

Soluções para Superfície Classe A em Peças de Compósitos

13 de Junho de 2024

INEOS

Composites



Daniel Horacio
Serviço Técnico e Aplicação

- **BS Química / MSc Eng. de Materiais**
- **Rhodia Solvay / Braskem (15 anos)**
- **Termoplásticos / Termofixos**
- **Mercado automotivo / Aeroespacial**
- **R&D / Gestão de Projetos / TS&D**
- **2 anos - INEOS Composites SA**

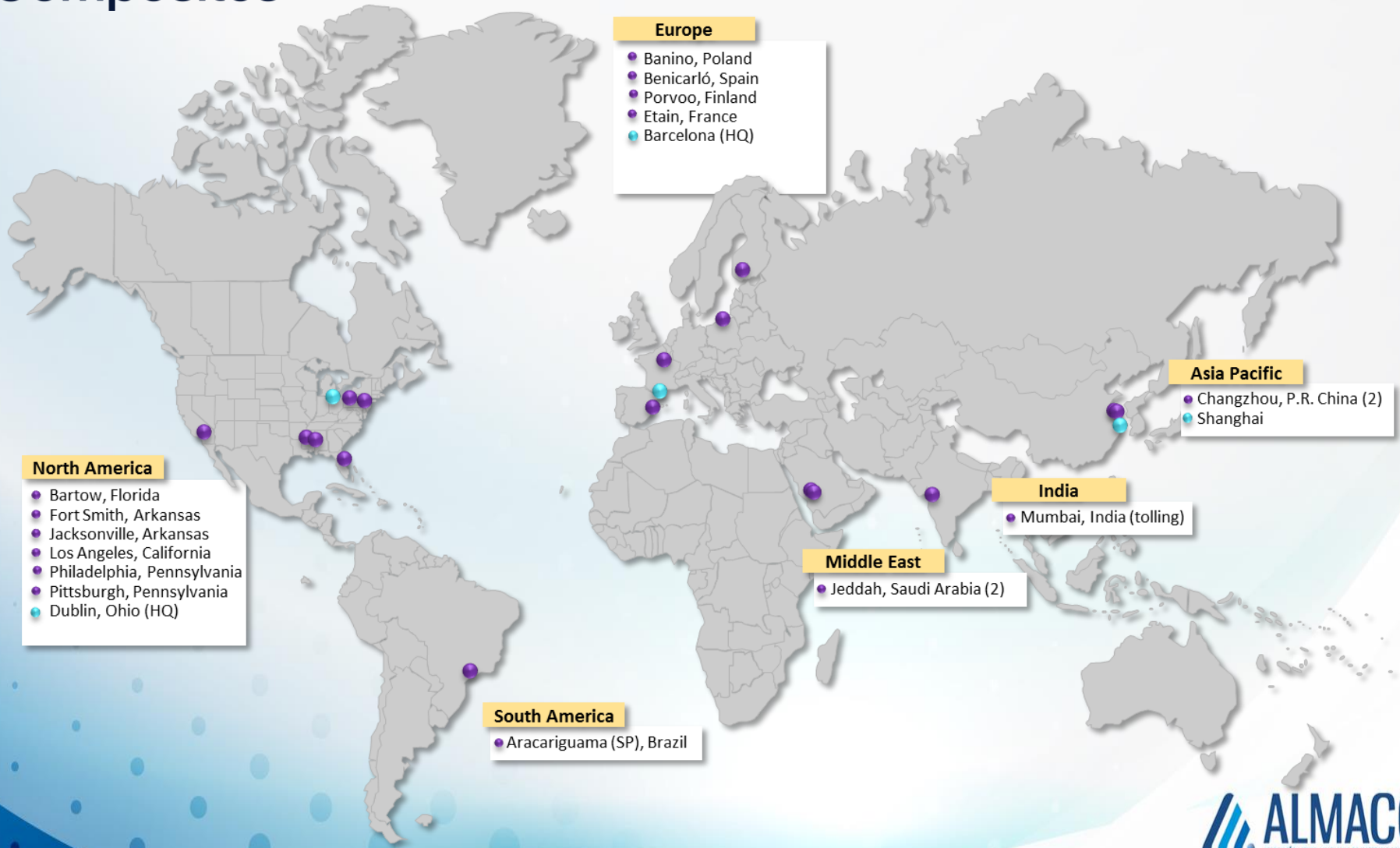


Empresa Global em Resinas Termofixas

- Resina Poliéster Insaturado (UPR)
- Resina Epóxi Vinil Éster (VER)
- Resinas retardantes à chama (FRP)
- Aditivos Low Profile (LPA)
- Gelcoats

Linhas de Produto

- AME™
- Arotran™
- Derakane™
- Hetron™
- Modar™
- Engard™
- Instint™
- Maxguard™
- Neulon™
- Aropol™
- Envirez™
- Polaris™



01

**Conceito de
Superfície Classe A**

02

**Vantagens e
Desafios**

03

**Tecnologia de
Resinas e
Processos**

04

**Métodos de
Análises**

Agenda

Conceito de Superfície Classe A

INEOS Composites

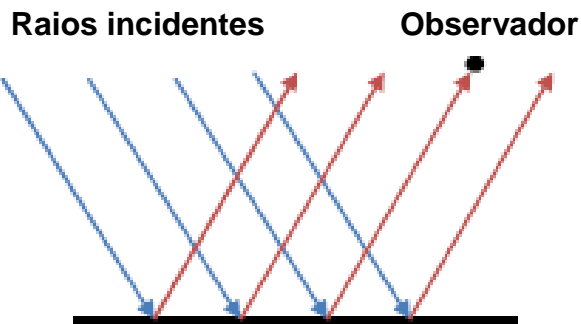
Fenômeno óptico que está associado ao grau de continuidade que um corpo ou objeto apresenta e a sua capacidade de se aproximar da reflexão perfeita ($i=r$) da luz.



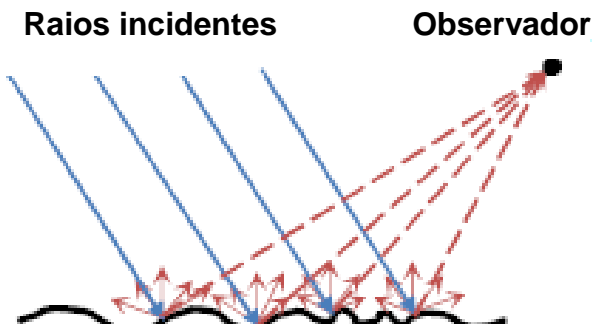
Conceito de Superfície Classe A

- A presença do defeito causará uma descontinuidade na superfície ou distorcerá a superfície de uma forma que a curvatura não será mais mantida.
- Os requisitos de Superfície classe A foram incorporados às rotinas de inspeção de qualidade para avaliação de peças perfeitamente lisas.
- O termo superfície classe A foi estabelecido para o contexto de modelagem de superfície em projetos aeroespaciais. Mais tarde, aderido no caso de fabricação de qualquer superfície lisa, seja para bens de consumo ou automóveis.

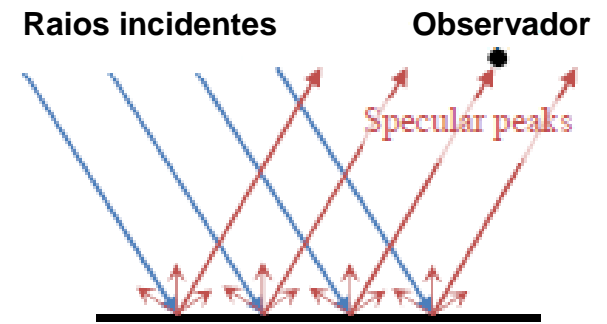
Incidência deve ser igual ao ângulo de reflexão. No caso de uma superfície onde o ângulo de reflexão



Perfeitamente espelhada



Rugosa e Ondulada

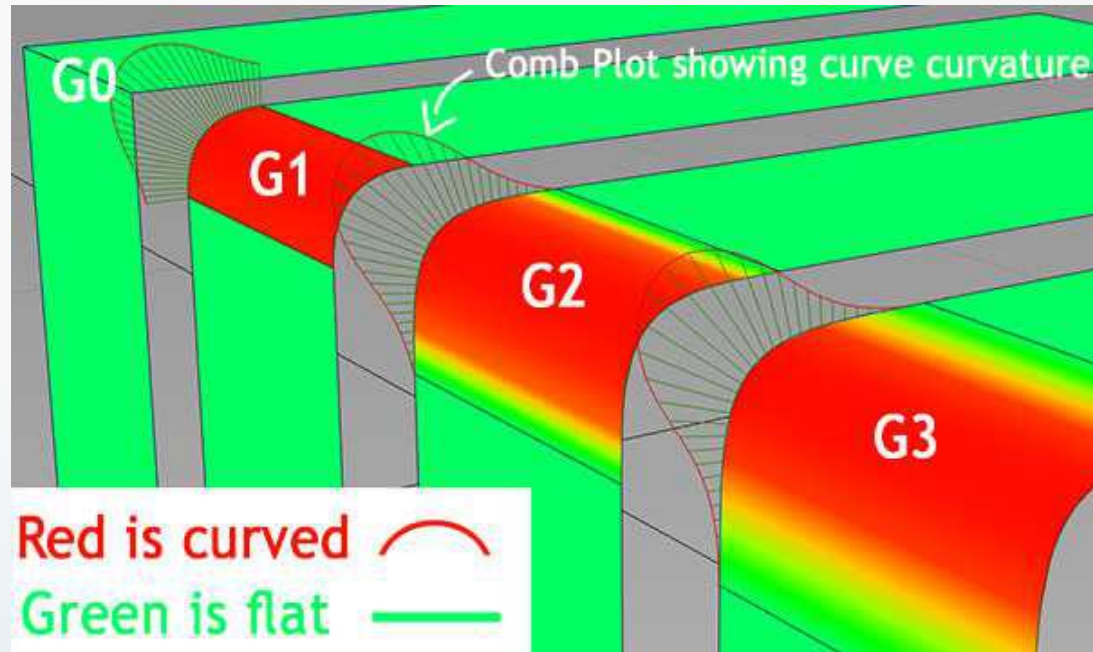


Rugosa



Conceito de Superfície Classe A

INEOS
Composites



Regimes de continuidade e gráfico de pente mostrando a variação da curvatura (Ismail 2014)

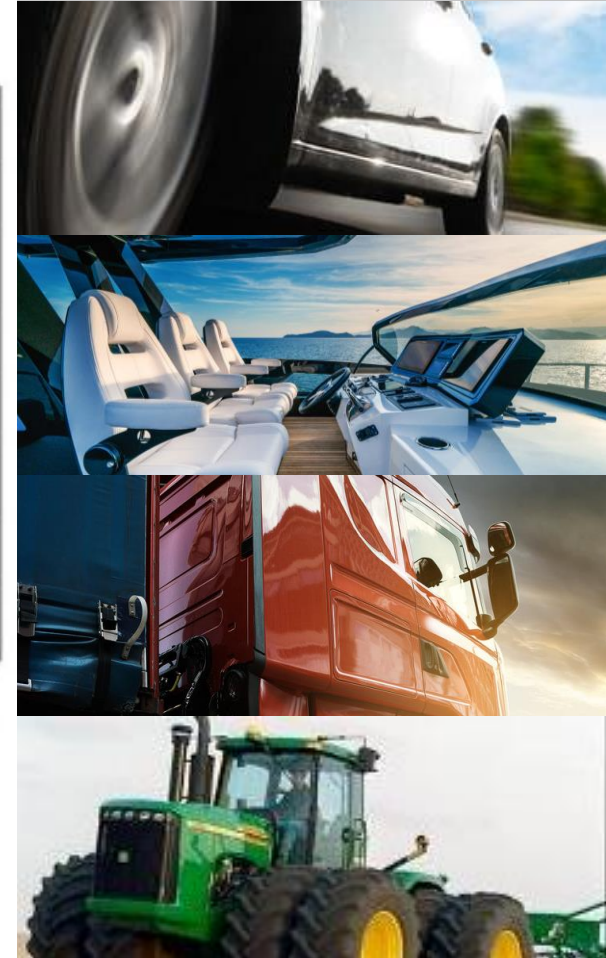
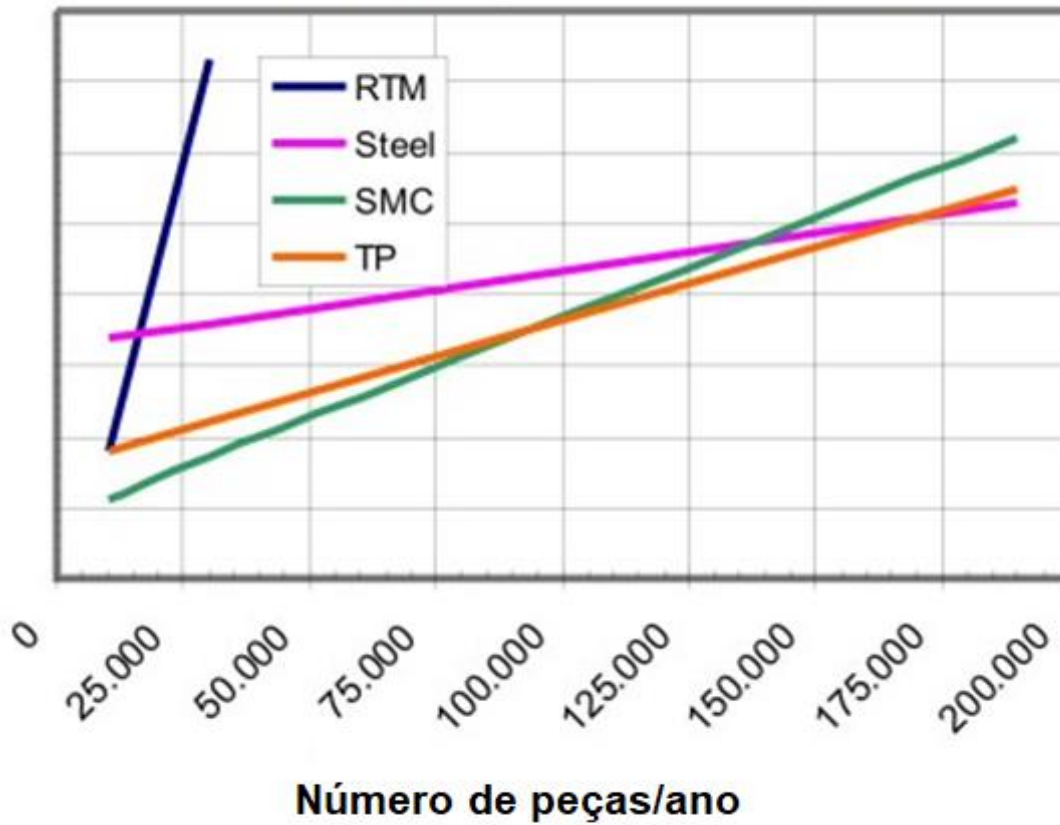
- Continuidade de posição G0 – não há espaços entre o conjunto de superfícies e estão perfeitamente alinhados.
- Continuidade Tangencial G1 – Entre qualquer conjunto de superfícies não deve haver arestas vivas.
- Continuidade da curvatura G2 – As superfícies foram mescladas de modo que a mudança de superfície não seja visível.
- Taxa de mudança de curvatura G3 – Maior grau de mistura que G2, mas dificilmente perceptível.

Vantagens do Sistema Classe A

INEOS
Composites

Investimento e custo acumulado
por peça

Painéis de Acabamento em material Classe A



Mercado de Transportes



Qualidade percebida pelo usuário final
(*Craftsmanship*)



Objetividade de inspeção na qualidade superficial



Padrões globalmente conhecidos



Equipamentos modernos que auxiliam na inspeção de qualidade



INEOS Composites

- **Introdução de material compósito como solução de acabamento de altíssima qualidade (nítida diferenciação de uma peça estrutural de uma peça de acabamento);**
- **Permite a produção de peças com redução do número de etapas de preparação até o seu acabamento final;**
- **Adequação aos processos típicos de transformação em moldagem fechada (SMC, BMC e RTM)**
- **Sistemas monocomponentes, o que possibilitam uma maior facilidade de preparação de formulações de compostos de SMC e RTM;**

INEOS
Composites

A aparência da peça será a cópia do molde, ou seja, será tão boa quanto o molde.

A resina somente irá duplicar o molde e não compensará os problemas de superfície existentes no molde



Desafios do Sistema Classe A

INEOS
Composites

Processo	Molde	Custo do molde	Tipo de resina	Custo da resina	VA ¹ Típico	TC ² Típico
HLU / SU	Compósito	1	UPR / VE	1	500	2 – 4 h
RTM Light	Compósito	1,1	UPR	1	1500	1 – 2 h
RTM AP	Metálico	10	UPR / Classe A	1,5	5.000	1 – 2 h
SMC	Metálico	15	UPR / Classe A	2,0	10.000 – 150.000	1,5 - 5 minutos
RIM / RRIM / SRIM / DCPD termofixo	Metálico	40	PUR / DCPD	2,1	100.000	2 -12 minutos

¹ Volume Anual (molde novo / sem reparo)

² Tempo de Ciclo (considerando desde a colocação de materiais até retirada da peça do molde)

Desafios do Sistema Classe A

INEOS Composites

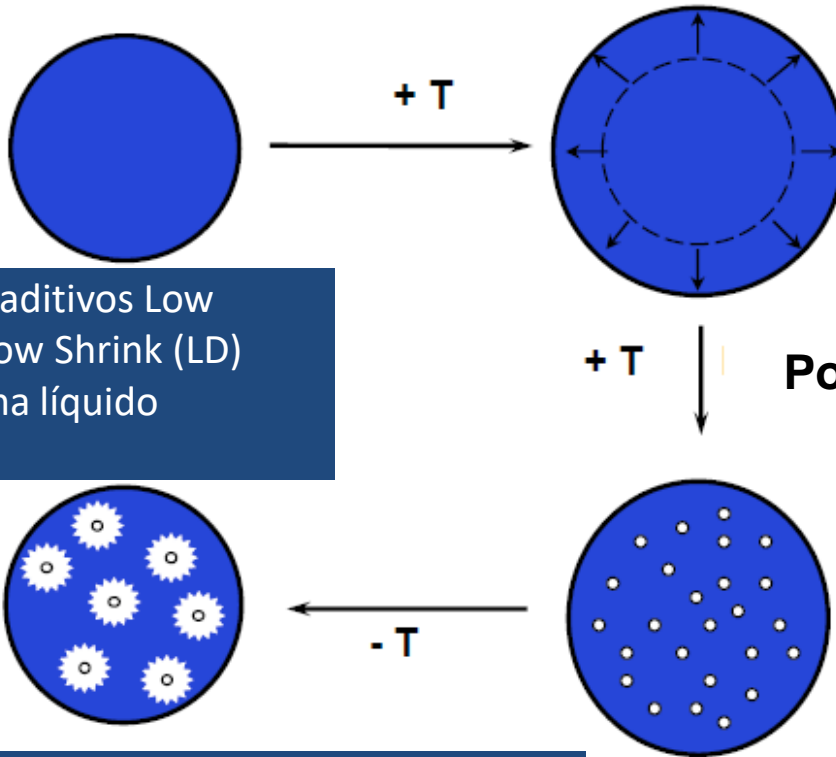
Tipo	Número de peças	Temperatura para o RTM com sistema Classe A ¹
Compósito ²	1.200 – 2.000	40 – 45 °C
“Nickel Shell”	5.000 – 10.000	45 – 55 °C
Alumínio	1.000 – 10.000	50 - 65 °C
Aço	5.000 – 20.000	



¹ Considerando molde e contra molde

² No caso de moldes em compósitos, recomenda-se que sejam construídos sobre superfícies polidas, com gel coat e laminação estrutural com resinas epóxi ou vinil éster de alto HDT.

Mecanismo de Ação



Com o início da polimerização e o aumento da temperatura reacional, o LP-LS sofrem expansão térmica

Resinas UP e VE + aditivos Low Profile (LP) e/ou Low Shrink (LD) formam um sistema líquido homogêneo

Terminado a polimerização ocorre então a separação de fases (UPR / LP-LS). Fazendo com que os aditivos LP/LS nucleiem pequenos microgéis

Com o resfriamento da resina, esses microgéis tornam-se domínios maiores (microvazios), restringindo a movimentação das cadeias poliméricas

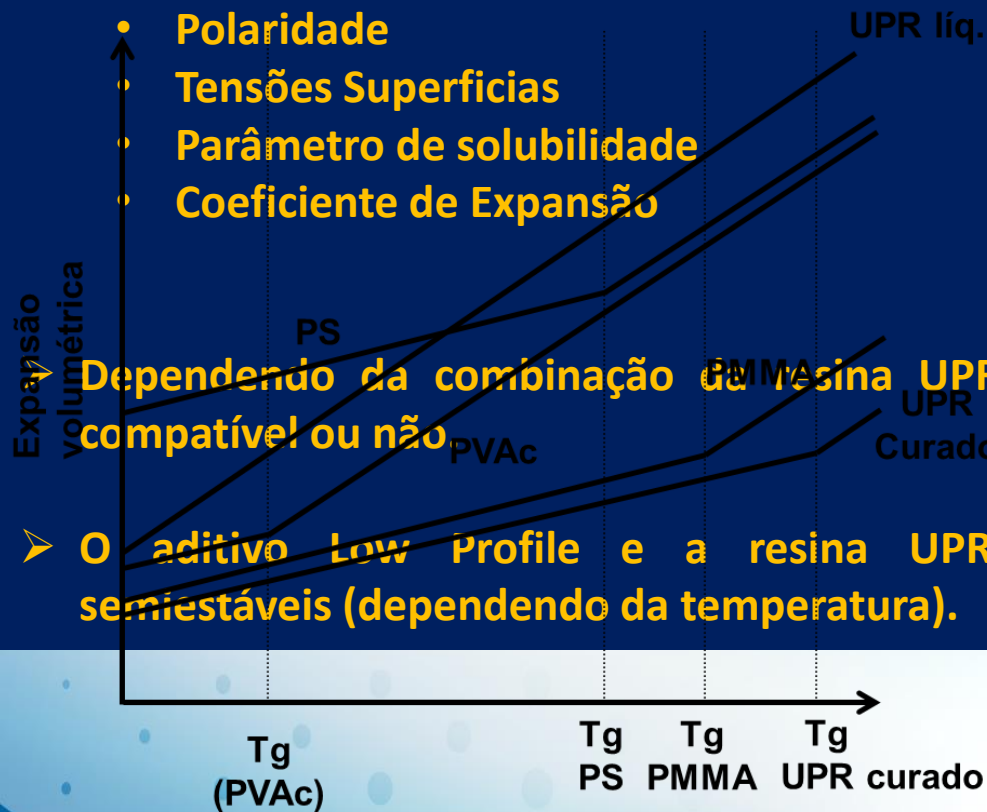
Tecnologia de resinas Classe A

INEOS
Composites

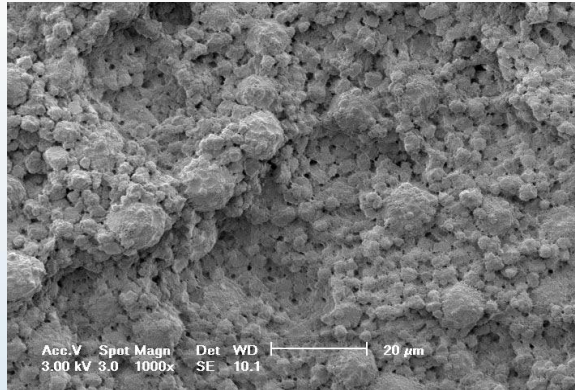
Material	Momento de Dipolo
Resina Poliéster Insaturado	2.0 – 2.5
Resina Poliéster curada	0.8
Poli (vinil acetato)	1.6
Poliestireno	1.3
Poliestireno	0.3

A escolha do aditivo LP/LS depende de fatores como

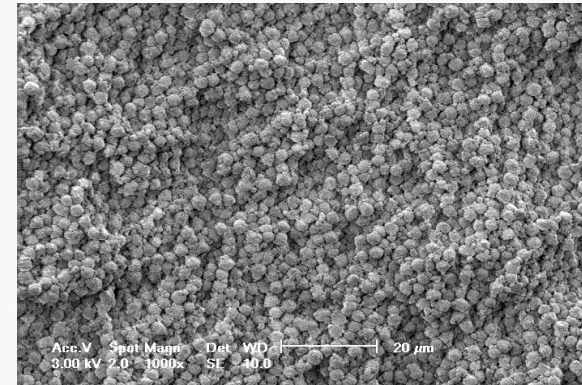
- Polaridade
- Tensões Superficiais
- Parâmetro de solubilidade
- Coeficiente de Expansão



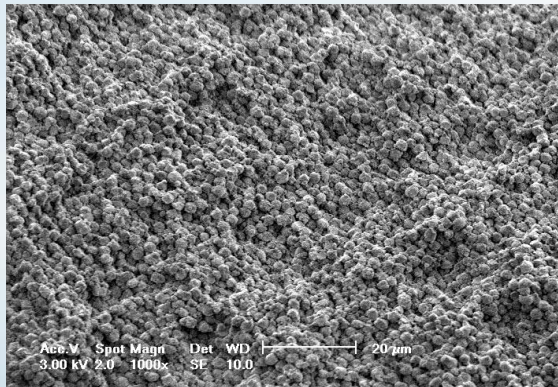
Influência da Temperatura



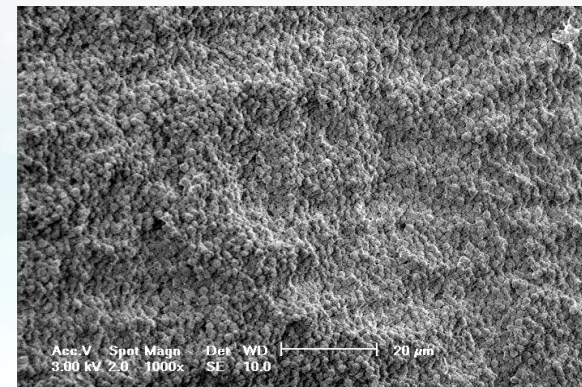
70 °C



110 °C



130 °C



150 °C

INEOS Composites



AROTRAN™ 750 – SMC Classe A

Densidade – 1.7 – 1.9 g/cm³

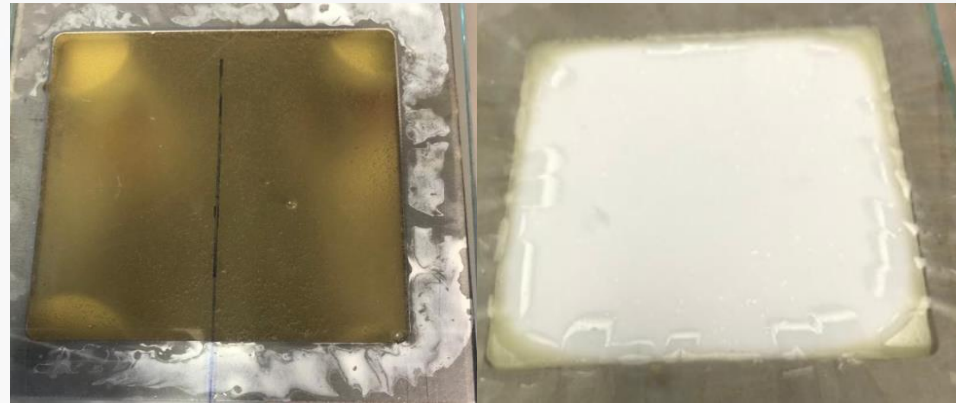


Tecnologia de resinas Classe A

INEOS
Composites

AROTRAN™ RES EXP. – RTM Classe A

RTM Light / RTM AP



Como analisar a superfície?



ALSA - *Advanced Laser Surface Analyse*



Orange peel – Casca de laranja



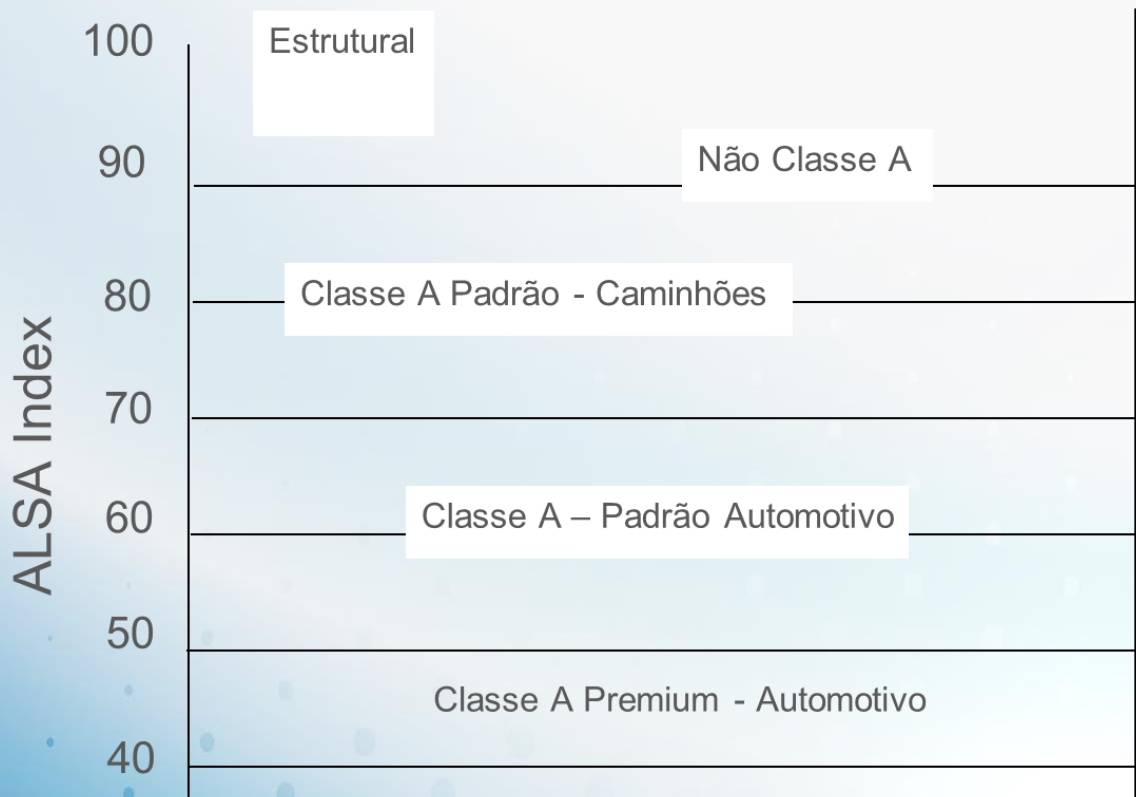
DOI – Distinctness of image



Superfície de baixo perfil
(contorno transversal)

Superfície de alto perfil
(contorno transversal)

ALSA Index



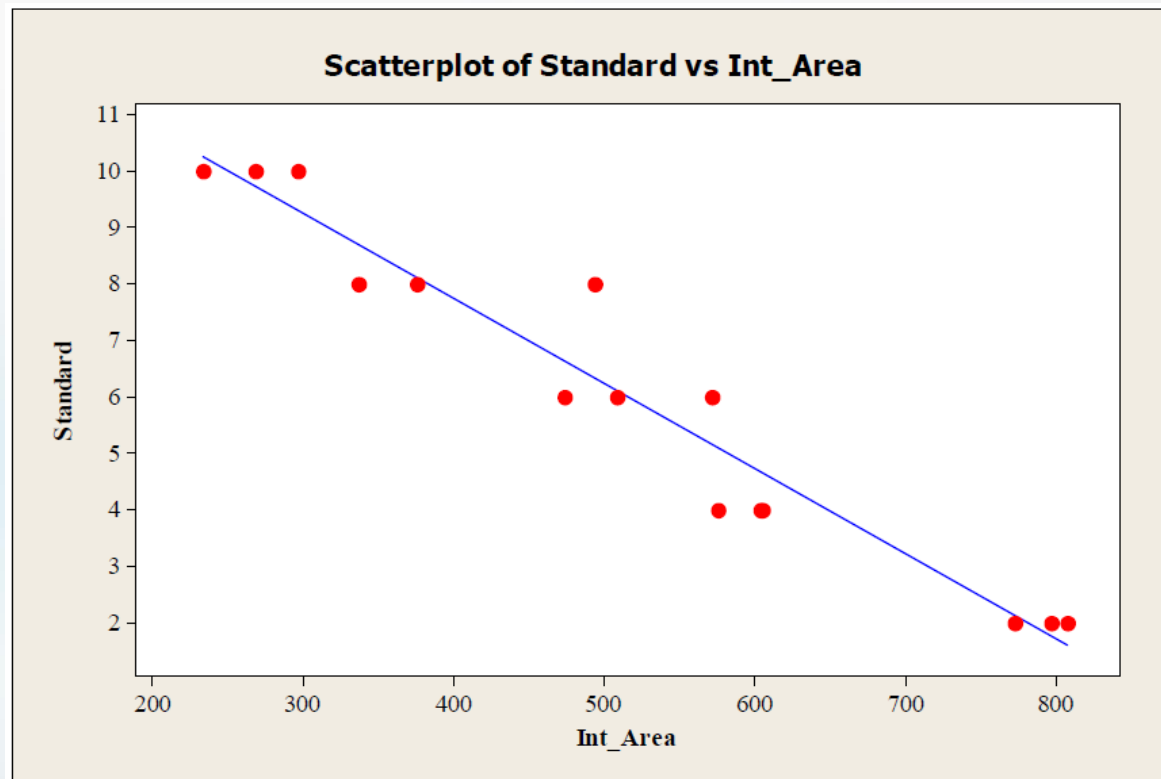
ALSA

Advanced **L**aser **S**urface **A**nalyzer

- ALSA Index – Equivalente a escala LORIA®
- Valores menores que 85 são considerados como Classe A

Orange Peel – Casca de Laranja

- Padrão Du Pont
- Valores de 1 a 10
- Painéis de baixo brilho podem causar leitura falsa



DOI - “Distinctness of Image”

- Define a clareza da reflexão de uma imagem no painel (placa)
- Número de 1 a 100
- 100: espelho



Deflectometria

Wavelength	A	B	C	D	E
Gauge SD	0.1321	0.1120	0.0268	0.0141	0.0096
Sqrt(2) x SD	0.1869	0.1584	0.0379	0.0199	0.0136

- A análise de superfície é baseada em uma técnica óptica de luz branca sem contato, conhecida como deflectometria escalonada de fase.
- Uma forma de onda periódica é projetada pela tela LCD na peça a ser medida. Esta imagem é refletida pela peça no espelho e capturada pela câmera.
- A reflexão dos raios de luz segue a lei de Snell-Descartes.
- Uma superfície distorcida fará com que os raios refletidos sigam um caminho diferente e, portanto, tenham uma inclinação diferente da trajetória esperada.
- Os comprimentos de onda mais baixos caracterizam a rugosidade e a casca de laranja da superfície e os comprimentos de onda maiores caracterizam a ondulação e a forma. Uma superfície perfeita teria um desvio padrão zero em todos os comprimentos de onda.

Deflectometria

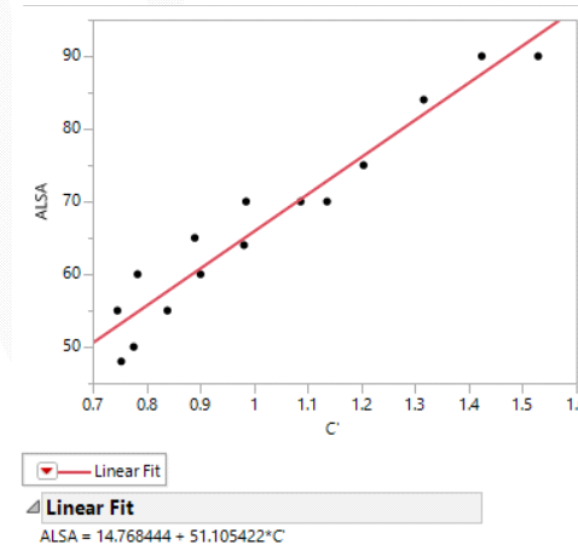
QualiSensor – Correlation to ALSA

Experiment:

- Measured 15 panels with known ALSA readings ranging from 50-90.
- Fit a model to ALSA value
- Checked all main effects and interactions of each of the wavelengths A-E.

Findings:

- The C wavelength was the only significant factor.
- Simplified Equation: $ALSA = 51C + 15$



		Wavelengths					ALSA estimate
		SD (1/M)					
Sample	Date	A	B	C	D	E	
STD 1	10/20/2022	7.80286	6.67967	1.38034	0.390464	0.12912	85
STD 2	10/20/2022	8.79119	7.4789	1.46392	0.40907	0.13204	90
Class A Sample 1	10/20/2022	4.51379	3.94665	0.869628	0.300881	0.106434	59
Class A Sample 2	10/20/2022	5.12355	4.40371	0.868639	0.287259	0.125551	59

INEOS
Composites

Daniel Horacio

Technical Service & Development

INEOS Composites

Rua Arthur César, 200

Araçariguama, SP / 18147-000

daniel.horacio@ineos.com

M: +55 (11) 91637 4319

O: +55 (11) 4136 6475

www.ineos.com