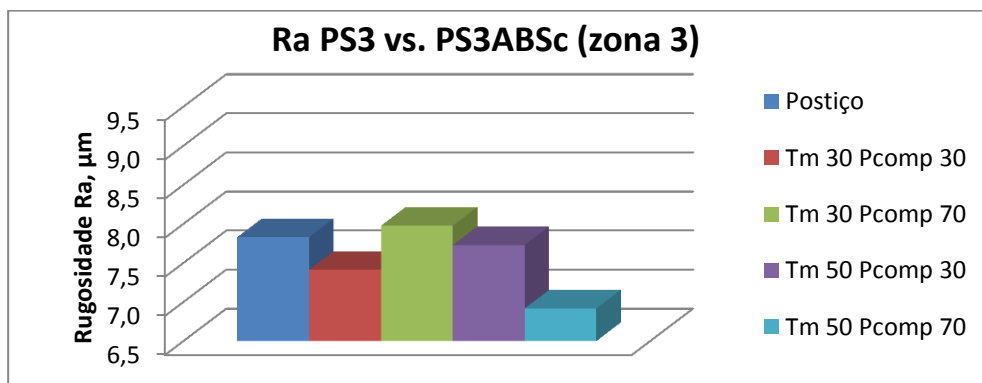
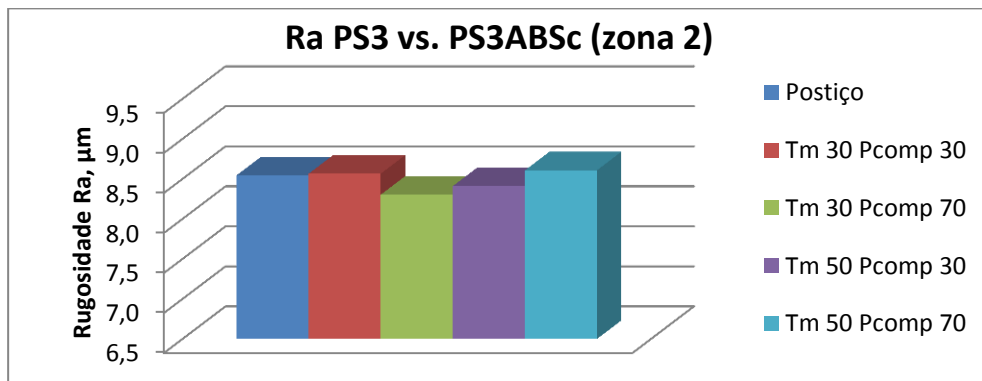
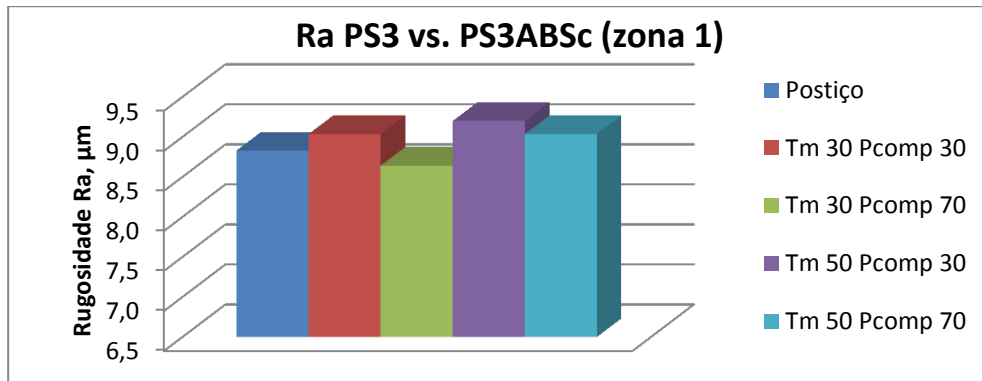
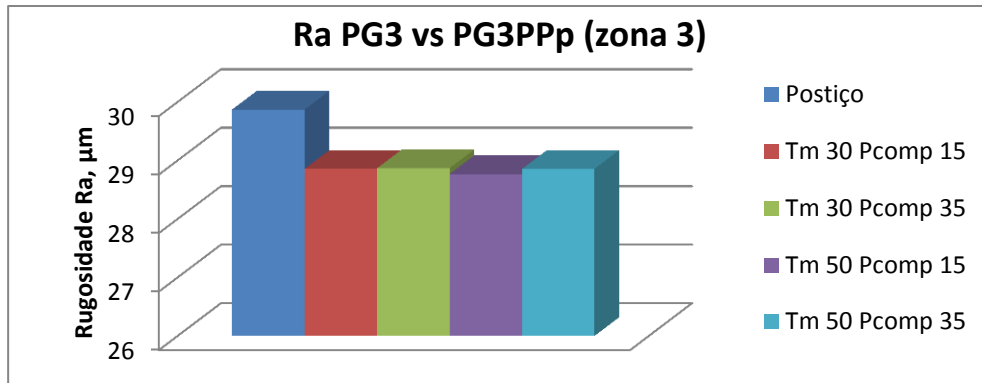


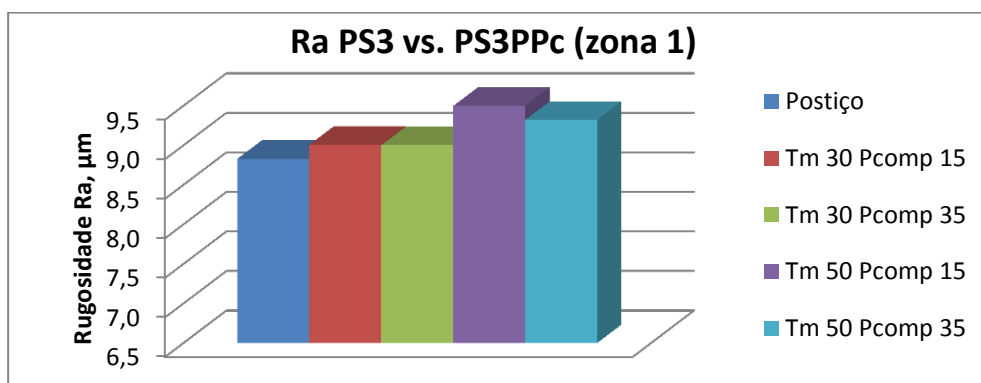
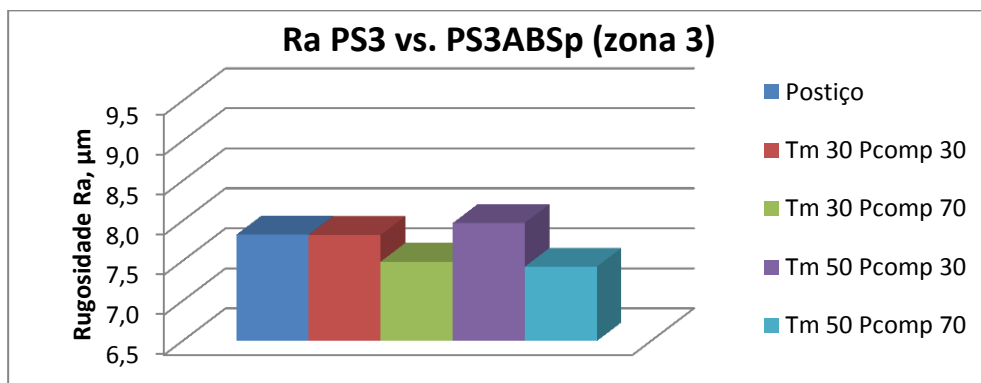
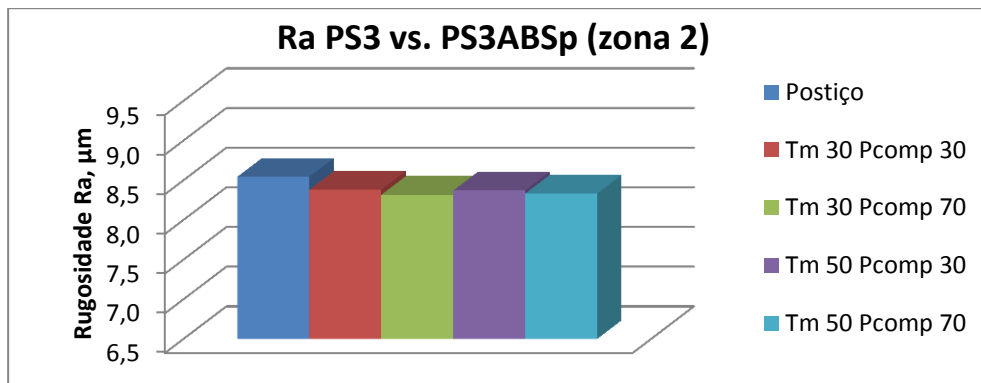
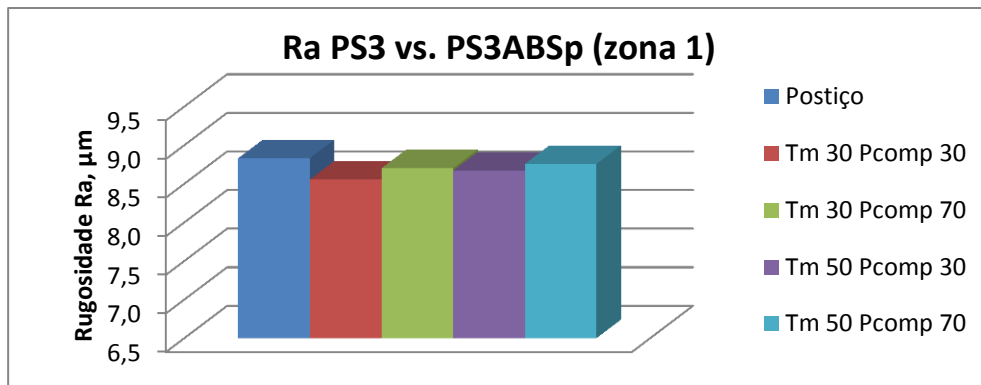


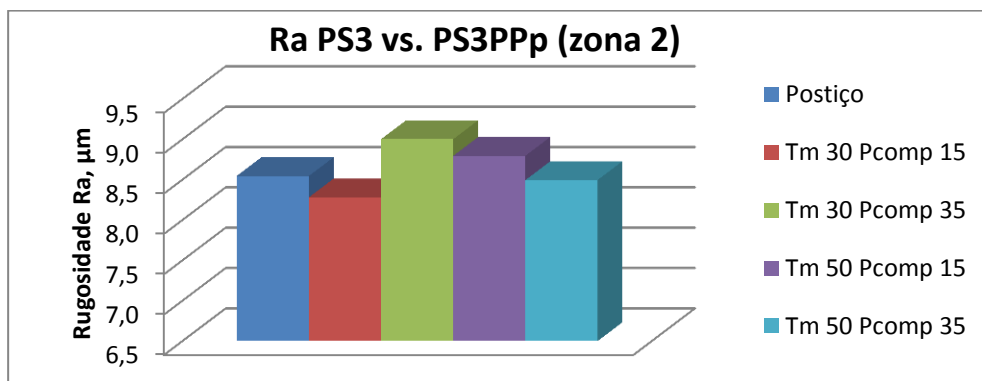
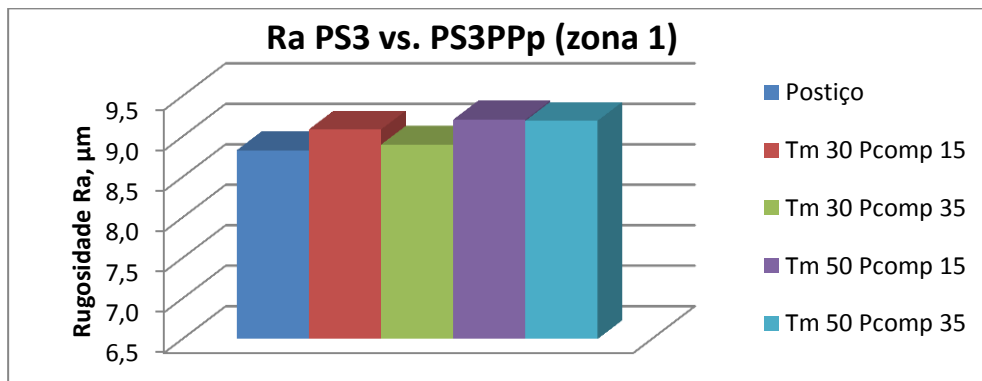
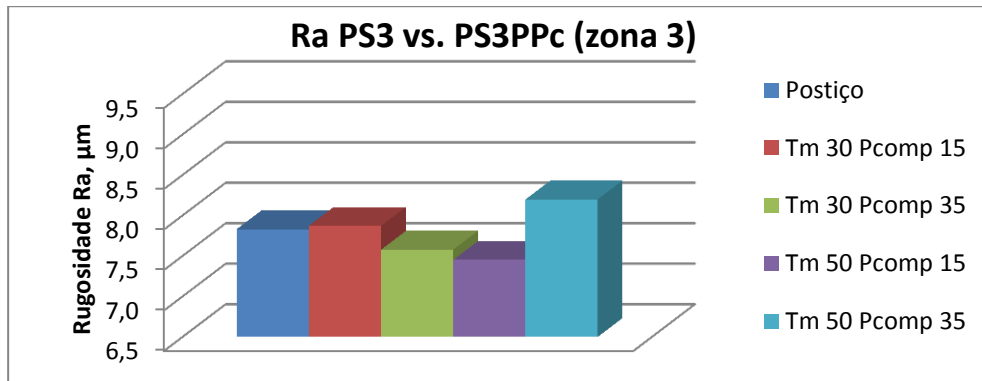
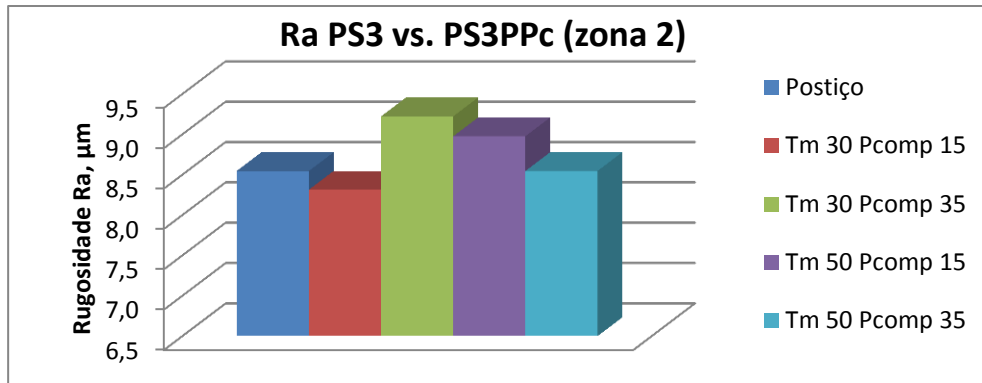


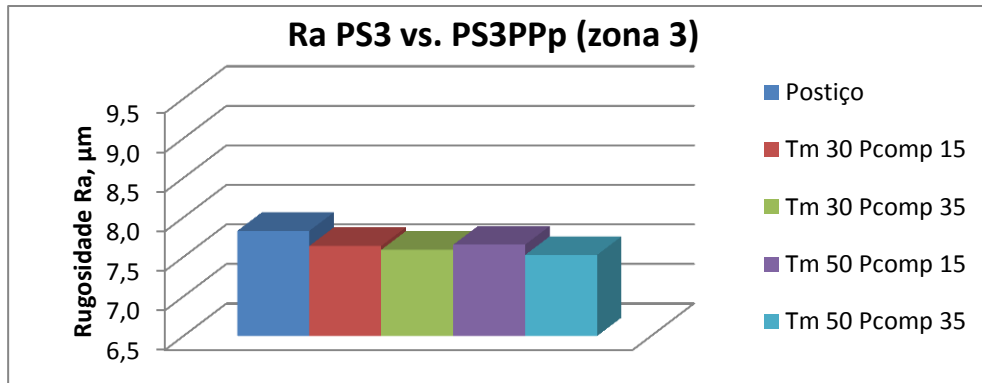












ANEXO F: Estudo do brilho dos postigos vs. brilho das placas

O estudo apresentado neste anexo relaciona o brilho dos postigos (PP6, PG6 e PS6) com o brilho das placas em ABS e PP em cinza. De seguida, também foram confrontados todos os brilhos dos postigos com os brilhos dos materiais, independentemente do tipo de textura.

